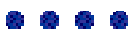


# Inhoud

## Hoofdstuk 3. Atmosferische druk

1. Beschrijving 3 -1
    - 1.1 benaming van de grootheid 3 -1
    - 1.2 definitie; omschrijving van het begrip 3 -1
    - 1.3 eenheden 3 - 1
    - 1.4 variabelen 3 - 1
    - 1.5 elementcodes 3 - 3
  
  2. Operationele eisen 3 - 5
    - 2.1 bereik 3 – 5
    - 2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving 3 - 5
    - 2.3 vereiste nauwkeurigheid 3 - 5
    - 2.4 vereiste waarneemfrequentie en –tijdstippen 3 - 5
    - 2.5 vereiste data-aanwezigheid per specifieke periode 3 - 6
  
  3. Instrumenten en techniek 3 - 7
    - 3.1 techniek en specificaties 3 - 7
    - 3.2 onderhoud- en calibratieprocedures 3 - 7
  
  4. Procedures 3 - 9
    - 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen 3 - 9
    - 4.2 procedures voor achteraf validatie drukwaarden 3 - 9
    - 4.3 procedures voor inspectie 3 - 9
  
  5. Herleiding van parameters: herleiding van luchtdruk naar ander niveau 3 - 11
    - 5.1 algemeen 3 - 11
    - 5.2 berekening van de stationsluchtdruk:  $P_0$  3 -11
    - 5.3 berekening van de druk op MSL:  $P$  3 - 11
    - 5.4 berekening van  $Q_{NH}$  3 - 12
    - 5.5 bepalen virtuele temperatuur 3 - 12
  
  6. Opstellingseisen en omgevingscondities 3 - 13
    - 6.1 algemeen 3 - 13
    - 6.2 opstellingseisen en –voorzieningen 3 - 13
    - 6.3 condities m.b.t. omgeving en meetlocatie,
    - c.q. representativiteit waarnemingen 3 - 14
- Referenties 3 - 15





# 3. Atmosferische druk

## 1. Beschrijving

### 1.1 benaming van de grootheid

Algemene benaming: Atmosferische druk of luchtdruk.

Internationale aanduiding (WMO no.8,ref.1): atmospheric pressure.

### 1.2 definitie; omschrijving van het begrip

De atmosferische druk is de kracht per oppervlakte eenheid die het gevolg is van het gewicht van de atmosfeer boven het meetpunt. Deze druk is derhalve gelijk aan het gewicht van de totale verticale luchtkolom boven het eenheidsoppervlakte.

(conform WMO no.8, par. 3.1.1, ref.1 en WMO no.182, A2930, ref.16)

### 1.3 eenheden

#### a) erkende eenheid volgens SI (ref. 13)

De erkende eenheid volgens SI (ref.13)

De SI-eenheid voor druk is Pa (=pascal).

In de meteorologie wordt zowel luchtdruk als verandering van luchtdruk (trend) uitgedrukt in hectopascal(hPa).

1 hPa = 100 Pa; 1 Pa = 1 Nm<sup>-2</sup> = 1 kg m<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup>

(N staat voor Newton: 1 N = 1 kg m s<sup>-2</sup>)

#### b) niet-erkende eenheid volgens SI (ref.13).

Een eenheid die nog veelvuldig wordt gebruikt, maar niet is erkend volgens SI, is de bar.

1 bar = 10<sup>5</sup> Pa; 1 mbar = 1 millibar = 10<sup>3</sup> bar

= 100 Pa = 1 hPa.

### 1.4 variabelen

De volgende variabelen worden onderscheiden:

#### a) De gemeten luchtdruk

aanduiding:  $p$

De gemeten luchtdruk is de waarde van de luchtdruk op sensorlocatie (en sensorhoogte).

#### b) De stationsluchtdruk

aanduiding:  $P_0$

Deze variabele is de luchtdruk herleid uit de gemeten luchtdruk en naar de officiële hoogte van het waarneemstation. Deze hoogte wordt stationshoogte of stationsniveau genoemd en is bepaald ten opzichte van MSL (Mean Sea Level: gemiddeld zeeniveau). In Nederland mag hiervoor ook NAP (Nieuw Amsterdams Peil) worden genomen. De herleidingswaarde wordt bepaald uit het gewicht per oppervlakte eenheid van de luchtkolom tussen sensorniveau en stationsniveau. Traditioneel is deze kolomhoogte ca. 1,50 meter.

Bij luchtvaartterreinen (aerodromes en helihavens) is de hoogte boven MSL van de operationele baandrempel, c.q. het luchtvaartterrein ook relevant. In het geval dat het absolute verschil tussen deze hoogte en de officiële stationshoogte meer dan 2 m is, wordt de stationsluchtdruk  $P_0$  bepaald door de gemeten luchtdruk  $p$  te herleiden naar deze hoogte in plaats van naar het officiële stationsniveau (conform annex III to the convention on International Civil Aviation (ICAO), par. 4.11.3, ref. 4). Het kan voorkomen dat bedoelde hoogte boven MSL groter is dan de sensorhoogte boven MSL, zodat er sprake is van een negatieve herleiding:  $P_0 < p$ .

### QFE

In de synoptische berichtgeving (SYNOP) en de berichtgeving aan de luchtvaart (METAR) wordt de stationsluchtdruk aangeduid met de code QFE. QFE is gelijk aan  $P_0$ , conform luchtvaartvoorschriften 3012, art 1 (ref.17).

#### c) Luchtdruk, herleid naar zeeniveau

Aanduiding: P

Deze variabele is de luchtdruk herleid uit de stationsluchtdruk  $P_0$  naar MSL-niveau door middel van een factor. Deze factor wordt gevonden door bij  $P_0$  het gewicht per oppervlakte eenheid op te tellen (c.q. af te trekken als het station onder zeeniveau ligt) van de (virtuele) luchtkolom tussen stationsniveau (c.q. niveau luchtvaarterrein, c.q. baandrempel) en zeeniveau.

De (virtuele) luchtkolom wordt verondersteld onderhevig te zijn aan de actuele atmosferische omstandigheden ter plekke van het station (dit is: actuele 1,50 m luchttemperatuur, en actuele luchtdruk  $P_0$ ).

Op MSL niveau (van toepassing voor Nederlandse stations en stations op de Noordzee) is de herleiding gebaseerd op ca. 0,125 hPa/m. De berekeningsgrondslagen van de herleiding staan in par.5.

#### Opmerkingen:

In het geval van de stations van het Meetnet Noordzee is de herleiding gebaseerd op de hoogte van het landingsplatform ten opzichte van MSL en dus van de werkelijke luchtkolom tussen platform en het zeeoppervlak.

Voor de naar MSL herleide luchtdruk P wordt in Nederland ook wel het acronym QFF gebruikt.

Deze term is echter niet als zodanig vastgelegd in nationale en internationale regelgeving. Het betreft hier ICAO jargon.

Voor herleidingsfactoren mag niet de term correctiefactor worden gebruikt. Correctiefactoren worden uitsluitend toegepast bij het corrigeren/valideren van meetwaarden.

### QNH

Volgens de internationale regelgeving (ICAO) wordt de term QNH gebruikt voor de afstelling van de sub-schaal van een hoogtemeter in het vliegtuig. In deze schaal wordt gebruik gemaakt van het verband van hoogte en luchtdruk volgens de gedefinieerde relatie, de ICAO standaard atmosfeer te weten

$$QNH = A + B \cdot QFE. \text{ (refs.2,22)}$$

De factoren A en B hangen slechts af van de geopotential van het station. Vanwege deze eenvoudige berekeningsgrondslag en omdat in Nederland de herleidingsfactor gering is (<1,04), is QNH ingeburgerd als "QFE herleid tot MSL in de ICAO-standaard atmosfeer" (luchtvaartvoorschriften 3012, art.1; ref.17), als alternatief voor P omdat het verschil tussen QNH en P kleiner is dan de toegestane meetonzekerheid mogen ze door elkaar worden gebruikt.

#### d) De luchtdrukverandering (tendens)

Aanduiding: a en p.

Deze grootte wordt gegeven in de SYNOP, zie par. 1.5.

#### Onderscheiden worden:

p: de grootte van de verandering in een bepaald tijdvak (3 uur); in feite gebaseerd op het absolute verschil tussen  $P_0$ -waarde van 3 uur geleden en de actuele P waarde:  $P_0(t) - P_0(t-3H)$ .

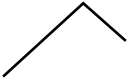
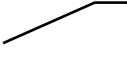

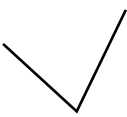



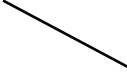
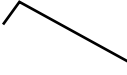
- a: het karakter (weergegeven met het codecijfer 0 t/m 8) van de verandering in dit tijdvak (bijvoorbeeld continu stijgend of eerst stijgend en dan weer dalend, enz.).

De definitie van dit karakter gaat uit van een continue registratie van drukwaarden.

De definitie van het codecijfer staat weergegeven in de onderstaande tabel en is ontleend aan het Handboek Meteorologische Codes (ref. 14). Overeenkomstig de WMO "Manual on Codes" (ref. 18) dient de druktendens te worden bepaald op basis van drukmetingen, die plaatsvinden op tijdstippen, met daartussen gelijke tijdsintervallen van maximaal een uur. Ofschoon de WMO "Manual on Codes" (ref. 18) verwijst naar de "CIMO-Guide" (ref. 1) wat betreft algoritmes is dit daarin nog niet voorzien. Het algoritme, gepubliceerd in WMO documenten, dat thans het meest geschikt lijkt, is afkomstig van L. Bergman (SMHI, zie ref. 19). De methode om a te bepalen op basis van gelijke tijdsintervallen van een uur is weergegeven in onderstaande tabel. Hierbij is uitgegaan van drukmetingen  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  en  $p_3$ , te weten de actuele druk en de drukwaarden van een, twee en drie uur geleden respectievelijk.

Definitie en methode ter bepaling van de druktendens

Tabel 3.1

Code cijfer	Omschrijving		Grafische presentatie	Po-P3	Po+P3-P1-P2	Po-P1
0	luchtdruk is dezelfde of hoger dan drie uur tevoren	stijgend, daarna dalend		+ o	- -	- +,o,-
1	luchtdruk is hoger dan drie uur tevoren	stijgend daarna standvastig		+	-	+,o
2	luchtdruk is hoger dan drie uur tevoren	stijgend (regelmatig of onregelmatig)		+	o	+,o,-
3	luchtdruk is hoger dan drie uur tevoren	dalend of standvastig, daarna stijgend; of stijgend, daarna sneller stijgend		+	+	+,o,-
4	luchtdruk is dezelfde als drie uur tevoren	standvastig		o	o	+,o,-
5	luchtdruk is dezelfde als of lager dan drie uur tevoren	dalend, daarna stijgend		o -	+ +	+,o,- +
6	luchtdruk is lager dan drie uur tevoren	dalend, daarna standvastig; of dalend, daarna langzamer dalend		-	+	o,-
7	luchtdruk is lager dan drie uur tevoren	dalend (regelmatig of onregelmatig)		-	o	+,o,-
8	luchtdruk is lager dan drie uur tevoren	stijgend of standvastig, daarna dalend		-	-	+,o,-

+: uitkomst > 0, -: uitkomst < 0.

### 1.5 elementcodes

De codering met betrekking tot de drukwaarden in de synop en de METAR is vastgelegd in het KNMI-handboek meteorologische codes (ref.14). Module A4/BI, Waarnemen, van de Elementaire Vakopleiding Meteorologie (ref.6, hoofdstuk 8) is hierbij een goede leidraad.

Van toepassing zijnde groepen in het synoptisch weerrapport van een vast landstation, FM 12-X SYNOP:

- Stationsluchtdruk:  $3P_0P_0P_0P_0$ , pseudo code: QFE  
De waarde van  $P_0P_0P_0P_0$  is in 0,1 hPa, te vermeerderen met 1000,0 hPa indien  $P_0P_0P_0P_0 < 1000$ ,  
voorbeelden: 39822:  $P_0 = 982,2$  hPa, 30201:  $P_0 = 1020,1$  hPa.
- Luchtdruk, herleid naar MSL: codering 4PPPP, pseudo code:QFF  
De waarde van PPPP is in 0,1 hPa, te vermeerderen met 1000,0 hPa indien PPPP < 1000, dus analoog als bij  $3 P_0P_0P_0P_0$ .
- luchtdrukverandering: codering 5 appp  
a: karakter van de luchtdrukverandering: er worden 9 typen onderscheiden, aangegeven met de cijfers a=0 t/m 8 (zie onder 1.4).  
ppp: grootte van de absolute luchtdrukverandering in de afgelopen 3 uur, de waarde is in 0,1 hPa.

Enkele voorbeelden:

- appp = 2008: luchtdruk stijgend (regelmatig of onregelmatig)sinds de afgelopen 3 uur, stijging: 0,8 hPa,
- appp = 5002: druk dalend, daarna stijgend, maar lager dan 3 uur geleden, daling: 0,2 hPa,
- appp = 8013: druk stijgend of standvastig, daarna dalend; of dalend daarna sneller dalend; druk lager dan 3 uur geleden, daling: 1,3 hPa.

Van toepassing zijnde groep in het weerrapport ten behoeve van de luchtvaart, FM 15-IX EXT. METAR

- luchtdruk, herleid naar MSL, berekend volgens de ICAO standaard atmosfeer:codering  $QP_HP_HP_HP_H$ , pseudo code:QNH  
De waarde is in hele hPa.  
voorbeelden: Q1022:QNH =1022 hPa  
Q0987:QNH = 987 hPa  
Notabene: in de METAR worden de drukwaarden niet afgerond naar hele hPa, maar afgekapt. Dus  $P_H = 987,8$  hPa wordt: Q0987

## 2 Operationele eisen

### 2.1 bereik

Door de wmo is als operationeel gebied voor de waarnemingen van de naar msl herleide druk gegeven:  $P=920 - 1080$  hPa (referenties 1 en 3). Vanwege de relatief kleine hoogte-verschillen tussen stationsniveau en MSL in Nederland of op de Noordzee is de kans dat de gemeten luchtdruk  $P$  of  $P_0$  kleiner dan 940 hPa c.q. groter dan 1060 hPa is gelet op waarnemingen in het verleden, nihil. Als operationeel gebied (range) voor waarnemingen luchtdruk geldt derhalve 940,0 - 1060,0 hPa.

### 2.2 waarneemresolutie in verband met berichtgeving

De vereiste resolutie in de waarneming van de luchtdruk is gebaseerd op de vereiste resolutie in de rapportage van de synoptische meteorologie en in de lokale berichtgeving op luchthavens en helihavens: 0.1 hPa (conform wmo, ref. 14,18). Deze resolutie is in lijn met de gestelde waarneemonzekerheid (ref.1).

De resolutie van de gepresenteerde luchtdruk in de berichtgeving METAR is in hele hPa (conform ICAO, ref.4).

### 2.3 vereiste nauwkeurigheid

Internationale regelgeving betreffende het woordgebruik en begrippen als nauwkeurigheid, onzekerheid en hysteresis zijn vastgelegd in de "International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology" (uitg. ISO; zie ref.20).

- De onzekerheid in de gemeten luchtdruk dient niet groter te zijn dan: 0.1 hPa (conform wmo, ref.1)
- De gewenste operationele nauwkeurigheid van de luchtdruk voor  $P$  en  $P_0$  in de synoptische berichtgeving (SYNOP) is: 0.3 hPa (conform wmo, ref.1)
- De gewenste operationele nauwkeurigheid van de luchtdrukverandering in de synoptische berichtgeving (SYNOP) is: 0.2 hPa (conform wmo, ref.1)
- De vereiste nauwkeurigheid van de luchtdruk ten behoeve van de interne berichtgeving op een luchthaven of een helihaven is: 0.1 hPa
- De gewenste operationele nauwkeurigheid van de luchtdruk ten behoeve van de luchtvaartmeteorologische berichtgeving (METAR) is : 0.5 hPa (conform ICAO, ref.4)

### 2.4 vereiste waarneemfrequentie en -tijdstippen

#### 1' gemiddelde

Overeenkomstig de richtlijnen van de wmo (ref. 1 en 18) dient de berichtgeving gebaseerd te zijn op 1 minuut gemiddelde waarden

Deze gemiddelden betreffen steeds het rekenkundig gemiddelde van de continue waarnemingen van de afgelopen periode, in dit geval een minuut. Gelet op het trage verloop van drukveranderingen is een 1' gemiddelde dat gebaseerd is op vijf voorafgaande 12 seconde metingen voldoende nauwkeurig, hetgeen voor data acquisitie van digitale systemen een geschikte methode is (zoals bij de SIAM).

Voorbeeld: de 1'waarde op het tijdstip 14u08'00" is het gemiddelde van de puntwaarden op de tijdstippen 14u07'12", 14u07'24", 14u07'36", 14u07'48" en 14u08'00".

### *10' gemiddelde*

Ofschoon uurlijkse (SYNOP) en halfuurlijkse (METAR) berichtgeving nog 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 de druk zijn 12 samples goed geschikt.

Voorbeeld: De 10' waarde op het tijdstip 13u20'00" is het gemiddelde van 50 puntwaarden: 13u10'12", 13u10'24", 13u10'36" enz. t.m. 13u20'00".

### *uurwaarde luchtdruk (SYNOP)*

De drukwaarde op 10 minuten voor het gehele uur gemiddeld over de afgelopen minuut wordt gebruikt voor het bepalen cq. afleiden van de drukwaarden P<sub>o</sub>P<sub>o</sub>P<sub>o</sub>P<sub>o</sub> en PPPP in de uurlijkse SYNOP. Deze waarneemtijd ligt binnen de periode die (internationaal) gesteld is 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. 6).

### *uurwaarde luchtdrukverandering (SYNOP)*

Dit is het absolute verschil tussen de actuele SYNOP-uurwaarde luchtdruk P<sub>o</sub>P<sub>o</sub>P<sub>o</sub>P<sub>o</sub> en die van 3 uur geleden.

### *halfuurwaarde luchtdruk (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 luchtdrukwaarde in de METAR (QNH)P<sub>H</sub>P<sub>H</sub>P<sub>H</sub>P<sub>H</sub> wordt afgeleid uit de 1' gemiddelde drukwaarde op precies 5 minuten vóór het tijdstip METAR-bericht, dus op precies 10 minuten voor het hele uur c.q. precies 10 minuten voor het halve uur.

Voorbeeld: QNH op 10.25 UTC is het naar MSL herleide 1 minuut gemiddelde berekend over de periode 10u19'00" 10u20'00" (conform herleiding met ICAO standaardatmosfeer).

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

Een gemiddelde over een bepaald tijdvak kan worden gebaseerd op beschikbare 12" meetwaarden (geen "////"). Gelet op de aard van de parameter luchtdruk en het betrekkelijk geringe verloop per tijdseenheid ervan is voor het (operationeel) vaststellen van een 1-minuutgemiddelde c.q. 10-minutengemiddelde een 100% beschikbaarheid van 12" meetwaarden in het onderhavige tijdvak niet vereist. Minimale eis: één enkele 12" waarde in het onderhavige tijdvak. Het presenteren van een kwaliteitsgetal, waarin het aantal beschikbare meetwaarden wordt weergegeven, is wenselijk. Zie bijv. ref.10.

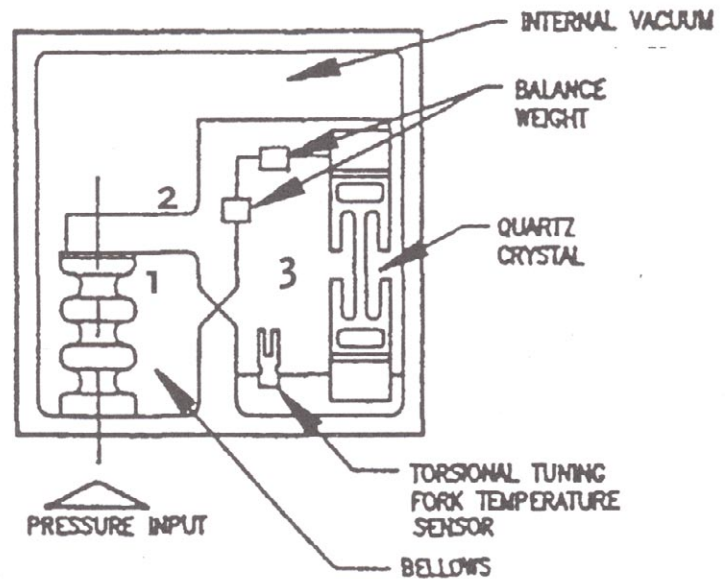


### 3. Instrumenten en techniek

#### 3.1 techniek en specificaties

##### standaardmeetinstrument

Als operationeel meetinstrument in de waarnemstations wordt door het KNMI de digitale barometer Paroscientific, model 1015A gebruikt. De meetonzekerheid onder laboratorium condities van dit instrument is 0,03 hPa, dus beter dan de operationeel vereiste nauwkeurigheid van 0,1 hPa. Het meetbereik van het meetsysteem (instrument, inclusief SIAM) is: 940,0 – 1060,0 hPa, conform het door het KNMI gekozen gebied voor operationele drukwaarnemingen. (Referenties: ref.5 en ref.8.)



Figuur 3.1 sensor gedeelte digitale barometer (Paroscientific 1015A)

##### Beschrijving en werking Paroscientific 1015A:


De barometer maakt gebruik van een "Digiquartz Pressure Transducer", gebaseerd op een resonator van dun kwarts kristal.(3).

Dit piezo elektrische materiaal wordt met behulp van een wisselspanning geëxiteerd en in resonantie gebracht.

De resonantie frequentie wordt vervolgens bepaald. Deze is namelijk een functie van de mechanische druk die via een balans (2) en de atmosferische druk overbrenger (1) op het kristal wordt overgebracht. Naast de basis resonantie frequentie worden ook boventonen gemeten, waardoor na berekening, de temperatuur invloed wordt geëlimineerd. (referenties: ref.12,15).

##### - back-up meetinstrument

Op bemande stations waar slechts één enkel operationeel standaard meetinstrument aanwezig is, is – voor het geval dit instrument buiten gebruik is – ook een back-up instrument aanwezig, dat met de hand wordt bediend (model: Negretti & Zambra type MK2) en waarmee p wordt bepaald en Po en P herleid met behulp van de hierna aangegeven herleidingsvoorschriften (zie ook 4.1). De meetonzekerheid van dit instrument is 0,3 hPa.



### **3.2 onderhoud- en calibratieprocedures**

De meetinstrumenten dienen te voldoen aan de nauwkeurigheidseisen. Hier-  
toe is periodiek onderhoud nodig, waarbij de instrumenten door middel van  
calibratie op door ervaring bepaalde intervallen worden getoetst en gejusteerd  
aan de gestelde eisen. Een calibratiecertificaat wordt vastgesteld, waarbij  
de referentie meetwaarden volledig herleidbaar zijn naar een door de RvA  
erkende standaard (ref.15). De KNMI afdeling Insa is verantwoordelijk voor deze  
procedures die vastgelegd zijn in de Calibratieprocedures volgens ISO-9001  
van het KNMI-ijklaboratorium. (ref.7)

## 4. Procedures

### 4.1 procedures bij uitval automatische waarnemingen

Aanvulling bij uitval van de automatisch gegenereerde waarden 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 (lokaal gebruik). Alleen bij uitzonderingssituaties kan hiervan worden afgeweken.

### 4.2 procedures voor achteraf validatie drukwaarden

Het Klimatologische Informatiesysteem (KIS) van het KNMI bevat gearcheiverde waarden van de luchtdruk, herleid naar zeeniveau ( $P$ ) en luchtdrukverandering op zeeniveau ( $a, p$ ; zie: code appp) van de land-en zeestations. De invoer van de gegevens in dit systeem geschiedt op dagbasis en betreft de uurlijkse waarden van het afgelopen etmaal (uurvakken  $h = 00$  t/m 23UTC). Alle nieuw in KIS ingevoerde waarden worden dagelijks onderworpen aan automatische controleprocedures die in het systeem ingeprogrammeerd zijn. Het gaat om de volgende procedures per station:

- test op aanwezigheid  $P_h = P$  en  $AP_h = ap$  (KIS-codering), met
  - $P_h$  : waarde  $P$  op uur  $h$
  - $AP_h$  :  $a_h$  en  $p_h$  : achtereenvolgens code  $a$  en waarde  $p$  op uur  $h$
- per waarde  $P_h$ :
  - a) Indien  $\text{abs}[P_h - P_{h-1}] > 4,0$  hPa dan “verdacht”;
  - b) indien  $P_h > 1060,0$  hPa dan “verdacht”;
  - c) indien  $P_h < 940,0$  hPa dan “verdacht”.
- per waarde  $P_h$  uit  $AP_h$ , weergegeven met  $p_h$ :  
Indien  $|p_h - |P_h - P_{h-3}|| > 0,3$  hPa dan “verdacht”.

De afdeling WM/OW wordt geïnformeerd ingeval verdachte waarnemingen worden geconstateerd. Op grond hiervan kunnen maatregelen worden getroffen in de vorm van onderhoud (door INSA/MSB).

De afdeling Klimatologische Dienstverlening (WM/KD) van het KNMI is verantwoordelijk voor de uiteindelijke validiteit van de drukwaarden in KIS. De WM/KD beoordeelt daartoe in principe iedere 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 WM/KD vastgelegde procedures.


De alternatieve waarde kan worden gebaseerd op onder meer:

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

Vervanging geschiedt handmatig, waarbij iedere situatie individueel wordt beoordeeld.

### 4.3 procedures voor inspectie

Iedere barometer met een operationele functie in het KNMI-waarneemnet wordt gemiddeld 2 maal per jaar geïnspecteerd door een stationsinspecteur van WM/OW. Op verzoek van WM/KD kan een extra tussentijdse inspectie plaatsvin-



den, indien de validatie van data daartoe aanleiding geeft. Ook de op bemande stations gebruikte back-up sensoren vallen onder dit inspectieregime. 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 barometer op een nieuw meetstation;
- b) indien op een locatie de barometer vervangen is.

In beide gevallen wordt *WM/OW* vooraf door *INSA/MSB* geïnformeerd door middel van een tijdsplan van 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 ijkbewijs, zodat een inspectie kan geschieden.

De inspectie omvat de volgende controles:

- a) Vergelijking van een door de sensor gemeten instantane waarde (12"puntwaarde druk) met de corresponderende en synchrone puntwaarde druk, zoals gemeten door een referentie barometer (dit is een cf. *KNMI*-ijkprocedures gekalibreerde digitale barometer Paroscientific type 760, ref.7). Van alle inspectiebezoeken wordt een rapport opgesteld door de stationsinspecteur. Dit rapport wordt *KNMI* breed verspreid, volgens een lijst van betrokken medewerkers, opgesteld door Hoofd *WM/OW*. Op grond van geconstateerde afwijkingen (absolute afwijking groter dan 0,2 hPa) 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 de afspraken.
- b) Controle of de ijktermijn van het meetinstrument nog niet is verlopen. Is dit 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). 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 van parameters: herleiding luchtdruk naar ander niveau

### 5.1 Algemeen

Voor de herleiding van de door de sensor gemeten p-waarde naar de druk waarde op zeeniveau P beveelt de wmo een herleidingsformule aan (zie ref. 21). Voor stations, vrijwel op hoogte van zeeniveau mag een eenvoudiger herleidingsformule worden toegepast, mits het resultaat de onzekerheid van 0,2 hPa niet te boven gaat. Dit geldt voor vrijwel geheel Nederland en ook op de Noordzee wordt deze vereenvoudigde methode nationaal toegepast.

Conform de wmo-richtlijnen (ref.1, par.3.11.2) kan voor de land- en zeestations van Nederland voor de herleiding van de luchtdruk op een niveau 1 in verticale richting naar niveau 2 de volgende herleidingsformule worden gebruikt:

$$\Delta p = p(h_2) - p(h_1) = - \left( \frac{p(h_1)}{29,27} \cdot \frac{\Delta h}{T_v} \right); \Delta h = h_2 - h_1 \quad (1)$$

- p(h<sub>1</sub>) is de waarde luchtdruk op niveau 1 (hPa)
- p(h<sub>2</sub>) is de synchrone waarde luchtdruk op niveau 2 (hPa)
- Δh is de verticale afstand tussen beide niveaus, h<sub>2</sub>-h<sub>1</sub> (m)
- T<sub>v</sub> is de "virtuele" temperatuur op de betreffende locatie (niveau 1) (K)
- 29,27 is een constante die bepaald wordt door de dichtheid van lucht volgens de gaswet voor droge lucht. (m/k)

NB de zogenaamde virtuele temperatuur van lucht (zoals bemeten, incl. waterdamp) is gelijk aan de temperatuur van droge lucht (dus zonder waterdamp) met dezelfde druk en dezelfde dichtheid als de lucht met waterdamp (ref.1, par.3.11.2) bij de huidige temperatuur T.

### 5.2 Berekening van de stationsluchtdruk: P<sub>o</sub>

De berekening van P<sub>o</sub> (= QFE) is gebaseerd op de hierboven beschreven formule (1).

$$P_o = p + \left( \frac{p}{29,27} \cdot \frac{\Delta h}{T^*} \right) \quad (2)$$

- p is de door de sensor gemeten luchtdruk (puntwaarde c.q.gemiddelde waarde) (hPa)
- Δ h is de sensorhoogte minus de stationshoogte (c.q.platformhoogte c.q. touchdownhoogte,(zie 1.4) (m)
- Nota bene: Δh is dus niet noodzakelijkerwijs dezelfde als de hoogte van de sensor boven het maaiveld! Δ h kan ook een negatieve waarde hebben.
- T \* is het gemiddelde van de actuele 1,5 m luchttemperatuur en de 1,5 m luchttemperatuur van 12 uur geleden (K)
- (zie opmerkingen over de bepaling van T onder 5.5)

### 5.3 Berekening van de druk op MSL: P

De berekening van P is gebaseerd op formule (1), waarbij wordt uitgegaan van de werkelijke, actuele atmosfeer.

$$P = P_o + \left( \frac{P_o}{29,27} \cdot \frac{H}{T^*} \right) \quad (4)$$

- $P_0$  is de berekende luchtdruk op stationshoogte (c.q. platformhoogte, c.q. touchdownhoogte)
- $H$  is de stationshoogte tov MSL (c.q. platformhoogte boven MSL, c.q. touchdownhoogte boven MSL) (m)
- $T^*$  is het gemiddelde van de actuele 1,5 m luchttemperatuur en de 1,5 m luchttemperatuur van 12 uur geleden (Kelvin)  
(zie opmerkingen over de bepaling van  $T$  onder 5.5)

#### 5.4 Berekening van QNH

De berekening van QNH wijkt af van de berekening van  $P$  omdat wordt uitgegaan van de standaardatmosfeer volgens ICAO-normen (ref.2). Evenals hierboven is voor Nederland gekozen voor een vereenvoudigde herleidingsformule omdat  $H$  gering is:

$$QNH = QFE + 0,120 \cdot H \quad (3)$$

- $H$  is de stationshoogte tov MSL (c.q. platformhoogte boven MSL, c.q. touchdownhoogte boven MSL) (m)

#### 5.5 Bepalen virtuele temperatuur

De virtuele temperatuur zoals benodigd in de herleidingsformules, kan goed benaderd worden door de gemiddelde luchttemperatuur van de afgelopen 12 uur. Hiertoe wordt in principe genomen het gemiddelde van de actuele luchttemperatuur en de luchttemperatuur van 12 uur geleden. De volgende procedure wordt gehanteerd:

- a) als waarde voor de “actuele luchttemperatuur” wordt genomen de actuele waarde van de (1,5 m) luchttemperatuur; deze waarde is in principe niet ouder dan 1 uur;
- b) als waarde voor de “luchttemperatuur van 12 uur geleden” wordt genomen de waarde van de (1,5 m) luchttemperatuur die 12 uur ouder is dan de actuele waarde; indien deze waarde niet beschikbaar is, wordt de oudst aanwezige waarde van de (1,5 m) temperatuur genomen;
- c) het kan zich voordoen dat in het beoogde tijdvak (volgens criteria a en b) maar 1 waarde (1,5 m) temperatuur beschikbaar is; dan vindt geen middeling plaats en wordt deze waarde genomen in de herleidingsformules;
- d) indien in het beoogde tijdvak geen enkele luchttemperatuur volgens de criteria a en b beschikbaar is, wordt een normatieve waarde van de gemiddelde maandtemperatuur genomen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen landstations en zeestations (zie tabel).

maand	A	B
01	2,2	5
02	2,5	5
03	4,9	5
04	7,9	7
05	12,1	10
06	15,0	13
07	16,6	15
08	16,7	16
09	14,1	14
10	10,6	12
11	6,1	9
12	3,3	6

Tabel 3.2

- kolom A:  
maandwaarden (1,5 m) luchttemperatuur voor alle land- en kuststations (°C) (ref.11)
- kolom B:  
maandwaarden luchttemperatuur voor de stations op de Noordzee (°C) (normgegevens gebaseerd op periode 1961 t / m 1980, informatie WM/KD)  
Nota bene:  
Bij stations op de Noordzee wordt de temperatuur en de atmosferische druk niet gemeten op ca.1,5 m boven MSL, maar ter hoogte van het platform.  
De gemeten luchttemperatuur en –druk wordt geacht gelijk te zijn aan die op stationshoogte.





## 6. Opstellingseisen en omgevingscondities

### 6.1 Algemeen:

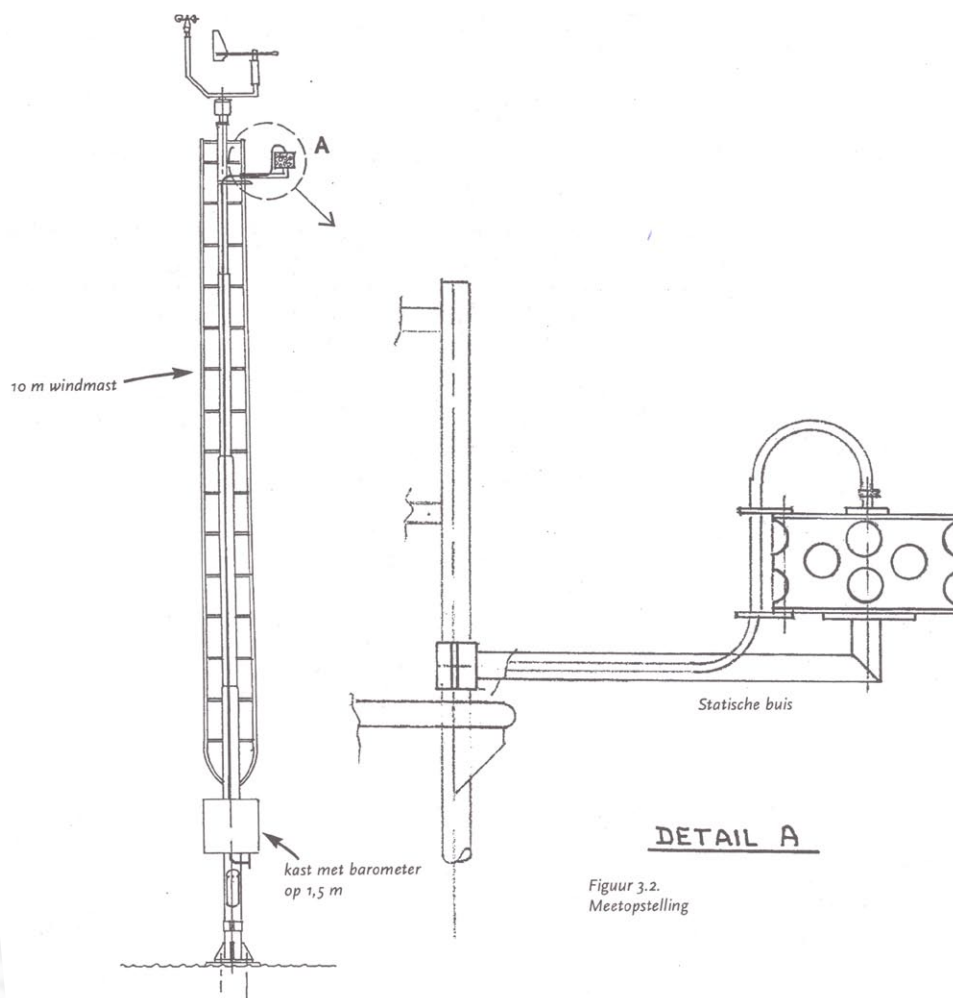
De wind kan drukmetingen sterk beïnvloeden. Niet alleen zijn meetfouten van meer dan 1 hPa mogelijk, ook kunnen sterke drukfluctuaties plaatsvinden (zie ref. 23).

Met name bij metingen in gebouwen wordt veel hinder ondervonden (druk opbouw, c.q. zuigende werkingen). Gemeten moet daarom worden in een omgeving waarbij dit effect zo klein mogelijk is en met behulp van een zogenaamde "statische buis".

### 6.2 Opstellingseisen en -voorzieningen:

Kwalitatieve eisen met betrekking tot de opstelling van de meetapparatuur in een operationeel waarnemstation zijn:

- a) er moet sprake zijn van ongestoorde lucht, dat wil zeggen de drukwaarneming mag niet beïnvloed worden door luchtwervelingen ten gevolge van de wind, maar ook niet als gevolg van passerende objecten;



- b) er mag geen beïnvloeding van de drukwaarneming zijn door wind of luchtwervelingen als gevolg van ruwheid of losstaande objecten; (plotselinge) beïnvloeding van de luchttemperatuur en daarmee van de drukwaarneming, bijvoorbeeld door direct zonlicht, lamplicht, verwar-

mingsapparatuur, e.d., moet vermeden worden  
c) er moet sprake zijn van een trillingvrije opstelling.  
De opstellingseisen betreffen zowel het operationele instrument als een eventuele back-up barometer. (Ref.5)

Door de druksensor in een speciale behuizing te plaatsen, die gekoppeld is aan een zogeheten statische buis kan hieraan worden voldaan. De ingang van deze buis dient zodanig te worden geplaatst dat de kans op bovengenoemde invloeden minimaal is.

Door een geschikte lengte van de buis te kiezen kunnen eventueel toch optredende storingen zo goed mogelijk uitgedempt worden.

Een geschikte methode is het bevestigen van druksensor en statische buis aan de windmast, waarbij de sensor zich op een hoogte van ca. 1,5 meter boven het maaiveld bevindt en de ingang van de statische buis op een hoogte van ca. 8 meter boven het maaiveld. (de invloed van de windmast op het drukveld en op de representativiteit van de waarneming is nihil).

Indien een dergelijke opstelling niet mogelijk is, bijvoorbeeld vanwege het ontbreken van een windmast en ook in het geval van de back-up metingen, dienen toch zodanige meetomstandigheden gecreëerd te worden dat voldaan wordt aan bovenstaande vereisten.

Een nadere detailuitwerking is weergegeven in ref. 24 ( KNMI opstelcondities voor luchtdrukmeting).


### **6.3 *Conditie m.b.t. omgeving en meetlocatie, c.q. representativiteit waarnemingen***

Ten einde de representativiteit van de waarnemingen voor de omgeving te waarborgen, mogen zich in de directe omgeving van de meetlocatie geen vaste of bewegende obstakels bevinden:

- a) de afstand van de meetopstelling ten opzichte van de meest nabije vaste grote objecten, zoals gebouwen, bomen, bosranden e.d. dient tenminste 5 maal de hoogte van de betreffende objecten te zijn; voorbeeld: de afstand tot een gebouw met een hoogte van 15 meter moet ten minste 75 meter zijn;
- b) de afstand tot (structureel of ad hoc) bewegende objecten (vergelijk autoverkeer of passerende vliegtuigen op start-of landingsbaan) moet ten minste 200 meter zijn.

## Referenties

1. World Meteorological Organization, 1996: WMO-No. 8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6th edition, 1996 (i.h.b. Hoofdstuk 3); WMO, Genève, 1996.
2. World Meteorological Organization, 1973, International Meteorological Tables, WMO-No. 188 in het bijzonder tabel 3.9 over ICAO standaardatmosfeer); WMO, Genève, 1973.
3. Statement of operational accuracy requirements of level II data, according to WMO codes SYNOP, SHIP, METAR and SPECI; Annex X van WMO no.807 (CIMO XI)
4. International Civil Aviation Organization 1998: Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices, Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation, 13th edition; ICAO, Montreal, Canada, 1998.
5. KNMI, 1993: Meteorologische Instrumenten, Elementaire Vakopleiding Meteorologie (EVM), module A11, J.G. van der Vliet; KNMI, De Bilt, 1993.
6. KNMI, 1996: Synoptische en klimatologische waarnemingen en codes, Elementaire Vakopleiding Meteorologie(EVM), module A4/B1, E.Chavanu; KNMI, De Bilt, 1996.
7. KNMI, 1994: Calibratieprocedures van het KNMI-IJklaboratorium volgens ISO-9001, A. van Londen, Insa/IO; KNMI, De Bilt, 1994.
8. KNMI, 1994: XPI-SIAM Paroscientific, J.R.Bijma, KNMI-Insa, KNMI-document, Insa Documentnummer ID-30-010; KNMI, De Bilt, 1994.
9. KNMI, 1992: Basis ontwerp Vernieuwing Operationeel Klimatologisch Informatiesysteem VOKIS, 1992; KNMI document.
10. KNMI 1997: X-SIAM-specificatie, J.R.Bijma, KNMI-Insa, KNMI-document, Insa Documentnummer ID-30-015; KNMI, De Bilt, 1997.
11. KNMI 1992: Klimatologische gegevens van Nederlandse stations: normen en extreme waarden van de 15 hoofdstations voor het tijdvak 1961-1990, KNMI publicatienummer 150-27; KNMI, De Bilt, 1992
12. Paroscientific; 1994: Fiber-optic Pressure Sensors with 0.01 % accuracy, J.M. Paros, Redmond, WA, USA.
13. Nederlands Meetinstituut, 1994; Het Internationale Stelsel van Eenheden (SI); NMI, Delft 1994.
14. KNMI, 1994: Handboek Meteorologische Codes; KNMI, De Bilt, 1994-1999.
15. World Meteorological Organization, 1992: The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison, Instruments and Observing Methods Report no.46, WMO/TD-no.474; WMO Genève, 1992.
16. World Meteorological Organization, 1992: International Meteorological Vocabulary, WMO-No. 182, second edition; WMO, Genève, 1992.

- 
17. Luchtvaartvoorschriften; Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.
  18. World Meteorological Organization, 1995: Manual on Codes, wmo-No. 306; wmo, Genève, 1995.
  19. wmo, 1985; Pressure Tendency and Discontinuity in Wind; L. Bergman et al, SMHI; in: Instruments and Observing Methods Report No. 22, wmo/TD-No. 50; wmo, Genève, 1985.
  20. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, uitg. ISO 1993.
  21. World Meteorological Organization, 1954: Reduction of Atmospheric Pressure, wmo-No. 36. TP. 12, Technical Note No. 7; wmo, Genève, 1954.
  22. International Civil Aviation Organization, 1993: Manual of the ICAO Standard Atmosphere, ICAO Doc. 7488/3; ICAO, Montreal 1993.
  23. Liu, H. en G.L. Darkow, 1989: Wind Effect on Measured Atmospheric Pressure, J. Atmosph. Ocean. Techn. 6 (1989) 5.
  24. KNMI/INSA, 1990: Opstelcondities voor Luchtdrukmeting, besluit SgINSA 90/10, d.d. 14 juni 1990.