

het beoordelen van  
automatische barometers  
met als voorbeeld  
de Nakaasa barometer

A. van Londen

technische rapporten TR-nr 95

## Testverslag "Digital Barometer" model F-451 van NAKAASA

### Doel van de test:

Onderzoeken en beoordelen van de NAKAASA-model F-451 digitale barometer op geschiktheid voor eventuele toepassingen bij het KNMI. Hierbij dienen de volgende toepassingen te worden onderscheiden.

1. Operationeel gebruik op waarnemingsvelden
2. Gebruik als werkstandaard op het IJklab.

### Samenvatting van de testprocedure:

De testroutines vonden plaats overeenkomstig de bij het KNMI gebruikelijke technieken. Zij worden nader gespecificeerd.

Bij de test is voornamelijk gelet op het functioneren van het apparaat in het algemeen en op weergegeven informatie van display, cq. digitale/analoge uitgangen. De belangrijkste aspecten die beoordeeld worden zijn de nauwkeurigheid en de stabiliteit over langere periodes.

Om aan het doel van de test te kunnen voldoen hebben 2 soorten tests plaatsgevonden.

1. acceptatie test: beoordelen of apparaat voldoet aan de door de fabrikant opgegeven specificaties, danwel aan de door het KNMI gestelde eisen.
2. diagnostische test: test ten einde het nodige inzicht in de werking van het apparaat te verkrijgen.

### Conclusie

Ondanks de zware test-omstandigheden heeft de barometer zich voortreffelijk gehouden. Kwalitatief gezien een uitstekende barometer voor operationeel gebruik, maar de prijs van f 23.000,- is te hoog om deze barometer ook daadwerkelijk operationeel in te zetten.

Inmiddels is de barometer aangekocht als werkstandaard en wordt tevens gebruikt om een indruk te krijgen over het functioneren over een aantal jaren.

Er is gestart met een soort gelijk onderzoek naar verschillende andere commercieel verkrijgbare barometers met als doel een qua prijs en prestaties een type te selecteren voor operationeel gebruik.

### Inhoud:

Inleiding	blz. 2
Testspecificatie	3
Technische beschrijving	5
Beschrijving testmethoden	10
Resultaten tests	12

● Inleiding

Tot nu toe worden twee, typen barometers algemeen gebruikt; barometers welke volgens andere principes werken, blijken tot nu toe niet aan de WMO-kwaliteits eisen te voldoen.

Deze twee typen barometers laten zich als volgt beschrijven:

- de kwikbarometer

Bij de kwikbarometer wordt het drukverschil tussen hoog-vacuum en de buitenlucht gemeten door middel van het meten van het verschil tussen beide vloeistof spiegels.

Een goed geoefend menselijk oog is nodig om de standen waar te nemen, waarbij het maken van een systematische fout niet mag worden uitgesloten. Voor nauwkeurige metingen zijn verschillende correcties noodzakelijk o.a. voor de temperatuur. Momenteel zijn er geen automatische digitaal, c.q. analoog uitleesbare kwikbarometers, welke aan de KNMI-eisen voldoen in de handel.

- de aneroïde barometer

De aneroïde barometer is compact en minder kwetsbaar. Gemeten wordt de (vrij geringe) uitzetting (of krimp) van een bijna luchtdichte doos, veroorzaakt door luchtdruk verandering. Hiervoor is een mechanisch instrumentarium nodig van kwalitatief hoogwaardig niveau. Hiermee kan in een aantal gevallen wel automatisch worden waargenomen met zonedig digitale uitvoer. Vereist is dat de barometer gecompenseerd is voor de temperatuur en dat voldoende rekening wordt gehouden met hysteresis en drift.

Gelet op bovenstaande kan worden gesteld dat het KNMI erbij gebaat zou zijn indien er een betaalbare barometer op de markt zou zijn welke gebruikersvriendelijk, niet arbeidsintensief en degelijk is, en waarbij aspecten als invloed van de temperatuur, hysteresis of drift verwaarloosbaar klein zijn.

## ● TESTSPECIFICATIE

### Randvoorwaarde:

Test 1 t/m 4 en 7 t/m 12 alleen bij heersende druk en kamertemperatuur (ca. 23°C); test 5 bij kamertemperatuur.

### A. Eénmalige tests

- Controle op specificaties en algemeen functioneren:

1. Juiste werking bedieningsorganen
2. Juiste aanwijzing op display
3. Juiste signalen aan de digitale uitgang
4. Juiste signalen aan de analoge uitgang

- Controle op eventuele ongewenste afwijkingen:

5. Juiste aanwijzing en uitgangssignalen (analoog en digitaal) bij de KNMI-standaardreeks van 22 testdrukken.

De KNMI standaardreeks start bij 950 mbar telkens verhoogd met stappen van 10mbar tot het volgende meetpunt en stopt bij 1050 mbar en gaat dan met stappen van 10 mbar weer terug naar 950 mbar.

6. Temperatuur controle op eventuele ongewenste afwijkingen.  
Juiste aanwijzing en juiste signalen aan de digitale en analoge uitgang bij temperaturen omstreeks +5 en +35°C en bij 5 drukken.

7. Vocht  
Juiste aanwijzing en/of juiste data aan de digitale uitgang bij hoge en lage vochtigheid (zonder condensvorming).

8. Invloed netspanningsfluctuaties  
Juiste aanwijzing en/of data bij netspanning variaties van ± 10% bij 220V.

#### Invloed netvervuiling

Storingbroncondities:  
Schaffner NSG 222A  
duur : 100ns freg: 50Hz  
stijgtijd: 5ns fase: FREE  
amplitude: 1500V

10. Invloed netspannings onderbreking  
Storingscondities:  
Schaffner NSG 203A  
Spanningsonderbreking van 20msec. bij een frequentie van 0,1Hz.

11. Invloed instraling

12. Parasitaire resonantie

Diagnostische test, gericht op de beoordeling van de kwaliteit van sensoren die een frequentie meten die afhankelijk is van de meetwaarde.

Het gehele meetbereik wordt langzaam (ca. 24 uur) gelijkmatig doorlopen. Het meetresultaat wordt met een analoge recorder geregistreerd.

Het resultaat moet zijn een continu stijgende of dalende lijn.

Discontinuïteiten duiden op onjuiste uitvoering van het meetprincipe.

13. Transporttest

400km transport met service-wagen

Beoordeeld worden:

1. Juiste werking en behoud van calibratie na transport
2. Inschatting van handelbaarheid tijdens transport (o.a. op zee)

B. Periodieke tests

Zo mogelijk gelijktijdig uit te voeren met C.

Na bedrijfsperiode in operationele ruimte of in gesimuleerde operationele omgeving wordt een ijking uitgevoerd (c.f punt 5).

Termijnen: 1 week	na eerste in bedrijfstelling
1 maand	'' ''
3 maanden	'' ''
6 maanden	'' ''
1 jaar	'' ''

C. Beoordeling van:

1. Ergonomie
2. Interpretatie van de verkregen meetwaarden
3. Continuïteit van de meetreeksen

● Technische beschrijving Nakaasa-barometer\*

1. Principewerking en eigenschappen:

Een gesloten stemvork in de vorm van een "conservenblik", inwendig in direct contact met de atmosfeer een uitwendig in vacuüm. Gebleken is dat de "eigen frequenties" van deze sensor eenduidig afhankelijk zijn van de verschillen van de inwendige en de uitwendige druk en wel zodanig dat uit de gemeten frequenties de atmosferische druk op een nauwkeurige manier te bepalen valt.

Gemeten wordt de verandering van de verhouding van twee eigen-frequenties van de cylinderwand, welke eenduidig afhangt van het drukverschil.

Het betreffen hier overigens gestimuleerde eigentrillingen van het type buigingsdeformaties. De afgegeven frequenties worden met een quartzgestuurde frequentieteller gemeten.

Indien slechts één enkele eigen-frequentie zou worden gemeten, dan zou invloed van temperatuur en drift een niet verwaarloosbare factor zijn. In dit geval wordt evenwel de verhouding van twee eigen-frequenties bepaald, waardoor in eerste orde benadering deze twee invloeden, alsmede invloed door vervuiling praktisch worden geëlimineerd. De gebruikte techniek brengt met zich mee dat er van hysteresis geen sprake zal zijn. Met behulp van een micro-processor wordt uit deze verhouding de atmosferische druk berekend (real-time) en weergegeven op een display. Deze informatie kan ook via een digitale en analoge uitgang worden geregistreerd (zie fig.1).

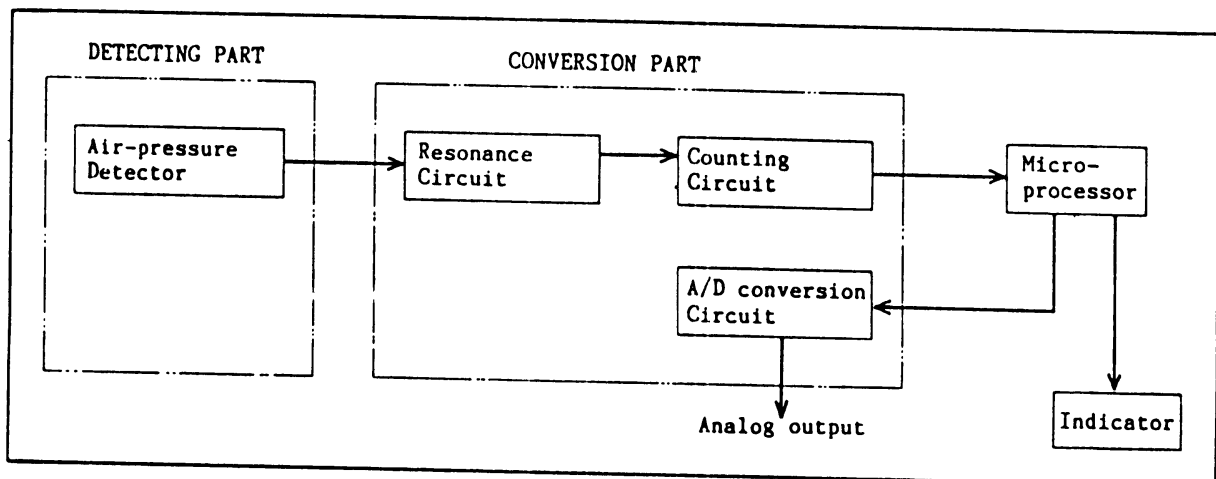


Fig. 1. Blokschema Nakaasa-barometer.

\*) Een meer gedetailleerde beschrijving staat in Yokogawa Technical Report 1 (1984)1-9

De figuren 1 t/m 4 zijn hieruit overgenomen.

De mogelijke vibraties, welke alleen van het type buiging zijn (dus geen torsie) zijn te verdelen in 2 types:

- 1) de axiale vibraties: staande trillingen met golfrichting parallel met de as van de cylinder, met mode  $m$ , het aantal halve golven over de lengte  $L$  van de cylinder.
- 2) de rondom vibratie: staande trillingen, met golfrichting loodrecht op

In figuur 2 wordt als voorbeeld  $m = 1$  en  $n = 4$  gegeven. Dit figuur toont verder het uitgewerkte model van de Nakaasa.

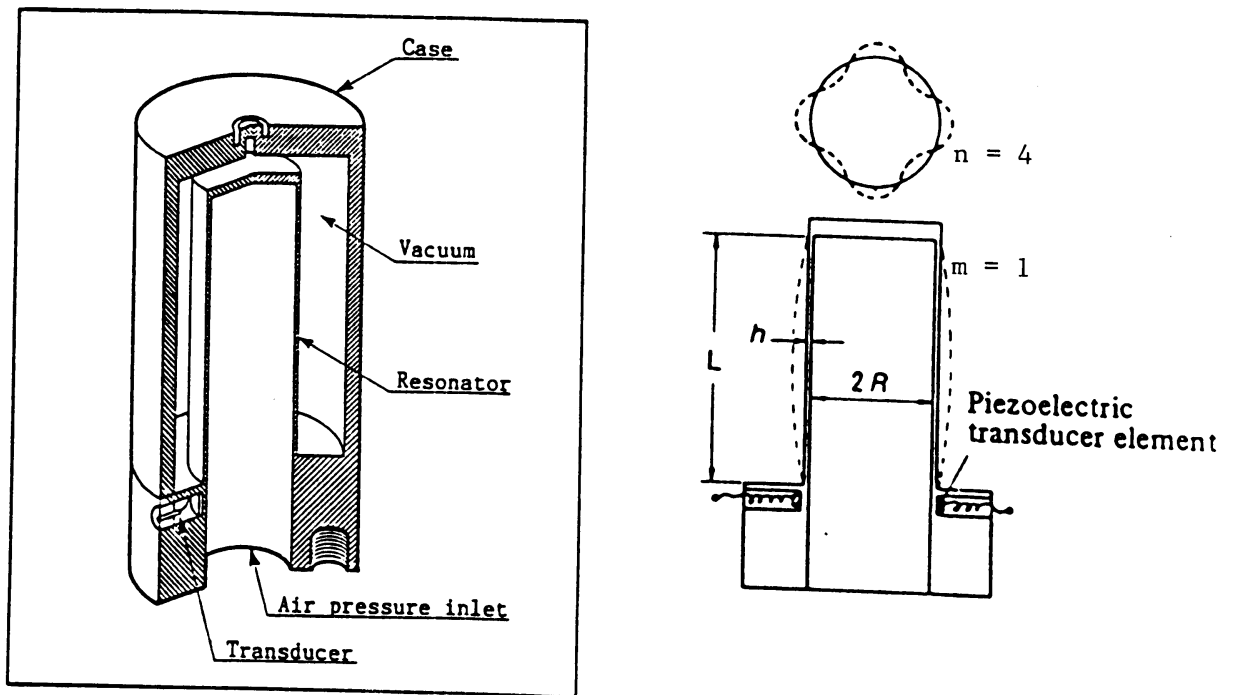


Fig. 2. Constructie resonator en behuizing (maximale afmetingen ca. 80 x 36 mm).

2. Relatie tussen druk en eigen-frequenties. De frequenties van de opgewekte eigen trillingen en voor modes  $m$  en  $n$ , gemeten bij een standaard temperatuur en op een zeker tijdstip  $t^\circ$ , voldoen aan de relatie:

$$f_{mn}^\circ = \frac{1}{2\pi R} \left\{ \frac{E \Delta_{mn}}{\rho(1-\nu^2)} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

waarbij:

R = straal van de cylinder,  
E = elasticiteitsmodules van het materiaal van de cylinder,  
 $\rho$  = dichtheid van het materiaal,  
u = materiaal constante.

$\Delta_{mn}$  is een parameter, afhankelijk van de modes m en n en van de afmetingen van de cylinder, de verdere vormgeving en het materiaal. Afhangelijkheid van temperatuur en leeftijd kan  $f_{mn}$  als volgt worden weergegeven door middel van een eerste orde benadering:

$$f_{mn} = f_{mn}^{\circ} \cdot (1 + (T - T^{\circ})) \cdot (1 + \beta \log(t/t^{\circ})), \quad (2)$$

temperatuur-                      drift  
afhankelijkheid

met:  $T^{\circ}$  = standaard temperatuur, waarbij en  
 $t^{\circ}$  = oorspronkelijk tijdstip, waarop ijking heeft plaatsgevonden.

Na ijking van enige frequentie bij een bepaalde druk is in feite nog slechts kennis van de relatieve verandering van de eigen-frequentie bij verandering van de druk nodig om de druk bij constante temperatuur te kunnen herleiden, ofwel:

$$S_{mn} = \frac{1}{f_{mn}} \cdot \frac{df_{mn}}{dP} \quad (3)$$

de gevoeligheid van de eigen-frequentie  $f_{mn}$  voor de druk P. Voorbeelden van  $S_{mn}$  worden getoond in figuur 3.

Uit relatie (2) volgt evenwel dat:

$$r := f_{ij} / f_{kl} = (\Delta_{ij} / \Delta_{kl}) \quad (4)$$

De waarde van r is derhalve in eerste orde benadering niet afhankelijk van temperatuur en drift. Uit relatie (3) volgt voor de relatieve verandering van r bij verandering van de druk de volgende relatie:

$$H_{ijkl} := \frac{1}{r} \frac{dr}{dp} = S_{ij} - S_{kl} \quad (5)$$

Bij bekende  $S_{ij}$  en  $S_{kl}$  kan derhalve uit de gemeten waarde van r en een bekende uit ijkingen verkregen relatie tussen de standaardwaarde van  $r^{\circ}$  en  $P^{\circ}$ , de druk worden herleid.

In het geval van de Nakaasa druk-meter is gekozen voor de modes  $i, j = 1, 4$  en  $k, l = 1, 2$ . Om constructie-technische redenen verdienen deze modes de voorkeur. Figuur 4 toont schematisch de gebruikte configuratie waarmee de bij de gekozen modes behoren frequenties worden opgewekt en gemeten.



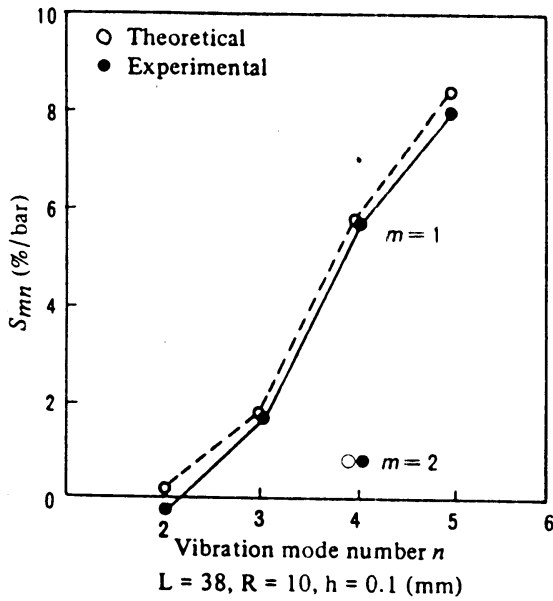


Fig. 3. Mode nummer en druk gevoeligheid voor de cilindrische resonator

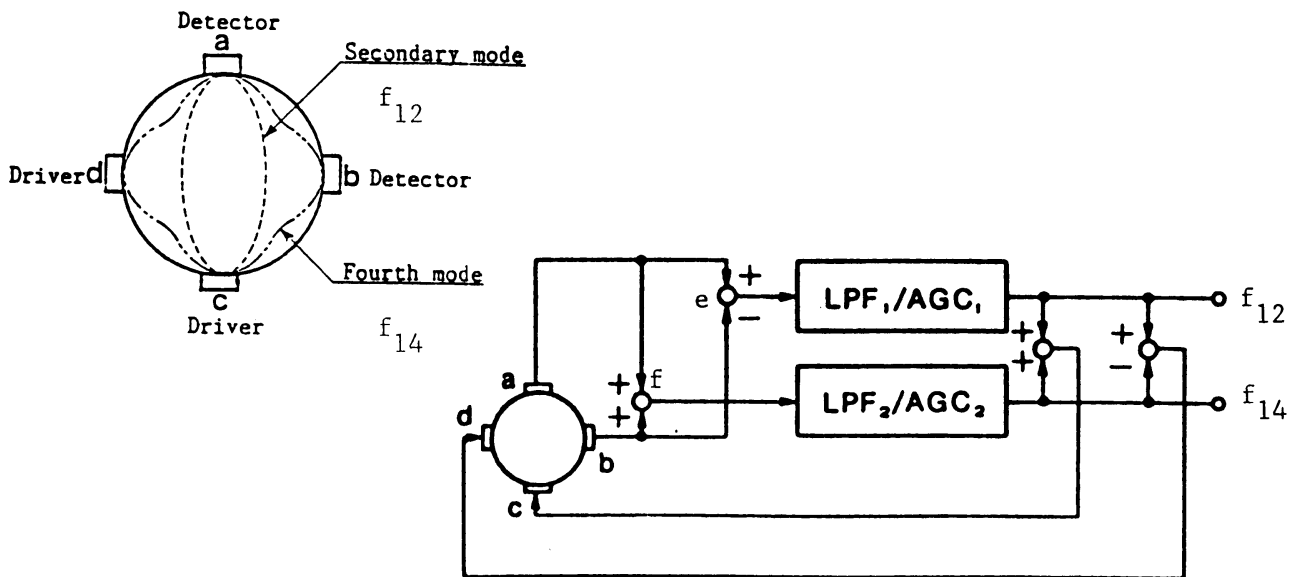


Fig. 4. Meetcircuit; de cilindrische resonator oscilleert onafhankelijk en asynchroon in de twee modes (1, 2) en (1, 4). Bij a, b, c, d, zitten piëzoelectrische transducers, waarbij a en b detectors zijn en c en d de zenders. De in de punten a en b opgewekte spanningen van de (1, 4)-mode zijn in fase, terwijl die van de (1, 2)-mode juist uit fase zijn. Deze spanningen worden derhalve in punt f bij elkaar opgeteld en in punt e van elkaar afgetrokken, zodat de twee modes (1, 2) en (1, 4) onafhankelijk via een "low pass filter" (LPF) en een "automatic gain control" (AGC) kunnen worden bemeaten. De vastgestelde frequenties worden teruggekoppeld naar de punten c en d.

### 3. Overige opmerkingen:

- Bij de bepaling van de druk uit de meetwaarden van  $f_{1,4}$  en  $f_{1,2}$  is kennis van de temperatuur en drift niet nodig;  $r$  is immers hiervan onafhankelijk (zie relatie (4)). Gebleken is dat ook vervuiling nauwelijks van invloed is op  $r$  (zie figuur 5).
- Als referentiedruk aan gene zijde van de cylinder is gekozen voor vacuüm ( $P < 10^{-5}$  Torr). Deze waarde is waarschijnlijk gekozen omdat ingeval van een zekere referentiedruk  $\approx 0$  bar een temperatuurafhankelijkheid wordt geïntroduceerd. Om systematische fouten te voorkomen is het van belang dit vacuüm regelmatig te controleren. Weergegeven wordt immers een drukverschil: de uitwendige druk (atmosferische druk) minus de inwendige druk (vacuüm).
- Bij de geïnduceerde trillingen treedt netto een praktisch verwaarloosbare massaverplaatsing op, waardoor hysteresis van het materiaal zeer gering is.
- de relatie tussen  $r$  en  $p$  is niet lineair. Er wordt daarom gebruik gemaakt van een microprocessor waarbij ter berekening van  $P$  gebruik wordt gemaakt van een derde graads functie van  $r$ , met parameters welke d.m.v. ijkingen zijn bepaald. Nakaasa claimt een repeteerbaarheid binnen een nauwkeurigheid van 0.03 mbar en een jaarlijkse drift kleiner dan 0.1 mbar.

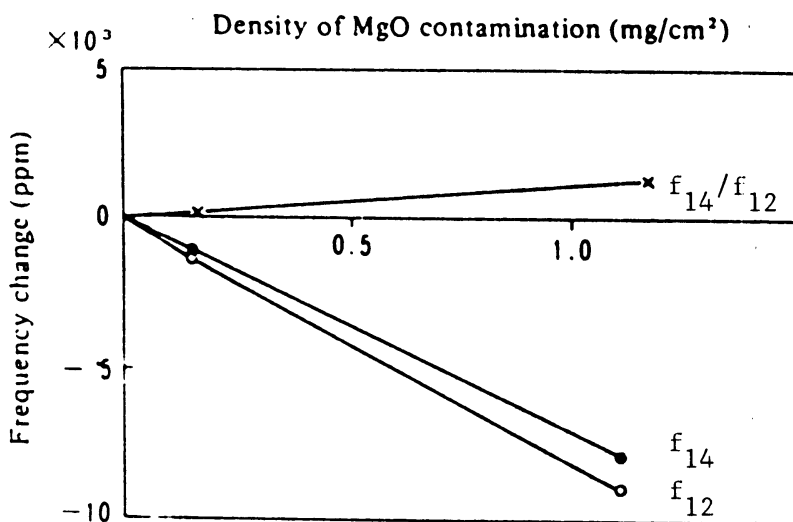


Fig. 5. Invloed door vervuiling met magnesiumoxide (MgO); de gemeten verhouding  $f_{12}/f_{14}$  blijkt nauwelijks door deze vervuiling te worden beïnvloed.

● Beschrijving van de testmethoden voor de ijkingen van barometers

De ijkprocedure

De atmosferische druk, zoals die in Nederland wordt gemeten (i.h.a. praktisch op zeeniveau) ligt, zelfs in extreme situaties, tussen de 950 en 1050 mbar. De ijkingen vinden dan ook plaats bij een aantal vrijwel equidistante drukwaarden, d.w.z. met onderlinge stappen ca. 10 mbar. Vrijwel alle types barometers vertonen een zekere hysteresis. Om dit waar te nemen worden deze drukwaarden eenduidig en in twee richtingen doorlopen:

- Traject I waarbij de opeenvolgende drukwaarden toenemen en
- Traject II waarbij de opeenvolgende drukwaarden afnemen.

Door de hierdoor verkregen 22 meetwaarden grafisch als functie van de druk weer te geven, waarbij duidelijk onderscheidt wordt gemaakt tussen meetserie met toenemende en die met afnemende druk, wordt een goede indruk verkregen over:

1. de gemiddelde afwijking van de barometer als functie van de druk
2. de nauwkeurigheid
3. de mate van hysteresis

Naast afwijkingen en hysteresis vertonen vrijwel alle barometers een zekere vorm van drift. Door de ijkingen regelmatig te herhalen wordt een goede indruk van deze drift verkregen.

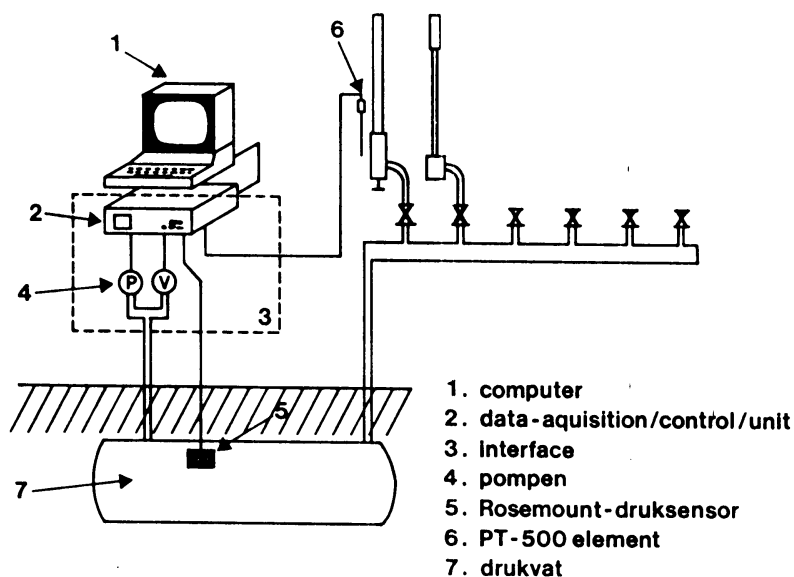


Fig. 6. De meetopstelling.

### De drukinstelling

Teneinde een barometer te kunnen ijken moet deze worden aangesloten op een vat met een instelbare referentiedruk, welke nauwkeurig bekend en voldoende stabiel is.

Hiertoe is bij het KNMI gekozen voor een drukvat van ca. 1800 liter inhoud, welke is geplaatst onder de grond teneinde temperatuurinvloeden te minimaliseren. Om de druk te kunnen variëren is op dit vat zowel een perslucht- als een vacuümpomp aangesloten, welke ervoor zorgen dat elke gewenste druk binnen het traject gerealiseerd kan worden. Dit afregelen vindt plaats m.b.v. een computer. Nadat een gewenste druk is verkregen, wordt er niet meer gepompt, terwijl het geheel ruim 5 minuten de tijd krijgt om te stabiliseren (zowel qua druk als qua temperatuur). Via een verdeelstuk is zowel de te ijken barometer als een standaard-referentie bakhevelbarometer; fabrikaat Müller, type 2k) aangesloten. Zie fig. 6 voor een overzicht van de opstelling.

### De meting

Per meetpunt wordt de waarde van de barometer vergeleken met die van de referentiebarometer.

Teneinde een correcte meting te doen dienen de volgende gegevens te worden meegenomen in de berekening van de referentiedruk:

- 1) de temperatuur van de kwikkolom van de referentiebarometer. Deze wordt bepaald m.b.v. een geijkt Pt-500 element, bevestigd op de kwikbuis van de referentiebarometer.
- 2) de hoogte van de meniscussen in het hoge en lage been van de referentie bakhevelbarometer.
- 3) de soortelijke massa van het kwik, g-factor. Vastgelegd wordt tenslotte het verschil tussen de door de te ijken barometer afgegeven waarde en de berekende referentiedruk.

### Certificatie, het ijkbewijs

Nadat alle meetpunten zijn doorlopen, wordt van iedere barometer bij gebleken geschiktheid een ijkbewijs opgemaakt. Hierop staat vermeld:

1. - de datum van ijking
2. - het soort instrument
- 3a. - de fabrikant van de barometer
- 3b. - het kodenummer van de barometer
4. - beoordeling t.b.v. operationeel gebruik
- 5a. - een correctie-tabel
- 5b. - een correctie-grafiek
6. - waarmerking door het KNMI-ijklab

Op basis van de meetgegevens wordt tenslotte een correctie-tabel opgesteld, waarvoor voor alle meetpunten de positieve correcties worden weergegeven met een nauwkeurigheid van 0.1 mbar.

Aan de hand van deze tabel wordt eveneens een correctie-grafiek opgesteld, aan de hand waarvan de positieve correctie als functie van de druk kan worden afgelezen.

● Resultaten test

Test 1: werking bedieningsorganen

Alle bedieningsorganen werkten volgens de specificaties en naar volle tevredenheid van de tester.

Test 2: uitlezing display

Het display geeft de informatie op correcte wijze weer.

Test 3: signalen aan de digitale uitgang

Om de bruikbaarheid van de digitale uitgang te testen werd een computergestuurd test programma in het ijklab ontwikkeld. Met behulp hiervan kan worden geconcludeerd dat data verkregen via IEEE 488-bus, overeenkomen met die welke het display weergeeft (binnen de marge van 0.1 mbar).

Test 4: signalen aan de analoge uitgang

Aan de analoge uitgang van de barometer werd met behulp van een hp3478A dig. voltmeter de spanning gemeten. De uitgangssignalen, gerelateerd naar de druk bleken binnen de tolerantie grenzen van 0.1 mbar, overeen te komen met de waarde op het display.

Test 5: controle op afwijkingen door ijkingen bij 22 standaard testdrukken

Over deze 22 testdrukken waren de afwijkingen van de gemeten signalen gerelateerd naar druk kleiner dan 0.1 mbar (zie fig. 7).

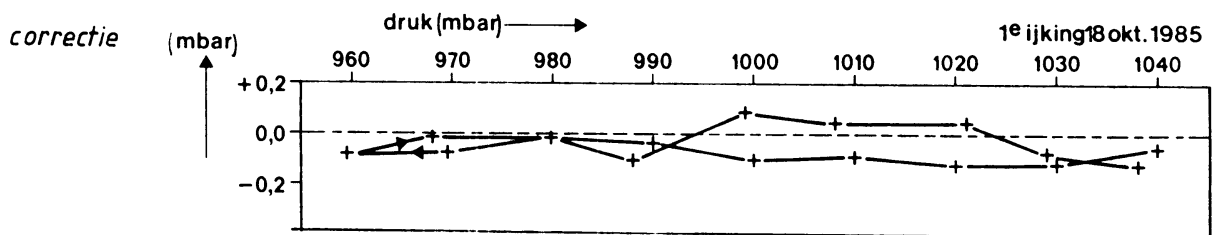


Fig. 7. De eerste ijking.

Test 6: temperatuurafhankelijkheid

Overeenkomstig de specificaties dienen de meetresultaten onafhankelijk te zijn van de heersende temperatuur.

Om dit te controleren heeft een herhaalde ijking plaats gevonden bij de temperaturen,  $t=5, 15, 25$  en  $35^{\circ}$ . Zoals fig. 8 a t/m d laat zien is van een noemenswaardige invloed van de omgevingstemperatuur geen sprake.

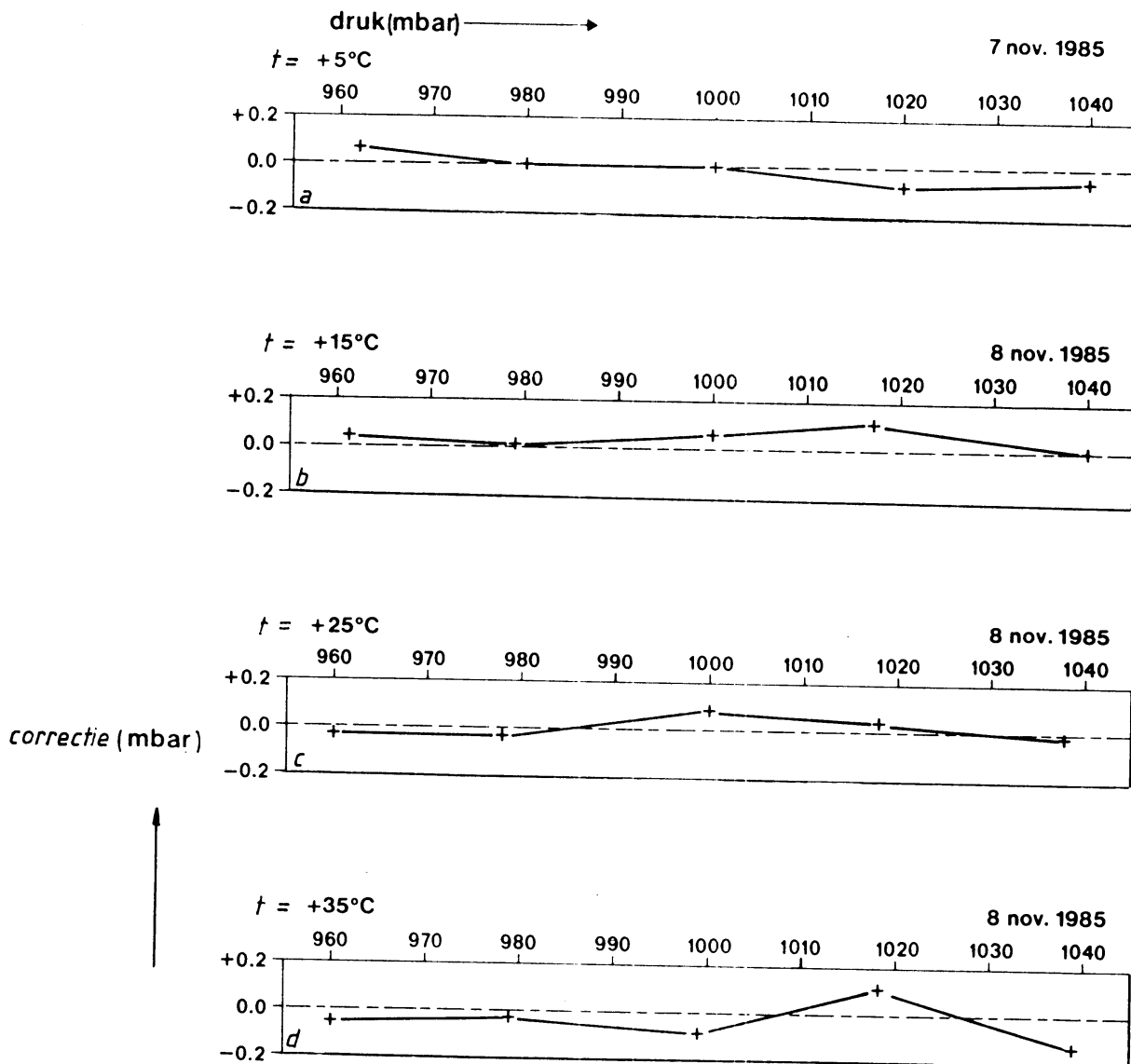


Fig. 8. Temperatuurafhankelijkheid.

Test 7: de invloed van hoge en lage vochtigheid (zonder condensvorming)  
De invloed van vocht in het gebied van 17 t/m 90% R.V aan de digitale uitgang gerelateerd naar druk is kleiner dan 0.1 mbar.

Test 8: invloed van netspanningsvariatie  
De netspanningsvariaties van 10% (200 volt en 242 volt) geregistreerd over een periode van 2 dagen geeft als grootste afwijking 0.2 mbar.

Test 9: invloed netvervuiling  
Controle storingsgevoeligheid op het net.  
Gebruikte storingsgenerator: Schaffer HSG 22A.  
Conditie:

Duur: 100 ns                      Freq: 50Hz  
Stijgtijd: 5 ns                      fase: FREE  
Max amplitude: 1500V

Resultaten  
Symetrische: geen probleem  
Asymetrisch: tot 1250V geen problemen

Test 10: invloed netspanningsverstoring  
Conditie:

Freq: 0,1 Hz  
Duur: 20 ms

Resultaten  
Geen problemen

Test 11: instraling

Deze test is niet uitgevoerd. Apparatuur om de test uit te voeren is niet beschikbaar bij het KNMI.

Test 12: aanwezigheid van Parasitaire resonantie  
(voor testprocedure, zie Testspecificatie op blz. 4)

Resultaten  
Geeft geen problemen

Test 13/1: transporttest en beoordeling handelbaarheid

1. Het transport heeft nauwelijks invloed op de ijking van het instrument gehad, zie fig. 9a, b.

De onderlinge afwijking tussen de ijkingen voor en na de test blijkt niet groter te zijn dan 0.1 mbar.

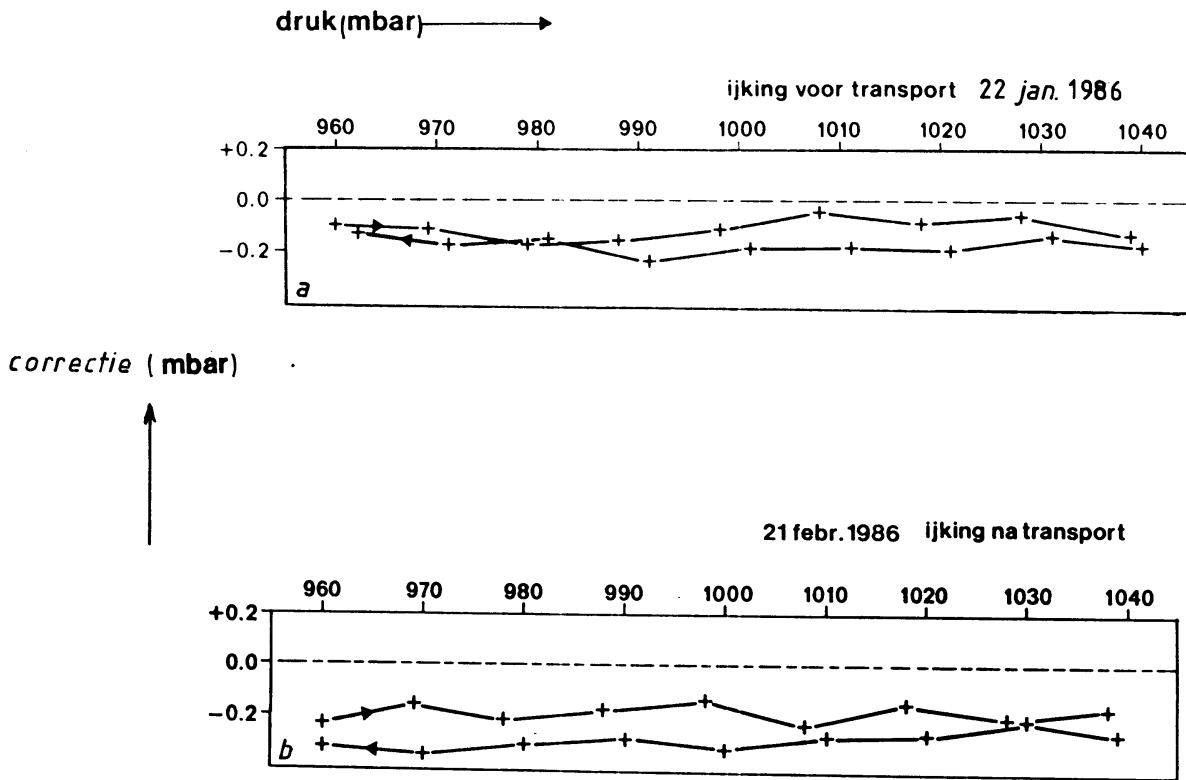


Fig. 9 a en b. Invloed transport over de weg.



Test 13/2: inschatting handelbaarheid tijdens transport (o.a. op zee)

2. De test is gekoppeld geweest aan een kort gebruik van  $\pm 6$  weken op een marineschip, zie fig. 10a,b.

De ijkresultaten voor en na de gebruikperiode, geven geen voldoende indicatie dat de calibratie ten gevolge van het gebruik is gewijzigd.

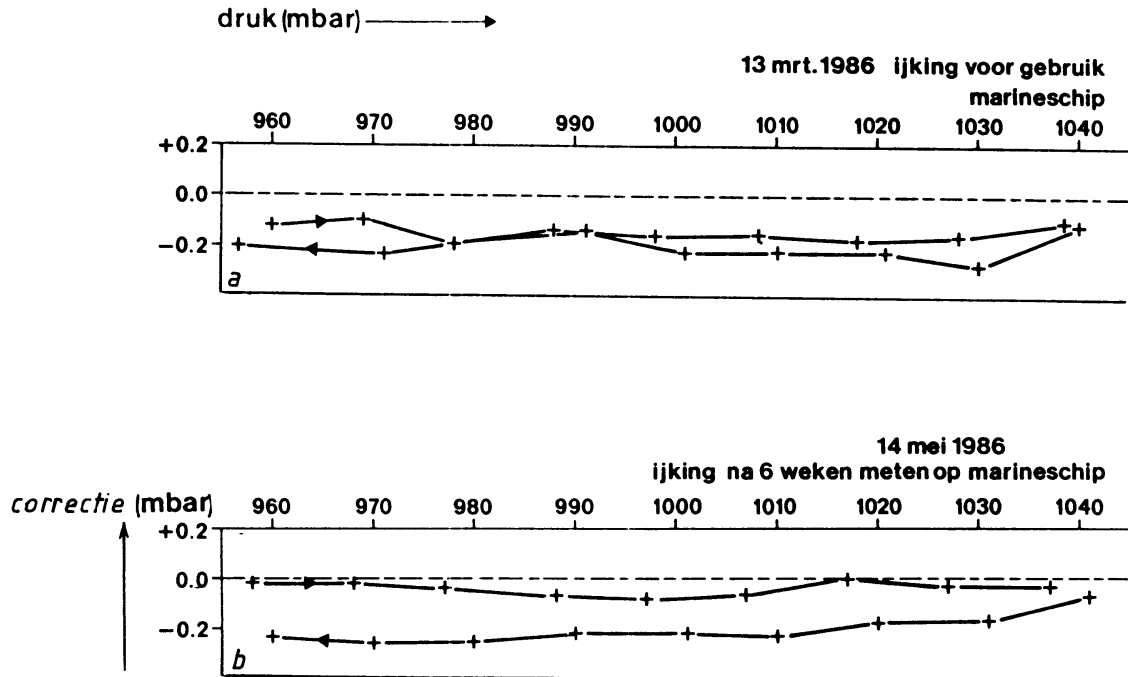


Fig. 10 a en b. Invloed transport op zee (zes weken in gebruik op een marineschip).

B: Periodieke test

Ter controle op eventuele drift is het apparaat na 1 week, 1, 3 en 6 maanden herijkt.

De test na 1 jaar werd niet uitgevoerd omdat we het instrument niet een volledig jaar tot onze beschikking hadden.

Zoals uit fig. 11 a t/m e blijkt is binnen de periode van 6 maanden van enige waarneembare drift geen sprake.

De maximale afwijkingen blijven binnen de grens van 0.2 mbar.

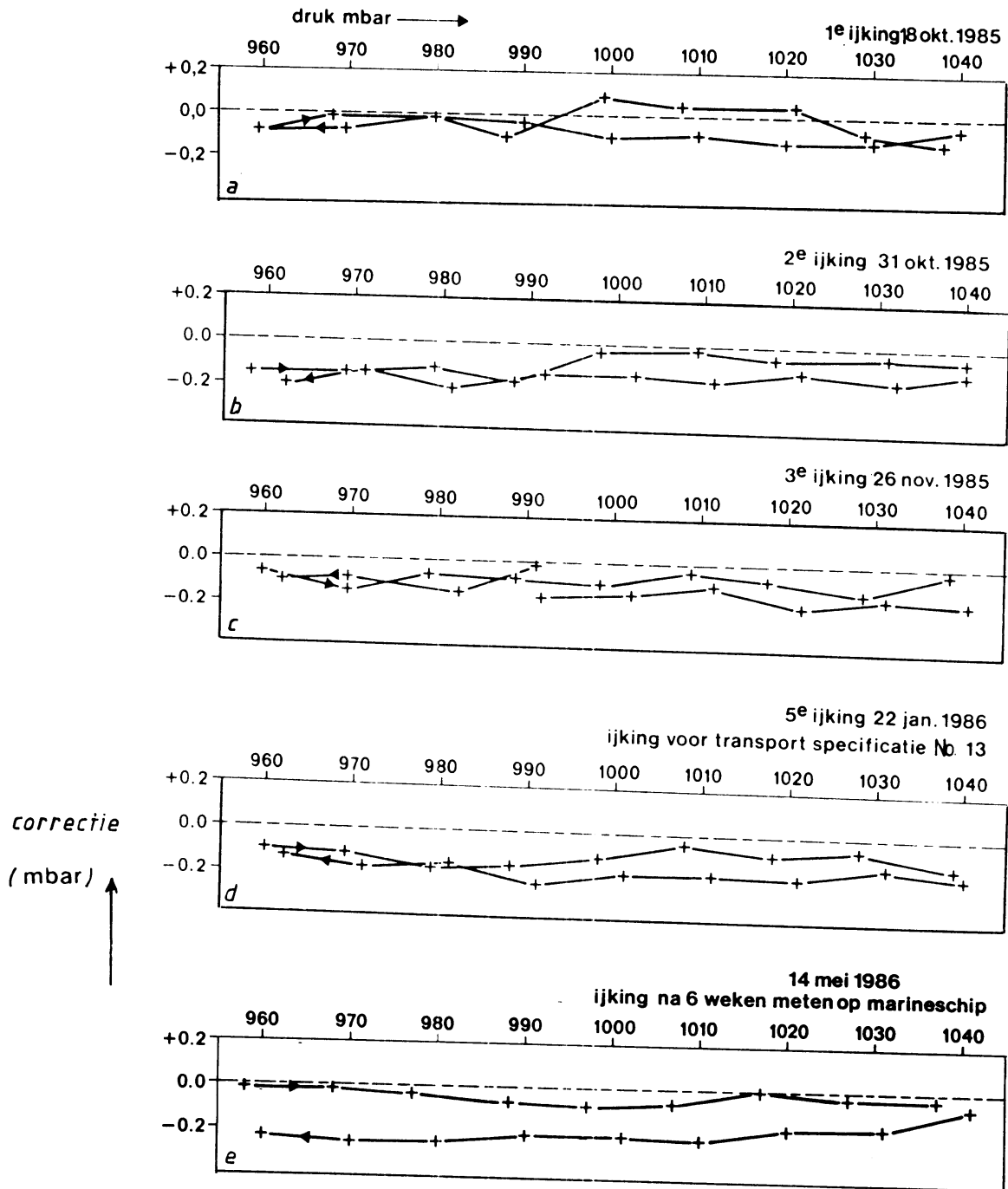


Fig. 11 a t/m e. Driftafhankelijkheid. Herijkingen na 1 week, 1 maand, 3 en 6 maanden.

C: Bevindingen en commentaar gebruikers

1. Ergonomie

De handelbaarheid van het instrument tijdens deze test-periode werd door de mensen van de buitendienst als prettig ervaren.

2. Interpretatie van verkregen meet-waarden

De waarden, die de barometer weer- en afgeeft (display, IEEE-uitgang of analogeuitgang) zijn exact en in mbar.

Een door middel van calibratie verkregen offset, c.q. correctie kan in het apparaat worden voorgeprogrammeerd, evenals een aantal gegevens waarmee het apparaat uit de gemeten druk de druk op zeeniveau uitrekent en weergeeft.

De afgegeven waarden zijn direkt toepasbaar; enig probleem rond de interpretatie van deze waarden is dan ook niet te verwachten.

3. Continuïteit van de meetreeksen

Ervan uitgaande dat de huidige barometers correct zijn en op juiste wijze de druk wordt bepaald, zal van enige discontinuïteit van de meetreeksen, zoals beheerd door de KD van het KNMI geen sprake zijn.

---

Hierbij wil ik graag Jitze van der Meulen bedanken voor zijn waardevolle adviezen c.q. bijdrage aan dit verslag (o.a. Technische beschrijving).