



**Vergelijking van de
Vaisala's HMP233 en HMP243
relatieve luchtvochtigheidsmeters**

februari - september 1997

F. Kuik

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut



Technisch rapport = technical report; TR-201

De Bilt, 1997

Postbus 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
Telefoon 030-220 69 11
Telefax 030-221 04 07

Auteur: F. Kuik

UDC: 551.508.71

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2131-7



*Vergelijking van de Vaisala's HMP233 en
HMP243 relatieve luchtvochtigheidsmeters*

februari - september 1997

F. Kuik

INSA/IO

november 1997

Inhoud

<i>INHOUD</i>	<i>i</i>
<i>HOOFDSTUK 1</i>	<i>Inleiding en achtergronden van het onderzoek 1-1</i>
	Inleiding 1-1
	Doelstellingen van het onderzoek 1-2
	Indeling rapport 1-2
<i>HOOFDSTUK 2</i>	<i>Tweede fase: de opzet en uitvoering 2-3</i>
	Inleiding 2-3
	De werking van de HMP243 2-3
	Opstelling en data-acquisitie 2-5
	Ingewonnen data 2-6
<i>HOOFDSTUK 3</i>	<i>Situaties met verschillen in de RH-metingen 3-7</i>
	Inleiding 3-7
	Vertraging in de HMP233-metingen in de ochtend 3-8
	Vertraging in de HMP233-metingen in de avond 3-9
	Invloed van de hutjes en windsnelheid 3-9
	Samenvatting 3-10
<i>HOOFDSTUK 4</i>	<i>Analyse van de metingen 4-11</i>
	Inleiding 4-11
	Verschillen in de RH als functie van de RH 4-12
	De verschillen gemiddeld per RH 4-13

Effecten ten gevolge van de wind **4-16**
Lage temperaturen, lage windsnelheden en hoge RH **4-18**
Slotopmerkingen **4-20**

HOOFDSTUK 5 *Conclusies, Discussie en Aanbevelingen en
Slotopmerkingen 5-21*

Inleiding **5-21**
Conclusies **5-21**
Discussie en aanbevelingen t.b.v. operationele RH-metingen **5-22**
Verder onderzoek? **5-22**

1.1 Inleiding

Al enige jaren gebruikt het KNMI HMP233 sensoren van Vaisala voor het meten van de relatieve luchtvochtigheid (RH). Ten opzichte van sensoren die voor de HMP233 in gebruik waren, leveren de laatste uitstekende prestaties en zijn er weinig klachten of problemen van betekenis.

Echter, van de Koninklijke Luchtmacht kwamen er in 1996 geluiden dat bij omstandigheden met temperaturen rond het vriespunt die gepaard gingen met relatieve luchtvochtigheden boven de 90%, de HMP233 misschien niet helemaal te vertrouwen was. Hier waren twee indicaties voor.

De eerste was dat waarnemers van de KLu visuele zichtwaarnemingen vergeleken met metingen van de RH afkomstig van de HMP233. Wanneer zij visueel waarnamen dat het zicht aan het toenemen was, bleek dat de RH (gemeten met de HMP233) uiteindelijk wel afnam, maar dat er een vertraging ten opzichte van de visuele waarnemingen was.

Een tweede indicatie was dat er af en toe ijsafzetting ontstond bij de start van F16-motoren. Deze motoren mogen niet gestart worden als de RH boven een bepaalde waarde komt bij een temperatuur onder het vriespunt ligt, vanwege problemen die dan ontstaan met ijsafzetting. Toch is het voorgekomen dat deze ijsvorming plaatsvond, waarbij men vertrouwde op RH-metingen van de HMP233.

Bij het KNMI is toen besloten een onderzoek te doen naar het gedrag van de HMP233 bij hoge RH en eventueel naar een alternatief voor dit instrument te kijken. Dit onderzoek heeft bestaan uit 2 delen. Tijdens de eerste periode (zomernajaar 1996 en een deel van de winter 1996/1997) is onderzocht of de afscherming waarin de sensoren onder operationele omstandigheden geplaatst zijn (ook wel 'hutjes' genoemd), een vertragingseffect veroorzaakten. Over het eerste deel van het onderzoek is in een tussenrapportage gemeld dat de toen uitgetroefde hutten geen meetbare verschillen in de RH-metingen gaven. In dit rapport wordt niet meer teruggekomen op de resultaten van deze eerste fase.

Het tweede deel van het onderzoek bestond uit het testen van een nieuwe RH-sensor van Vaisala, de HMP243. Om mogelijke verbeteringen in de HMP243 ten opzichte van de HMP233 goed te kunnen onderscheiden, heeft de HMP233 ook deelgenomen aan de tweede test.

Voor het onderzoek moesten de constatering van de KLu 'vertaald' worden naar instrumentele testen die uitsluitend konden geven over de correcte werking van de HMP233. De vragen waarop het onderzoek een antwoord moest leveren zijn

- Is het aantoonbaar dat de metingen van de HMP233 een vertraging bevatten?
- Indien dit inderdaad het geval is, onder welke meteorologische omstandigheden gebeurt dit dan?
- Hoe vaak komen dergelijke omstandigheden voor en hoe vaak gingen de RH-metingen hierbij daadwerkelijk fout?
- Zijn er mogelijk nog additionele niet-meteorologische factoren die de metingen beïnvloeden?
- Levert de HMP243 betere metingen op dan de HMP233 onder die omstandigheden?
- Samengevat: kan er een oplossing aangedragen worden voor de KLu-problemen?

1.2 Doelstellingen van het onderzoek

Het onderzoek dat is uitgevoerd strekt verder dan alleen het oplossen van de problemen van de KLu. Er is namelijk niet alleen gekeken naar de werking van de HMP233, maar er zijn ook nieuwe instrumenten getest in verschillende behuizingen. De doelstellingen van het onderzoek zijn als volgt te formuleren.

- Onderzoek kwalitatief en (indien mogelijk) kwantitatief de werking van de HMP233, waarbij speciale aandacht uitgaat naar de problemen die de KLu gemeld heeft.
- Bepaal de kwaliteit van de nieuwe HMP243 in verhouding tot die van de HMP233.
- Bepaal of secundaire factoren zoals afscherming ook van invloed zijn op de metingen en kwantificeer dit.
- Formuleer aanbevelingen over de KNMI/KLu vochtmetingen voor de toekomst.

1.3 Indeling rapport

Hoofdstuk 1 van dit rapport bevat een omschrijving van de aanleiding naar het uitgevoerde onderzoek. In Hoofdstuk 2 is te vinden hoe de experimentele opstelling in elkaar stak: welke metingen zijn gedaan, data-acquisitie, etc. In Hoofdstuk 3 worden de eerste resultaten besproken aan de hand van voorbeelden van metingen uitgevoerd met de verschillende instrumenten. Hierin is te vinden hoe de vochtmetingen zich onder verschillende omstandigheden 'gedragen'. Hoofdstuk 4 bevat een statistische analyse van de data en het laatste hoofdstuk bevat een samenvatting van de conclusies die in eerdere hoofdstukken genoemd zijn, er worden aanbevelingen gedaan over hoe voort te gaan met de RH-metingen en er zijn enige slotopmerkingen toegevoegd.

2.1 Inleiding

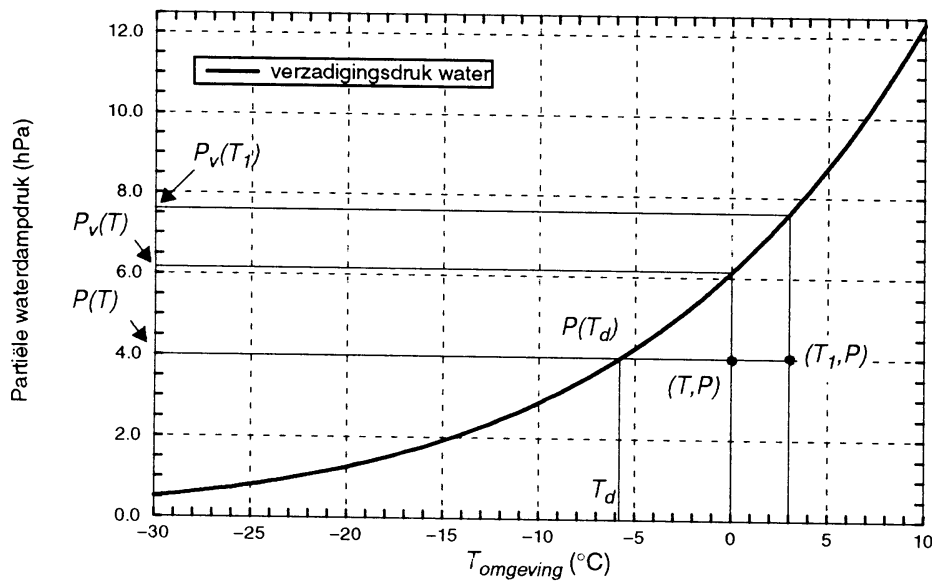
Het probleem dat de KLu geconstateerd heeft in de HMP233-metingen, is een vertraging in de metingen ten opzichte van visuele waarnemingen. De omstandigheden die hierbij voor de KLu het meest relevant zijn, zijn die van een RH dichtbij 100%, in combinatie met temperaturen rond of onder nul. Dan moet immers de beslissing genomen worden of de RH te hoog is (of wordt) om de F16-motoren te starten.

De situatie waarbij de RH van 100% die begint te dalen, is minder relevant voor de KLu. Indien de HMP233 een vertraging in de metingen vertoont bij dalende luchtvochtigheid, is de waarde die de sensor geeft hoger dan de werkelijke waarde. Wanneer de limietwaarde waarbij motoren gestart mogen worden van de RH door de HMP233 gemeld wordt, zal de werkelijke RH al lager zijn. In dit geval zullen er geen problemen optreden. Toch zal de KLu ook in deze situaties liever correcte RH-metingen hebben.

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de test is opgezet zodat zoveel mogelijk factoren die de RH-metingen beïnvloeden in kaart gebracht kunnen worden. Verder wordt nog iets verteld over de werking van de HMP243 en de data-acquisitie die tijdens de test gebruikt is.

2.2 De werking van de HMP243

De werking van de HMP243 verschilt iets van die van de HMP233. Het laatste instrument meet direct met behulp van een capacitatieve sensor de relatieve luchtvochtigheid. De HMP243 beschikt over dezelfde capacitatieve sensor, die echter tot een paar graden boven de omgevingstemperatuur verwarmd wordt. Op deze wijze kan de dauwpuntstemperatuur bepaald worden. Om de RH te bepalen is een additionele meting van de omgevingstemperatuur nodig. De werking van de HMP243 wordt aan de hand van Fig. 2.1 toegelicht.



Figuur 2.1. PT-diagram voor water. Zie de tekst voor de uitleg van de werking van de HMP243.

In Fig. 2.1 is het PT-diagram voor water geplot. De curve geeft aan bij welke combinatie van de partiële waterdampdruk en temperatuur de lucht verzadigd is met waterdamp. Stel dat er zoveel waterdamp in de lucht zit dat de partiële waterdampdruk P is en de omgevingstemperatuur T : het punt (T, P) in de figuur. De maximale hoeveelheid waterdamp bij die T , heeft een bijbehorende maximale dampdruk: de verzadigingsdampdruk $P_v(T)$. Deze wordt gevonden door bij temperatuur T in de grafiek vertikaal omhoog te gaan tot de curve die de verzadigingsdampdruk representeert. De relatieve luchtvochtigheid wordt per definitie gegeven door

$$RH = \frac{P(T)}{P_v(T)} \cdot 100\% . \quad (2.1)$$

Dit is de grootheid die een geijkte HMP233 meet. Echter, de HMP243 meet niet de RH bij de omgevingstemperatuur T , maar vanwege de verwarming van het element, bij T_1 . Dit levert een RH_{243} op die lager is dan de RH uit vergelijking (2.1) omdat de bijbehorende verzadigingsdruk te hoog is:

$$RH_{243} = \frac{P(T)}{P_v(T_1)} \cdot 100\% . \quad (2.2)$$

Met behulp van een PT-element (temperatuurmeting) op de RH-sensor wordt de temperatuur T_1 van de sensor gemeten. In vergelijking 2.2 is $P(T)$ dan de enige onbekende die dus berekend kan worden uit de overige grootheden. Nu is de $P(T)$ zelf niet vreselijk interessant, maar wel het feit dat de dauwpuntstemperatuur T_d (die temperatuur waarbij de lucht die een bepaalde hoeveelheid waterdamp bevat juist verzadigd raakt) eruit afgeleid kan worden. Er geldt immers $P(T) = P_v(T_d)$ en de relatie tussen P_v en T_d is bekend. De basisgrootte die de HMP243 levert is de T_d , die op bovenstaande manier bepaald wordt. Indien de omgevingstemperatuur T niet bekend is, kan de HMP243 niet de RH als output genereren.

Echter, de HMP243 heeft als optie de mogelijkheid om een PT-100 element aan te sluiten, waarmee de omgevingstemperatuur gemeten kan worden. Met deze extra informatie kan de HMP243 als volgt wel de juiste RH bepalen. Uit (2.1) en (2.2) volgt

$$RH = \frac{P_v(T_1)}{P_v(T)} \cdot RH_{243} \quad (2.3)$$

De verzadigingsdruk van water, P_v , is alleen een functie van de temperatuur en is goed bekend. $P_v(T)$ en $P_v(T_1)$ worden berekend, de RH_{243} wordt gemeten en de RH volgt direct uit (2.3). De berekening van de RH gebeurt intern in de RH243. De optionele temperatuursensor was bij beide HMP243's in het experiment aanwezig, zodat direct de RH als output verkregen kon worden. Merk op dat de omgevingstemperatuur in de noemer van (2.3) voorkomt. Stel dat de omgevingstemperatuur te hoog gemeten wordt, dan zal de waarde van $P_v(T)$ groter zijn dan bij de juiste temperatuur. In dat geval zal de RH dus lager uitvallen dan de juiste waarde. Mocht de verwarming van de HMP243 in de KNMI-hut de in dezelfde hut geplaatste temperatuursensor opwarmen, dan zal dit resulteren in te lage waarden voor de RH.

De analoge uitgang van de HMP243 kan op dezelfde manier geconfigureerd worden als die van de HMP233. Voor de test is dit gedaan, zodat de HMP243's beiden met dezelfde SIAM (die van de HMP233) zijn uitgelezen.

De temperatuurmeting met de PT-100 van de HMP243 gaat verloren en kan niet vergeleken worden met die van de operationele sensor. Uit simulaties (door de auteur, die hier niet verder besproken worden) is gebleken dat een fout van 0.1 °C in T (in (2.3)), een fout in de RH tot gevolg heeft tot ongeveer 0.8% voor RH's boven de 90%, die afneemt voor kleinere RH's.

De nauwkeurigheid (volgens opgave Vaisala) in de RH is $\pm(0.5 + 2.5\%$ van de gemeten RH) % RH (dus 60% RH ± 2.0 % RH). De fout in de temperatuur gemeten met de additionele temperatuursensor is in de orde van ± 0.1 °C bij 20 °C.

2.3 Opstelling en data-acquisitie

Om de vragen die in Hoofdstuk 1 geformuleerd zijn te kunnen beantwoorden, zijn er voor de tweede fase van het onderzoek 3 RH sensoren op het testveld aan de zuidkant van het KNMI-gebouw in De Bilt opgesteld:

1. een HMP233 zoals die in de operationele opstellingen in gebruik is in de KNMI-hut,
2. een HMP243 met de RH- en temperatuursensor in een KNMI-hutje en
3. een HMP243 in een door Vaisala aanbevolen en meegeleverde hut.

Beide HMP243's zijn uitgerust met een aparte temperatuursensor. Voor de HMP243 in de KNMI-hut is de temperatuursensor naast de RH-sensor in dezelfde hut geplaatst, terwijl bij de Vaisala-afscherming het PT-element in een aparte (KNMI-)hut is geplaatst (de Vaisala afscherming is open aan de onderkant en biedt geen ruimte voor een PT-element). Hierbij bestond een risico dat de verwarming van het RH-element de temperatuur in de gehele hut iets zou verhogen, zodat de uiteindelijk gemeten relatieve luchtvochtigheid een fout zou bevatten door een te hoog gemeten temperatuur. Achteraf is gebleken dat dit niet het geval was.

De periode waarover data is ingewonnen loopt van 7 februari 1997 tot en met 27 september 1997. In totaal zijn dit 233 dagen, of 33552 10-minuten intervallen. Omdat het inwinsysteem niet continu goed heeft gefunctioneerd en er nog enige metingen zijn uitgevallen vanwege testen met het inwinsysteem, bleven er ongeveer 31000 metingen over voor de analyse.

2.4 Ingewonnen data

Alleen de RH inwinnen, was voor dit onderzoek niet voldoende. De volledige lijst met gegevens die tijdens het onderzoek ingewonnen werden staan in Tabel 2.1.

TABEL 2.1. De voor de test ingewonnen meteorologische grootheden.

Naam element	Omschrijving
RH243V	RH gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut.(De Bilt-test)
RH243K	RH gemeten met de HMP243 in de KNMI-hut (De Bilt-test)
RH233	RH gemeten met de HMP233 (De Bilt-operationeel)
RH233test	RH gemeten met de HMP233 op het testveld (De Bilt-test)
T_a	Omgevingstemperatuur, PT-500 (De Bilt-test)
G	Globale straling CM11 (De Bilt-test)
WS	Windsnelheid (De Bilt-operationeel)
Z	Zicht, HSS-PW-sensor (De Bilt-test)
$T_{d, 243V}$	Dauwpuntstemperatuur, berekend uit de RH243V en de T_a
$T_{d, 243K}$	Dauwpuntstemperatuur, berekend uit de RH243K en de T_a
$T_{d, 233}$	Dauwpuntstemperatuur, berekend uit de RH233 en de T_a

De data die gebruikt is voor de analyse bestond uit 10-minuut-gemiddelde metingen voor alle grootheden. Elk 10-minuutgemiddelde wordt weer berekend uit 50 individuele metingen die iedere 12 seconde gedaan worden.

De dauwpuntstemperaturen, in Tabel 2.1 zijn 'gekleurd' omdat het eigenlijk geen gemeten grootheden zijn, maar ze zijn afgeleid uit de RH en de T_a .

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden metingen besproken die verschillen laten zien tussen de 3 RH-meters¹. In verruit de meeste situaties zijn de absolute verschillen tussen de metingen klein: in de orde van maximaal enige procenten. Binnen de ijk-nauwkeurigheid en de instrumentele nauwkeurigheid, is dit goed. Echter, onder bepaalde omstandigheden treden er grotere verschillen op. Dit zijn juist de situaties die voor de instrumenten moeilijk goed te meten zijn en die voor dit onderzoek van belang zijn. In het volgende hoofdstuk wordt de data op een statische wijze benaderd. Hoewel dit waardevolle informatie oplevert, toont het minder goed die specifieke probleem-situaties. Daarom worden in dit hoofdstuk juist een aantal van die situaties bekeken, waarbij niet alleen de RH in beschouwing genomen wordt, maar ook de invloed van andere meteorologische parameters op de RH-metingen wordt toegelicht. De bestudering van de RH's in combinatie met de overige meteorologische parameters zoals in dit hoofdstuk gedaan wordt, heeft tot de conclusies geleid dat de windsnelheid, en daarmee 'het hutje', een belangrijke factor is bij de analyse van de metingen.

Het klimaat in Nederland in de herfst en winter is zodanig dat vooral in de ochtend, als de zon opkomt, en 's avonds bij zonsondergang, de RH (sterk) verandert. In het algemeen is de RH's nachts 100% (of daar in de buurt). Bij zonsopkomst daalt de RH snel met vaak enige tientallen van procenten in een paar uur. De oorzaak hiervan is de snelle stijging van de temperatuur na zonsopkomst. 's Avonds, als de zon lager komt en uiteindelijk ondergaat, neemt de RH weer toe. Dit proces gaat echter geleidelijker dan de snelle afname van de RH bij zonsopkomst.

Meestal komen de metingen van de HMP233 en HMP243 goed overeen. Echter, onder bepaalde omstandigheden lopen de verschillen in gemeten RH's op tot tussen de 10 en 20%. Drie van dit soort gevallen wordt hier besproken.

Het eerste geval is een situatie die het meest frequent voorkomt: een vertraging in de HMP233 metingen ten opzichte van de HMP243, wanneer in de ochtend de RH

1. De hier besproken gevallen zijn eerder gepubliceerd in Vaisala News 145/1997.

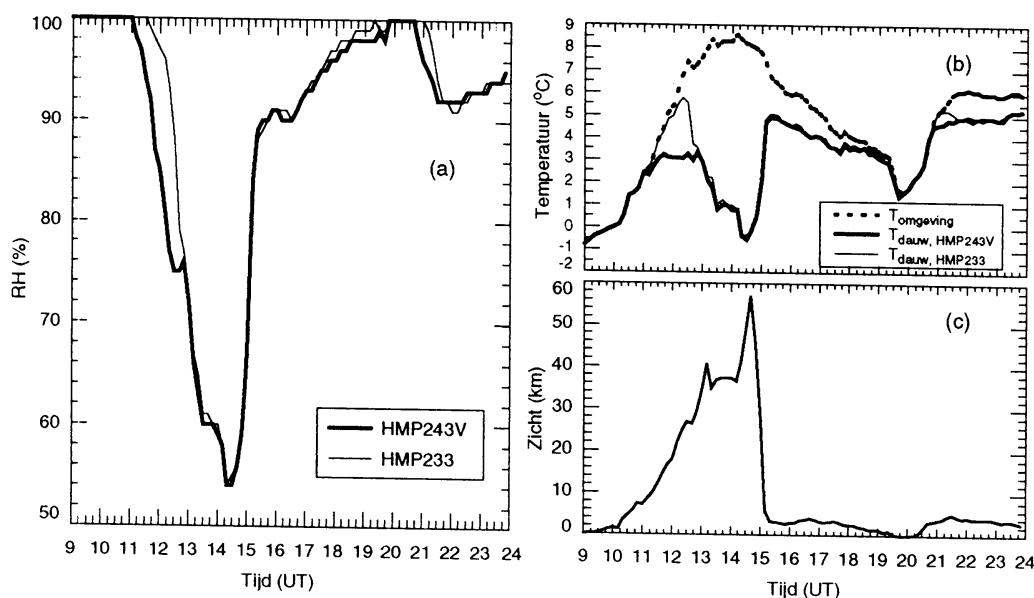
van 100% begint te dalen. Een tweede geval dat besproken wordt komt veel minder vaak voor: een vertraging in de HMP233-metingen bij een toenemende RH in de avond. Tot slot wordt een situatie besproken waarbij gekeken wordt naar verschillen tussen de HMP243 in de KNMI-hut en de HMP243 in de Vaisala-hut. Dit laatste geval toont duidelijk dat er een effect in de metingen zit ten gevolge van de verschillende hutten onder bepaalde omstandigheden.

3.2 Vertraging in de HMP233-metingen in de ochtend

In Fig. 3.1 zijn metingen te zien van 8 februari 1997 van 9:00 tot en met 24:00 UT. In (a) staan de RH's gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut (aangegeven met HMP243V) en die van de operationele HMP233. In de ochtend daalt de RH van 100% naar 54% binnen twee en een half uur. Duidelijk te zien is dat de HMP233 achterblijft bij de HMP243. De HMP233 begint ongeveer een half uur later af te nemen dan de HMP243 en de grootste vertraging is drie kwartier. Het maximale verschil tussen de 2 metingen is 16%.

In (b) is de omgevingstemperatuur geplot, samen met de dauwpunttemperaturen afgeleid uit de HMP233, de HMP243 en de omgevingstemperatuur. In de figuur is te zien dat gedurende de periode dat de HMP233 de vertraging vertoont, de dauwpunttemperatuur afgeleid uit de HMP233, hoger komt dan die afgeleid uit de HMP243. Aangezien de dauwpunttemperatuur een conservatieve grootheid is (hij hangt alleen af van de absolute hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer), zijn de metingen van de HMP243 vanuit fysisch oogpunt beschouwd, beter. De afname van de RH wordt in dit geval namelijk veroorzaakt door een stijging in de omgevingstemperatuur. Later op de dag dringt er een luchtmassa binnen die meer waterdamp bevat. De dauwpunttemperatuur stijgt dan, de RH ook maar de omgevingstemperatuur vertoont geen sprong.

De geringere toename van de dauwpunttemperatuur gemeten met de HMP243V tussen 11:00 en 13:00 UT, lijkt de goede kant op te gaan. Op dit moment is het echter niet goed mogelijk om kwantitatief te bepalen hoe groot zo'n toename in de dauwpunttemperatuur behoort te zijn.



Figuur 3.1. De RH (a), omgevings- en dauwpunttemperaturen (b), en het zicht (c), gemeten op 8 februari 1997.

In (c) staan de zichtmetingen van de HSS-PW-sensor. De correlatie tussen de RH en het zicht is duidelijk te zien. Iets na 10:00 UT begint het zicht toe te nemen. De RH begint te dalen vanaf 11:00 UT. De reden dat de RH met enige vertraging ten opzichte van de zichtmetingen af begint te nemen is waarschijnlijk dat de lucht oververzadigd was of dat er mist aanwezig was. Dit is niet verder onderzocht.

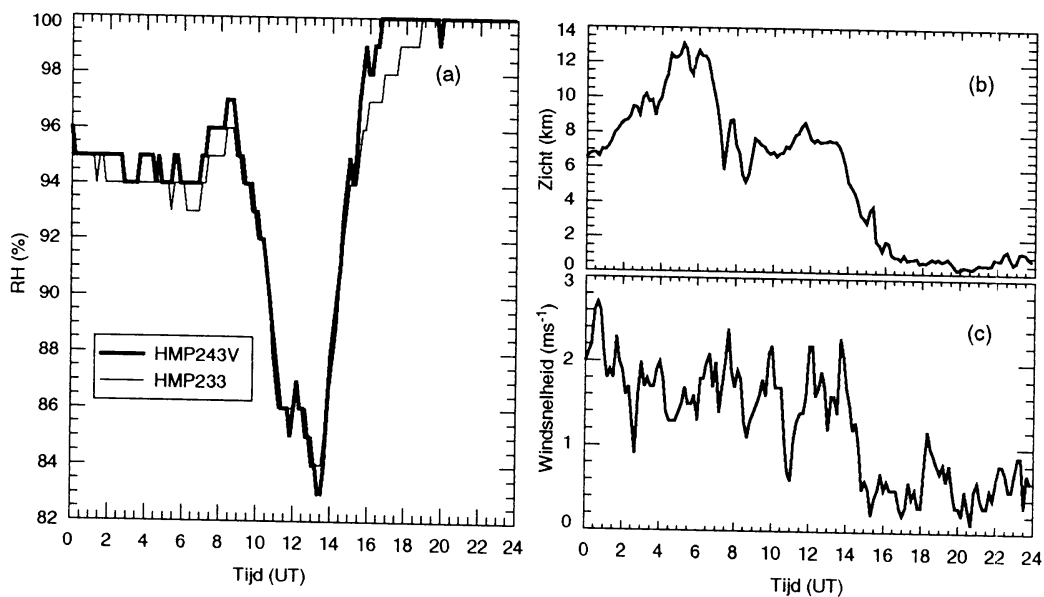
3.3 Vertraging in de HMP233-metingen in de avond

In Fig. 3.2 staan metingen van 23 september 1996 (deze metingen zijn niet meegenomen in de rest van de data-analyse: de tweede HMP243 in de KNMI-hut is pas in februari 1997 geplaatst), die vertragingen in de HMP233-metingen tonen gedurende de periode in de namiddag/avond bij een toenemende RH. In de ochtend zijn de verschillen tussen de metingen slechts 1 tot 2%. Na 15:00 UT stijgt de RH door tot 100%, waarbij de HMP233 er ongeveer 2 en een half uur langer over doet om de 100% te halen. De verschillen lopen hierbij op tot 3%, hetgeen niet erg veel is. In (b) is weer te zien dat de toename van de RH gepaard gaat met een afname van het zicht. De windsnelheid (c) was laag bij deze metingen. In vele gevallen waarbij vertragingen in de HMP233-metingen optraden, bleek de windsnelheid laag te zijn (kleiner dan ruwweg 2 ms^{-1}).

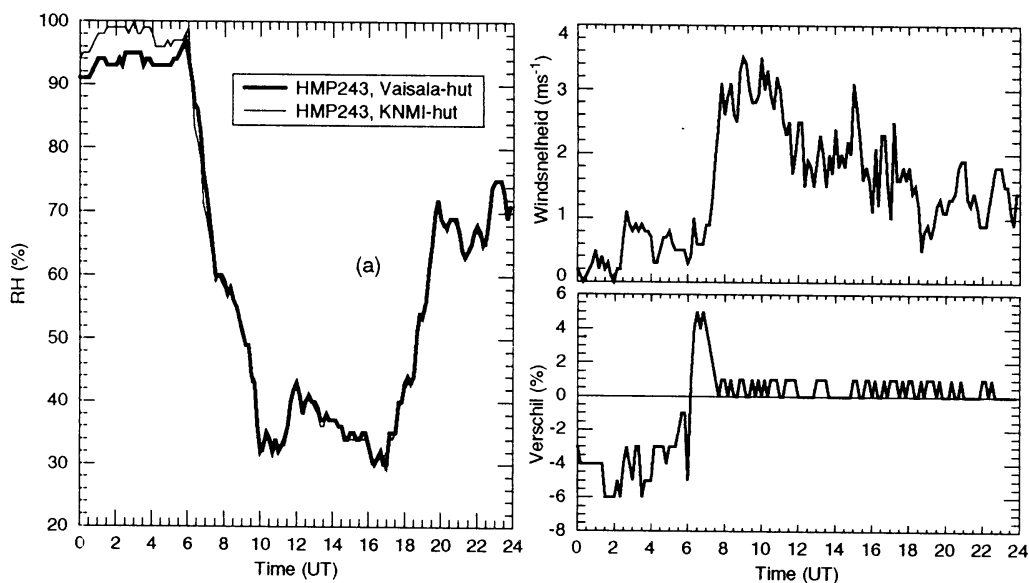
Situaties zoals deze met een stijgende RH en een vertraging in de RH gemeten met de HMP233, komen niet vaak voor.

3.4 Invloed van de hutjes en windsnelheid

In Fig. 3.3 zijn metingen te zien van 7 april 1997. In (a) is te zien dat de HMP243 in de Vaisala-hut lagere RH's meet dan de HMP243 in de KNMI-hut tot 6:00 UT. In (c) is het verschil HMP243V-HMP243K geplot, waar de V en K respectievelijk de Vaisala- en KNMI-hut betekenen. Uit bestudering van de volledige dataset bleek dat het patroon van de verschillen zoals in (c)



Figuur 3.2. De RH (a), zicht (b) en windsnelheid (c), gemeten op 23 september 1996. De RH gemeten met de HMP233 doet er ongeveer 2 en een half uur langer over om het 100% niveau te halen dan de HMP243.



Figuur 3.3. De RH (a), windsnelheid (b), en het verschil HMP243V–HMP243K, waar de V en K respectievelijk de Vaisala- en KNMI-hut betekenen (7 april 1997).

is aangegeven, vaak voorkwam in combinatie met een patroon in de windsnelheid zoals in (b) te zien is: negatieve verschillen bij lage windsnelheden, zodra de wind toeneemt slaan de verschillen om in een positieve piek om daarna (bij windsnelheden groter dan ruwweg 2 ms^{-1}) tussen de 0 en 1% te fluctueren.

3.5 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn een aantal situaties getoond die de aard van de verschillen tussen de HMP243 en de HMP233 laten zien. Ook de verschillen die tussen de 2 HMP243's in de verschillende behuizingen optreden zijn besproken. Hoewel dit 3 individuele gevallen zijn, zijn ze wel representatief voor de verschillen die opgetreden zijn. De verschillen blijken op te treden bij een lage windsnelheid ($< 2 \text{ ms}^{-1}$) in combinatie met

- een vanaf 100% dalende RH,
- of met een toenemende RH naar 100%,
- of met een RH tussen de 90 en 100%.

Voor het vervolg van de (statische) analyse zijn (o.a.) uit de totale dataset situaties gefilterd waarbij deze meteorologische condities aanwezig waren.

4.1 Inleiding

De totale dataset bestond uit ruim 31 000 metingen van 3 maal RH, temperatuur, windsnelheid, globale straling en zichtmetingen. Deze dataset is vanuit verschillende invalshoeken bekeken, waarbij de belangrijkste parameters waren de verschillen in de RH-metingen tussen

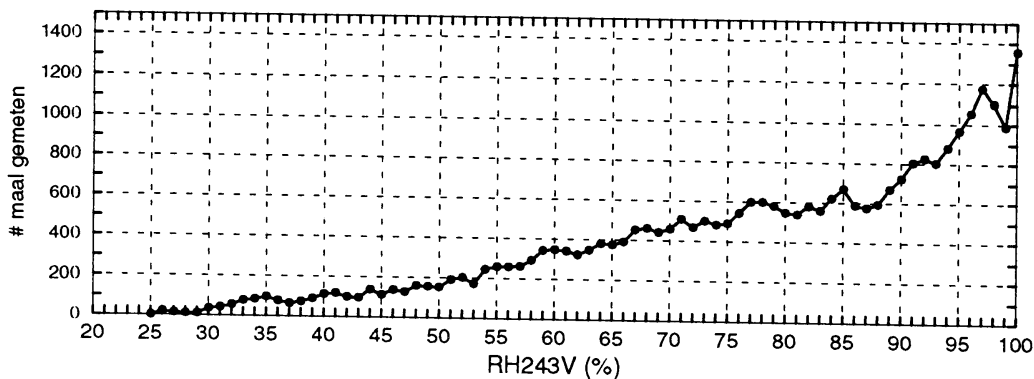
- de twee HMP243's onderling en
- het verschil tussen de HMP243 en de HMP233.

De vergelijking van de HMP243's onderling, is een vergelijking van twee identieke instrumenten die in verschillende afschermingen geplaatst zijn. *Dit is een methode om te kijken of er effecten ten gevolge van de verschillen in hutten zijn.* Echter, in deze vergelijking zit ook impliciet meegenomen de nauwkeurigheid van de ijking en die van het instrument zelf. Volgens opgave van het ijklab zijn de fouten van RH-meters net na ijking kleiner dan 1.75% in de RH en na 1/2 jaar maximaal 3.5% in de RH. Wanneer metingen voor hetzelfde 10-minuteninterval van de 2 sensoren binnen deze marge liggen, zijn ze dus 'aan elkaar gelijk'.

Voor de vergelijking van de HMP233 met de HMP243 zijn (meestal) de metingen van de HMP243 gebruikt die in de Vaisala-afscherming was bevestigd. Onder de aanname dat de HMP243 in de Vaisala-hut de best mogelijke metingen oplevert, wordt *in deze vergelijking bekeken hoe goed onze huidige operationele HMP233 presteert.* Echter, het verschil in hutje kan hierbij een extra verschil in de metingen introduceren. De situaties waarbij dit herkenbaar was, worden hier besproken.

Eerst worden een aantal resultaten van het onderzoek getoond en besproken waarbij de gehele dataset is bekeken. Daarna wordt ingegaan op de situaties die voor de KLu problemen zouden kunnen opleveren. Daarbij zijn alleen RH-metingen gebruikt die onder die specifieke omstandigheden gedaan zijn.

Om een idee te krijgen hoe vaak bepaalde RH's gemeten worden, is in Fig. 4.1 dit aantal (gemeten is met de HMP243 in de Vaisala-hut) geplot. In totaal zijn dit dus ruim 31000 metingen.



Figuur 4.1. Het aantal malen dat de HMP243 in de Vaisala-hut een bepaalde RH gemeten heeft in de periode februari t/m september 1997.

4.2 Verschillen in de RH als functie van de RH

Wanneer de verschillen in de gemeten RH's in een figuur uitgezet worden als functie van de gemeten RH, kunnen daar een aantal nuttige zaken uit gehaald worden. In Figuur 4.2 staat langs de X-assen de RH gemeten met de HMP243V (de 'V' betekent dat dit de HMP243 in het Vaisala-hutje is) en langs de Y-assen de verschillen die tussen de metingen gevonden zijn. Alle (goede) metingen tussen februari en september 1997 zijn hierbij opgenomen.

Resultaten

Het is in één oogopslag duidelijk dat de spreiding rond het gemiddelde in (a) voor de HMP243 kleiner is dan in (b) voor de HMP233. In onderstaande tabel zijn de gemiddelde verschillen van alle metingen samen, met hun standaarddeviaties, gegeven.

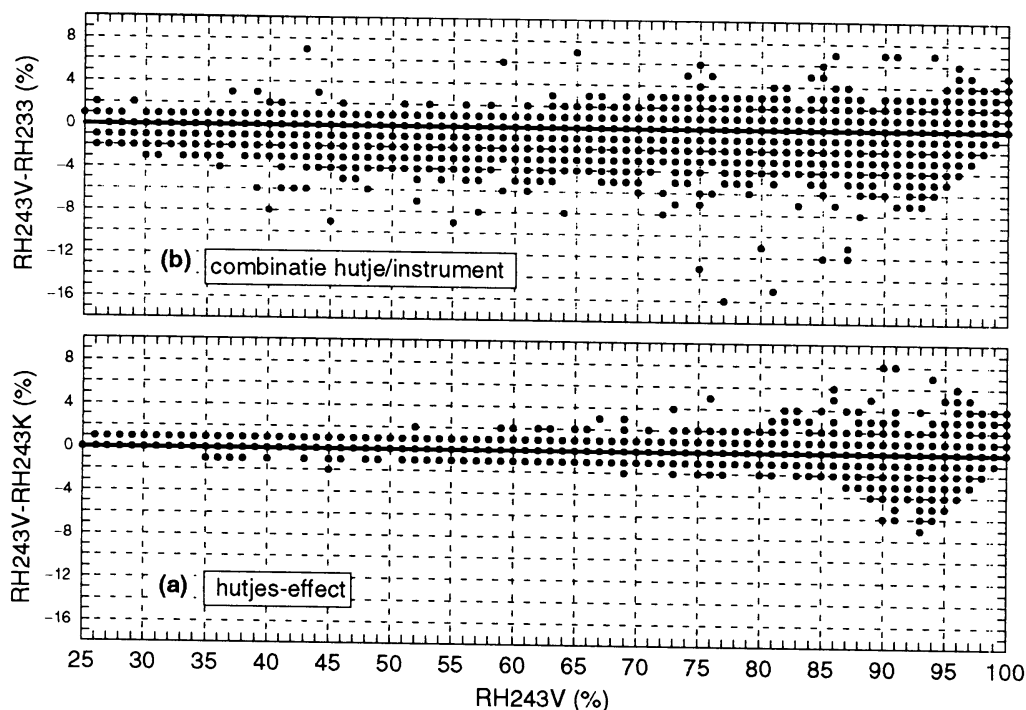
TABEL 4.1. De verschillen tussen de RH-meters met de standaarddeviaties.

	Gemiddeld verschil (%)	Standaarddeviatie (%)
RH243V-RH243K	0.06	0.84
RH243V-RH233	-0.64	1.21

De afwijking tussen de twee HMP243's ligt dicht bij nul, die tussen de 243 en de 233 ligt dichterbij de -1%. De standaarddeviatie in de verschillen tussen de 233 en 243 is groter dan die van de verschillen tussen de 243's. In Figuur 4.3 is te zien wat de frequenties zijn van de gevonden verschillen. De verschillen zijn rond de 0% geconcentreerd, de verdeling voor de 243V-243K piekt sterk en die voor de 243V-233 is breder. De verschillen van -16% tot -6% en van 4% tot 10% zijn incidentele uitschieters die weinig voorkomen.

Conclusies.

In het algemeen lijken de metingen van de HMP243 en HMP233 goed op elkaar. Er zit een verschil in de gemiddelde metingen in de orde van 1%, hetgeen door een klein verschil in de ijking veroorzaakt kan worden.



Figuur 4.2. In (b) staan de verschillen in de RH gemeten met de HMP243V en de HMP233, in (a) de verschillen tussen de twee HMP243's. In totaal staan er ongeveer 31000 meetpunten in iedere figuur, die ingewonnen zijn tussen 7 februari en 27 september 1997.

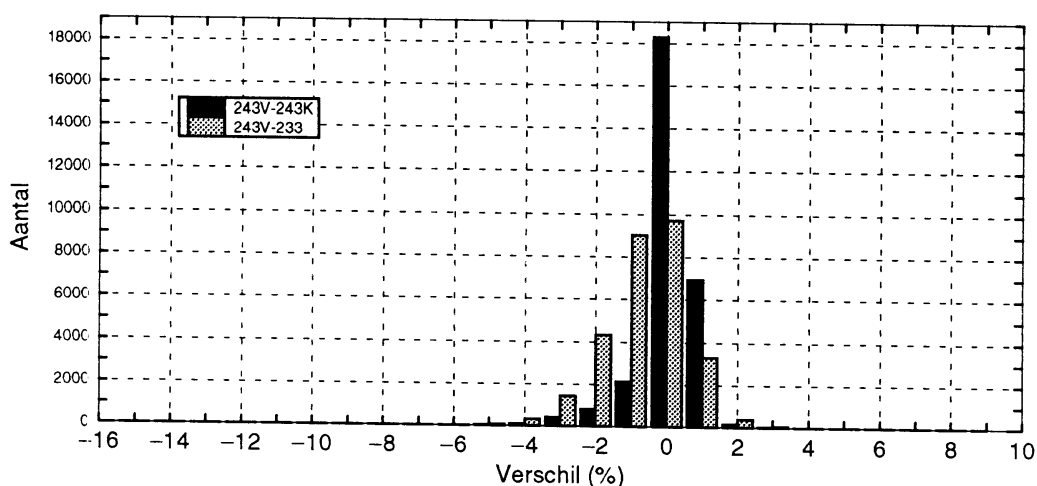
Figuur 4.2 en Tabel 4.1 tonen aan dat de spreiding in de verschillen bij de metingen met de HMP233 groter is dan die bij vergelijking van de HMP243's onderling. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit dat de HMP243 stabiel en iets nauwkeuriger is dan de HMP233. Hierdoor liggen de 243's dicht bij elkaar en variëren de metingen van de 233 meer (zie ook Fig. 4.4).

De verschillen nemen geleidelijk toe met toenemende RH, hetgeen het duidelijkst te zien is bij de vergelijking van de 243's onderling. Boven de 85% RH 'springen' de verschillen naar grotere (vooral) negatieve waarden, om tussen de 93 en 100% weer richting 'nul' te gaan. Dat de instrumenten het boven de 85% RH moeilijker krijgen, is aannemelijk. Echter, het schuin oplopen van de verschillen van de 93 naar de 100%, wordt veroorzaakt door de manier van plotten. Langs de horizontale as staat de RH243V. Als deze bijvoorbeeld 97% is, kan het verschil minimaal -3% worden omdat de HMP243K nooit groter dan 100% wordt.

Wanneer in Fig. 4.2(b) de RH243V vervangen wordt door de RH243K (beide sensoren in KNMI-hutjes), levert dit geen extra (of nieuwe) informatie op (het gemiddelde verschil is -0.70% met een $\sigma = 1.21$).

4.3 De verschillen gemiddeld per RH

Een goede indicatie hoe de verschillen tussen de instrumenten zich gedragen, is om die verschillen te middelen per referentie-RH (de RH gemeten met de RH234V) en de bijbehorende standaarddeviaties uit te rekenen voor het gehele bereik van de RH-metingen. Dit is grafisch weergegeven in Fig. 4.4. Langs de horizontale assen staat uit de RH gemeten met de HMP243 in het



Figuur 4.3. Het aantal malen dat de verschillen HMP243V-HMP243K en HMP243V-HMP233 zijn opgetreden.

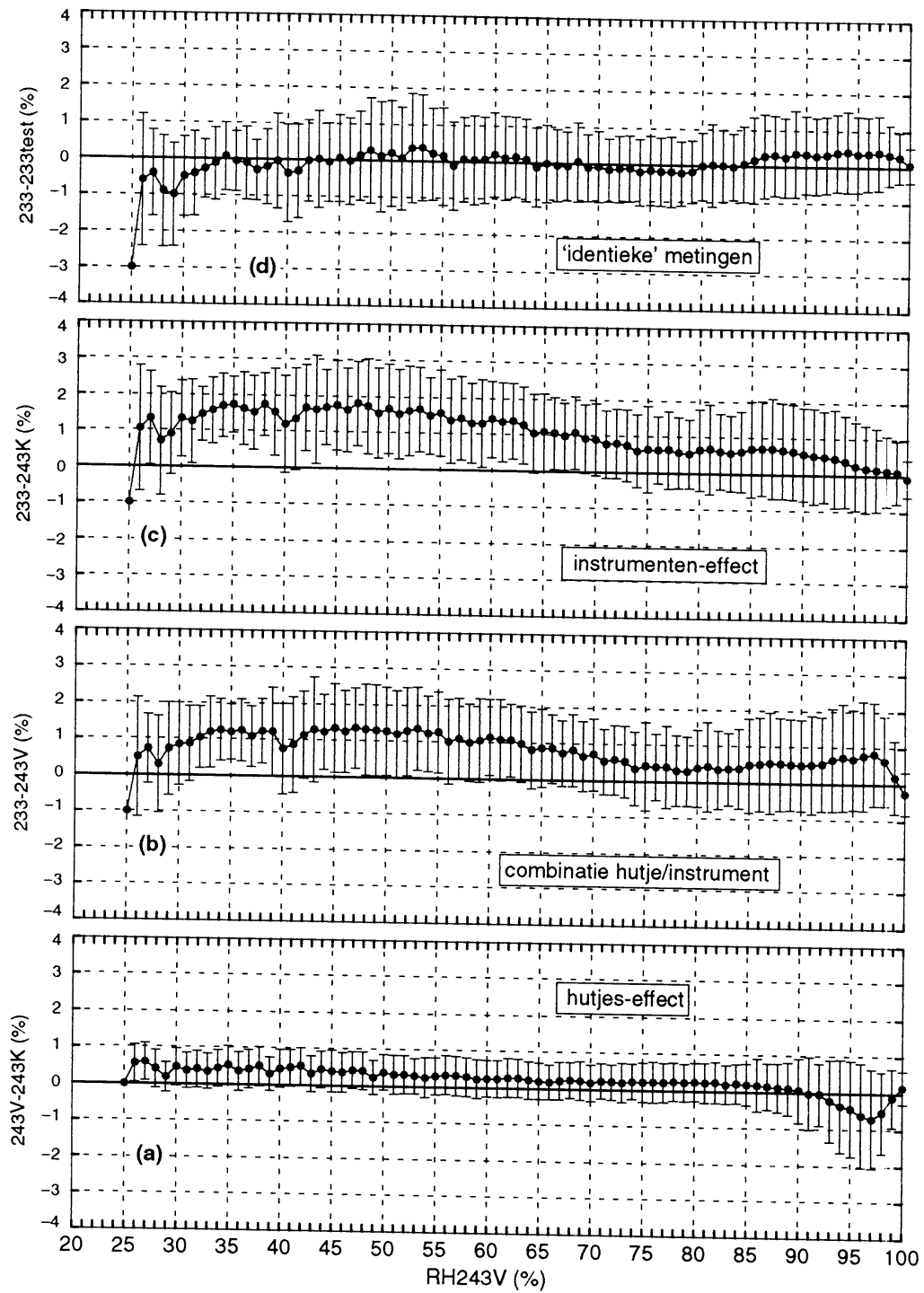
Vaisala-hutje. In (a) zijn de gemiddelde verschillen te zien tussen de 2 HMP243's, in (b) het verschil HMP233-HMP243V, in (c) HMP233-HMP243K en in (d) het verschil tussen de operationele HMP233 en de HMP233 van het testveld.

Het is in één oogopslag duidelijk dat de verschillen tussen de 2 HMP243's kleiner zijn dan de verschillen tussen de HMP233 en één van de HMP243's en de HMP233's onderling

In (a) is over het gehele meetbereik het gemiddelde verschil ongeveer 0.5% met een σ van ook ongeveer 0.5%, met uitzondering van het gebied met RH > 90%. Dit is een indicatie dat tot de 90% RH de ijkingen goed stabiel zijn en de instrumenten een constant verschil hebben. Het gebied RH > 90% is een moeilijker gebied voor de instrumenten. Het gemiddelde verschil verandert hier van teken en vertoont een 'dip' naar de -0.5%. De σ 's lopen hier behoorlijk op tot 2%, terwijl het aantal metingen hier juist groot is (zie Fig. 4.1). Er zit dus een flinke variatie in de verschillen bij deze RH's. Het ontstaan van de dip komt doordat in dit gebied de RH243K grotere RH's levert dan de RH243V. Het schuin oplopen van het verschil boven 97% RH is het gevolg van het feit dat de RH243K daar al 100% is, en de RH243V nog volgt. Aangezien het enige verschil tussen de 2 metingen het verschil in hutje is, is de conclusie dat de verschillen veroorzaakt worden door de verschillende structuren van de hutten (open voor de Vaisala-hut, dicht voor de KNMI-hut).

In (b) en (c) vertonen de verschillen tussen de HMP233 en de HMP243's nagenoeg hetzelfde patroon, waarbij het verschil HMP233-HMP243K systematisch iets groter is. De σ 's in beide figuren zijn in de orde van 1 tot 1.5%, een factor 2 tot 3 groter dan in (a). In (c) (zelfde hutjes, verschillende sensoren) is te zien dat de verschillen in de buurt van 100% RH, klein worden. In (b) blijven de verschillen voor de RH > 90% wel aanwezig, hetgeen suggereert dat het verschil veroorzaakt wordt door de hut. Merk op dat in (b) de afname van het verschil voor RH > 96% wordt veroorzaakt doordat de metingen van de HMP233 daar al 100% RH aangeven, terwijl de HMP243V daar nog enige procenten onder zit. In (c) is dit effect niet aanwezig, maar in (a) wel. De HMP243K in de KNMI-hut is geeft al 100% aan, terwijl die gemeten in de Vaisala-hut nog lager ligt.

Tot slot zijn in (d) de gemiddelde verschillen tussen 2 HMP233's te zien. Deze zijn klein maar vertonen wel enige fluctuatie rond 'nul'. De ijkingen van de beide instrumenten komen goed



Figuur 4.4. De gemiddelde verschillen met standaarddeviaties uitgezet tegen de RH243V.

overeen. De σ 's zijn van dezelfde orde als in (b) en (c), een indicatie dat deze grotere σ veroorzaakt worden door de grotere fluctuaties in de HMP233-metingen.

Conclusies.

Wanneer in het operationele meetnet de HMP233 door de HMP243 vervangen zou worden terwijl hetzelfde KNMI-hutje in gebruik blijft, zullen de ‘nieuwe metingen’ een verschil vertonen met de ‘oude metingen’ zoals in Fig. 4.4(c) te zien is: gemiddelde verschillen tot 2% met een grote σ . Wanneer HMP243’s onderling vergeleken worden, zijn de verschillen kleiner en de σ ’s ook. De grotere variaties in de verschillen in (b) en (c) zijn dan ook waarschijnlijk toe te schrijven aan een grotere ‘ruis’ in de HMP233-metingen, wat in (d) bevestigd wordt.

Of de metingen met de HMP243 in de KNMI-hut of in de Vaisala-hut nu de ‘juiste RH’ representeren, is moeilijk te zeggen. De verschillen tussen de beide 243’s voor de RH < 90% zoals ze in (a) uitstaan, zijn zo klein dat, statisch gezien met de nauwkeurigheid van de ijkingen en instrumenten in acht genomen, ze aan elkaar gelijk zijn. Boven de 90% RH vertoont de HMP243 in de Vaisala-hut echter een ander gedrag. Uit (c) is te zien dat in dit gebied de HMP233 en de HMP243 in de KNMI-hut, minimale verschillen vertonen. Dit is echter het enige gebied waar de 2 HMP243’s onderling, een verschillend gedrag vertonen. De voor de hand liggende conclusie is dat dit effect veroorzaakt wordt door het verschil in KNMI- en Vaisala-hut.

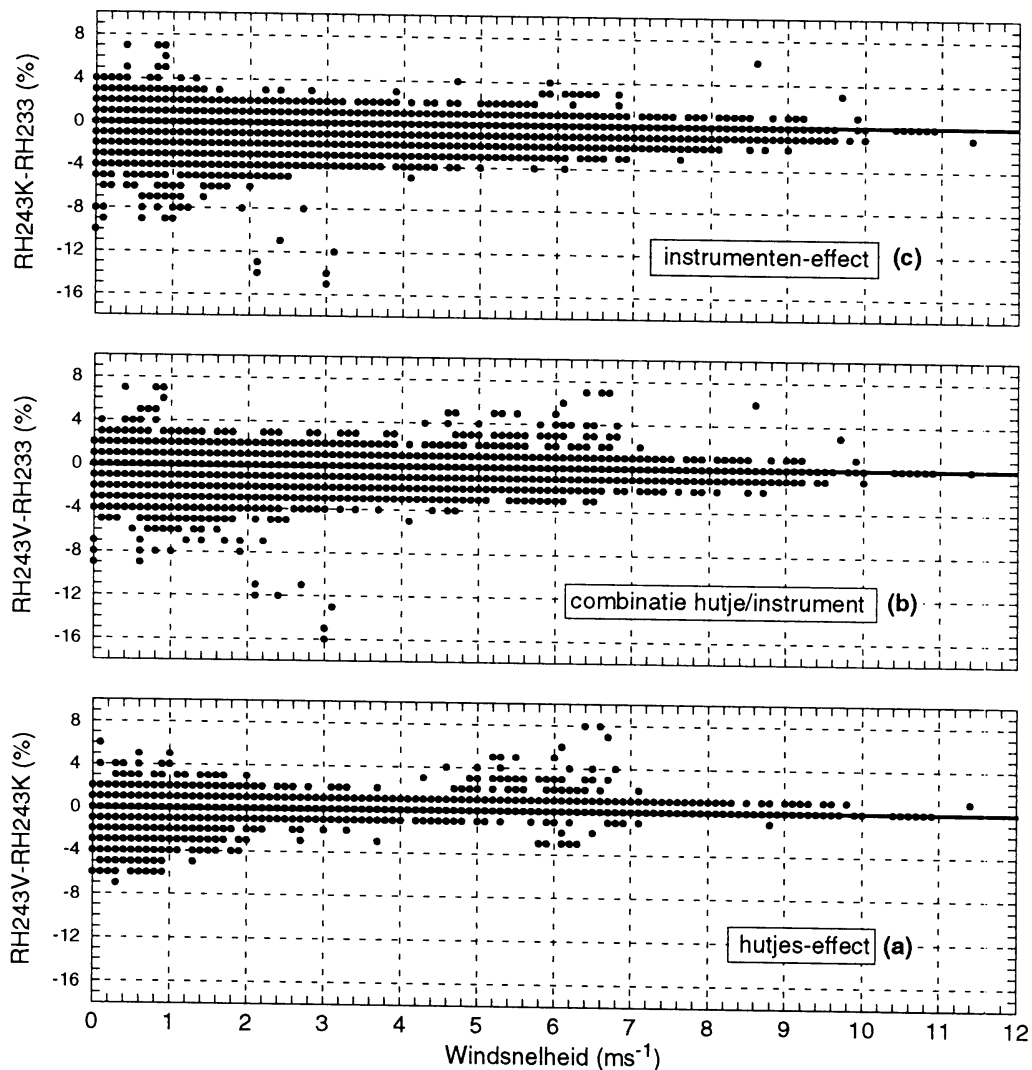
4.4 Effecten ten gevolge van de wind

De HMP233 en de HMP243K waren beiden opgesteld in de KNMI-hut en de HMP243V in de Vaisala-hut. Bij de vergelijking van de vochtsensoren rees de vraag in hoeverre de verschillen in hutjes bijgedragen hebben aan de verschillen tussen de metingen.

Verschillen tussen metingen verricht met dezelfde sensoren in verschillende type hutjes, zullen ontstaan wanneer de omstandigheden in die hutjes verschillen. Dit kan optreden als de RH van de omgevingslucht aan het veranderen is terwijl de luchtmassa binnen in het hutje niet tegelijkertijd ‘ververst’ wordt. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat dit vooral omstandigheden met weinig wind zijn. Om uit te vinden of dit effect aanwezig is, zijn de verschillen tussen de metingen uitgezet tegen de gemeten windsnelheden in Fig. 4.5.

In (a) staan de verschillen uit tussen de HMP243V en de HMP243K. In de figuur is te zien dat de verschillen het grootst zijn bij lage windsnelheden tot zo’n 3 ms^{-1} . Opmerkelijk is verder dat vanaf ongeveer 4.5 tot iets boven de 7 ms^{-1} er weer een ‘pluk’ te zien is waarvoor de verschillen weer groter zijn. In (b) staan de verschillen uit tussen de HMP243V en de HMP233. De band met verschillen is breder dan in (a), waardoor het effect voor lage windsnelheden enigszins in de ‘ruis’ verdwijnt. Ook in deze figuur lijkt er weer een toename in de verschillen te zijn voor windsnelheden tussen de 4.5 en 7 ms^{-1} .

Zowel de HMP233 en de HMP243K waren in een KNMI-hut opgesteld. Wanneer er een effect van de hutten aanwezig is, zou dit hetzelfde effect moeten hebben voor deze twee sensoren. Het verschil HMP243K-HMP233 zou dus alleen verschillen moeten bevatten ten gevolge van het verschil in sensor en *niet* ten gevolge van verschillende afschermingen. In (c) zijn daarom geplot de figuur met de verschillen tussen de HMP233 en de HMP243K als functie van de windsnelheid. In deze figuur is te zien dat de meeste verschillen van 3 tot 5% voor windsnelheden tussen de 4.5 en 7 ms^{-1} verdwenen zijn. Voor windsnelheden kleiner dan 3 ms^{-1} lijken de figuren (b) en (c) erg op elkaar. Dit kan een indicatie zijn dat bij weinig wind het verschil in hut niet veel uitmaakt en dat de hier gevonden verschillen door de sensoren zelf veroorzaakt worden.

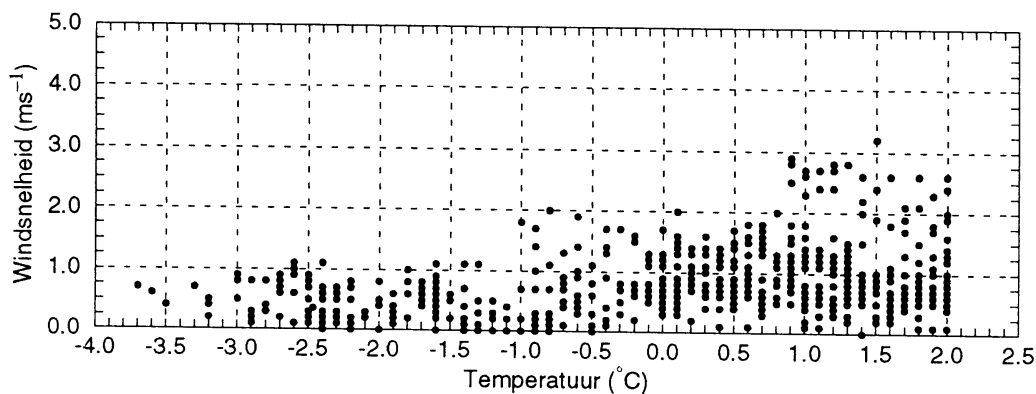


Figuur 4.5. De verschillen tussen de RH-meters als functie van de windsnelheid. De 'pluk' met grotere verschillen voor windsnelheden tussen de 4.5 en 7 ms^{-1} in (a), is minder duidelijk aanwezig in (b) en nog minder in (c).

Bij de Luchtmacht treden de problemen op voor temperaturen rond het vriespunt. In Fig. 4.6 is de windsnelheid uitgezet als functie van de omgevingstemperatuur voor de gehele testperiode februari t/m september 1997 voor temperaturen $\leq 2^\circ\text{C}$. Er zijn bij deze temperaturen alleen windsnelheden $< 3.2 \text{ ms}^{-1}$ gemeten. Dit gebied zal in de volgende sectie verder bekeken worden.

Conclusies.

De metingen tonen aan dat RH-meters onderling slechter vergelijkbaar worden als de windsnelheid beneden de 3 ms^{-1} komt. Verder blijken de verschillen groter te worden als de windsnelheid tussen de 4.5 en 7 ms^{-1} ligt. Dit effect is minder duidelijk als de sensoren in hetzelfde type hut geplaatst zijn. Het verschil in hutten heeft dus invloed op de metingen.



Figuur 4.6. Alle metingen van windsnelheden waarbij de temperaturen lager waren dan 2 °C (februari t/m september 1997). Windsnelheden hoger dan 3.2 ms⁻¹ komen niet voor bij deze temperaturen.

4.5 Lage temperaturen, lage windsnelheden en hoge RH

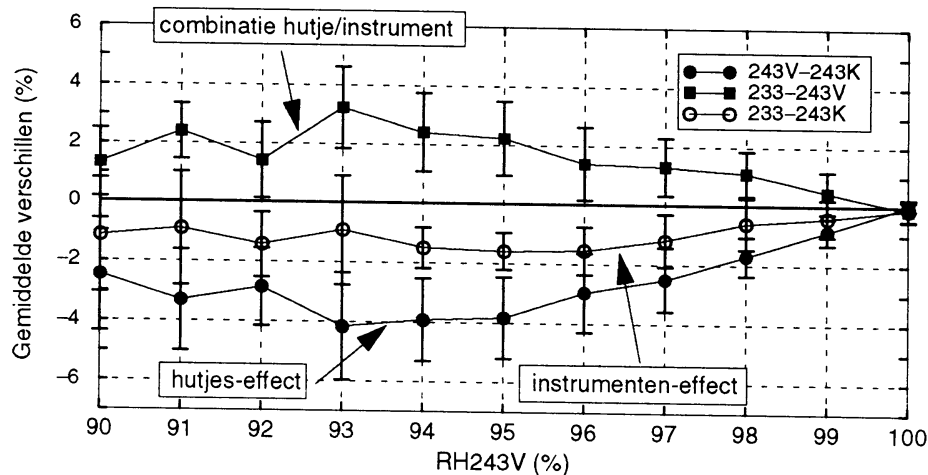
De combinaties van temperatuur en RH waar de KLu de problemen gemeld heeft, blijkt dus samen te gaan met windsnelheden kleiner dan ruwweg 3 ms⁻¹. Uit de volledige dataset is een selectie van metingen gemaakt waarvoor geldt

- temperaturen ≤ 2 °C,
- RH $\geq 90\%$ en
- windsnelheden ≤ 3 ms⁻¹.

In totaal zijn er 538 metingen in de periode februari/mei 1997 die hieraan voldoen (na mei zijn deze omstandigheden niet meer opgetreden). Om inzicht te krijgen hoe de instrumenten zich ten opzichte van elkaar gedragen onder deze omstandigheden, zijn de verschillen gemiddeld en in Fig. 4.7 (met standaarddeviaties) uitgezet tegen de RH2343V. Deze figuur levert interessante informatie.

De curve die het verschil tussen de 2 HMP243's representeert (de zwarte bolletjes), ligt geheel onder '0'. Deze curve representeert het effect in de verschillen t.g.v. de verschillen in hut (in de figuur aangegeven met 'hutjes-effect'). Voor de metingen uit deze dataset geldt dus dat de RH gemeten met de HMP243 in de KNMI-hut, in verruit de meeste gevallen groter is dan die gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut. Het zelfde patroon was al zichtbaar in Fig. 4.4(a). Echter, bij deze koude windstille omstandigheden neemt het verschil toe van -1.5% voor de gehele dataset tot -4% voor deze beperkte dataset.

Voor het verschil HMP233-HMP243K ('instrumenten-effect' in de figuur) geldt dat ook hier de RH gemeten met de HMP243K groter is dan die gemeten met de HMP233. Dit is 'omgekeerd' aan het patroon in Fig. 4.4(c). Het laatste verschil, HMP233-HMP243V (combinatie hutje/instrumenten-effect), vertoont weer hetzelfde patroon als in Fig. 4.4(b).



Figuur 4.7. De gemiddelde verschillen RH243V–RH243K, RH233–RH243V en RH233–RH243K met standaarddeviaties voor de beperkte dataset.

Conclusies.

HMP243V–HMP243K Dit verschil laat zien hoe de HMP243 zijn metingen doet in verschillende afschermingen. Onder bovengenoemde omstandigheden valt de *RH* gemeten met een HMP243 in de KNMI-hut valt overwegend hoger uit dan die gemeten met een HMP243 in de Vaisala-hut.

Onder de aanname dat de 2 HMP243's goed aan elkaar gelijk zijn, moet geconcludeerd worden dat de hut het verschil veroorzaakt in de curve met de zwarte bolletjes in Fig. 4.7. Onder deze koude windstille omstandigheden zijn de verschillen maximaal in de orde van 4% bij RH's midden in de 90%, waarbij de RH gemeten in de KNMI-hut het grootst is.

HMP233–HMP243K De hutjes zijn identiek in dit geval, alleen de instrumenten verschillen. De *RH* gemeten in de KNMI-hut met de HMP243 is overwegend groter dan die gemeten met de HMP233 in dezelfde hut. De verschillen zijn echter klein ($\leq 1\%$), hetgeen meer veroorzaakt wordt doordat de metingen in dezelfde hut gedaan worden dan dat de instrumenten zo goed aan elkaar gelijk zijn.

HMP233–HMP243V Zowel de hutjes als de instrumenten verschillen. De *RH* gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut is lager dan die gemeten in de KNMI-hut met de HMP233. Hier is ook hetzelfde patroon te zien als in Fig. 4.4(b), hetgeen ook volgt uit de combinatie van de twee andere conclusies.

Interpretatie van deze metingen in termen van vertragingen, is niet geheel triviaal. Een vertraging in de ochtendmetingen van een bepaald instrument, zal namelijk het omgekeerde teken hebben als een vertraging van hetzelfde instrument in de avond. Stel, als voorbeeld, dat de HMP233 in de ochtend een vertraging heeft t.o.v. de HMP243, dan is het verschil HMP233-HMP243 positief. Als de RH in de middag toeneemt en de HMP233 reageert trager dan de HMP243, dan is hetzelfde verschil nu negatief. In bovenstaande analyse zijn de ochtend- en avondmetingen, corresponderend met dalende en stijgende RH respectievelijk, als één dataset behandeld. Van de 538

metingen in deze dataset, waren er 480 in de ochtend en 58 in de avond. Dezelfde analyse die hier voor de gehele dataset is uitgevoerd, is ook op de ochtend- en avondmetingen afzonderlijk toegepast. Dit leverde echter geen wezenlijke verschillen op. De bovengenoemde conclusie dat de *RH gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut lager is dan die gemeten in de KNMI-hut met de HMP233*, is dus algemeen en niet specifiek toepasbaar op vertragingen.

4.6 Slotopmerkingen

De HMP243 lijkt een stabiel instrument dan de HMP233.

Het verschil in hut speelt een niet onbelangrijke rol voor RH's > 90%. Wanneer de HMP233 en de HMP243 beiden in een KNMI-hut geplaatst worden, lijken de verschillen in de metingen minimaal te worden. De HMP243 in de Vaisala-hut en de KNMI-hut beginnen zich daar juist verschillend te gedragen. Voor het gebied $RH < 90\%$ vertonen de metingen van de HMP243 onderling een goede overeenkomst, weinig fluctuaties en de verschillen zijn dan toe te schrijven aan een constant verschil in de ijking. Boven de 90% RH verandert het verschil van teken en wordt groter. De HMP243 in de KNMI-hut heeft de neiging eerder de 100% te bereiken (en daar te blijven hangen) dan de HMP243 in de Vaisala-hut.

Voor de maand mei is er onderzocht of neerslag nog invloed heeft op de metingen. De Vaisala-hut is geheel open aan de onderkant en het zou kunnen voorkomen dat het filter om de vochtsensor bij bepaalde omstandigheden nat regent. Dit zou een microklimaat binnen het filter tot gevolg kunnen hebben dat vochtiger is dan omgevingsvochtigheid. Ondanks dat er veel flinke buien (met af en toe harde wind) zijn geweest in mei, is er op geen van de regendagen een gelijktijdig effect van regen en grote verschillen in RH-metingen opgetreden. Op basis van deze resultaten is niet de gehele RH-dataset met de neerslagmetingen vergeleken, maar is verder de invloed van regen niet waarneembaar verondersteld.

5.1 *Inleiding*

Een groot aantal metingen (~31000) is op een aantal manieren bekeken. In eerste instantie heeft bestudering van de individuele metingen op dagbasis plaats gevonden. Dit heeft een aantal (meteorologische) situaties opgeleverd waarvan de relatie met de RH verder onderzocht is op een statistische manier. De conclusies zijn hieronder opgesomd.

Het grootste deel van de vragen die in Hoofdstuk 1 geponereerd zijn, worden beantwoord door onderstaande conclusies.

5.2 *Conclusies*

- De HMP243 levert onder ruim 99% van alle situaties, stabielere metingen dan de HMP233.
- Het gebied < 90% RH gaat goed met de HMP243, onafhankelijk van de gebruikte hut.
- Voor RH's tussen de 90 en 100% wordt de variatie in alle metingen groter en ontstaat er een verschil tussen de HMP243's in de Vaisala-hut en de KNMI-hut.
- De hutjes hebben aanzienlijke invloed op de metingen. De effecten hiervan zijn het duidelijkst aanwezig zijn bij lage windsnelheden (< 2 ms⁻¹) en hoge RH's (> 90%).
- Bij windsnelheden tussen de 4,5 en 7 ms⁻¹ treedt er nog een effect op de RH-metingen (grotere spreiding).
- Bij de omstandigheden waarbij de KLu problemen heeft ondervonden (windsnelheden < 2 ms⁻¹, RH's > 90% en temperaturen rond en onder nul), levert de HMP243 in de KNMI-hut niet altijd de gewenste verbetering. De Vaisala-hut lijkt het beter te doen, maar een definitief kwaliteitsoordeel is moeilijk te geven zonder een absolute referentie.
- De omstandigheden waarbij de KLu problemen zou kunnen ondervinden, zijn 538 maal opgetreden, 480 maal in de ochtend bij een dalende RH en 58 maal in de avond bij een toenemende RH. De nog extremere situaties waarbij de tempe-

ratuur onder nul is en de RH tussen de 95 en 100%, komen slecht een enkele maal voor. De RH gemeten met de HMP233 en de HMP243 in de KNMI-hut lopen dan in de regel op naar 98 tot 100%, terwijl die gemeten met de HMP243 in de Vaisala-hut in de buurt van 95% blijft steken.

- De waarnemingen van de KLu dat het zicht toeneemt terwijl de gemeten RH op 100% blijft hangen, komt vaak voor in de ochtenduren. De HMP243 levert onder die omstandigheden in het algemeen betere prestaties dan de HMP233, zeker wanneer de HMP243 in de Vaisala-hut geplaatst is. Dit zijn echter meestal niet situaties die voor de KLu problemen opleveren.

5.3 *Discussie en aanbevelingen t.b.v. operationele RH-metingen*

De betere prestaties van de HMP243 t.o.v. de HMP233 in ruim 99% van alle meetomstandigheden, maken het de moeite waard om de overgang naar de HMP243 te overwegen. Onderling verschillen de HMP243's maar weinig en de metingen vertonen minder 'ruis' dan die van de HMP233. In absolute zin betekent dit dat de individuele metingen van de HMP243 1 tot 2% nauwkeuriger kunnen zijn dan die van de HMP233 (de 'ruis' op de HMP233-metingen). Of de verbeterde kwaliteit van de metingen de kosten van de overstap rechtvaardigen, wordt in dit rapport verder niet besproken.

Een ander belangrijk resultaat van het onderzoek is dat boven de 90% RH het hutje een belangrijke foutenbron wordt. Alleen vervangen van de HMP233 door de HMP243 levert voor verreweg de meeste situaties betere metingen op, maar juist voor de moeilijke omstandigheden is de verbetering niet groot. Om ook in dit gebied verbetering in de metingen te verkrijgen, is het aan te bevelen om de Vaisala-hut te gaan gebruiken, of een alternatief met een soortgelijke open structuur als die van de Vaisala-hut. Of de HMP233 in een zo'n 'open hut' betere resultaten geeft, is verder niet onderzocht (deze sensor is eigenlijk niet ontworpen om zonder voldoende afscherming te functioneren). De alternatieven voor de hutten die in het eerste deel van het onderzoek wel bekeken zijn (met de HMP233), gaven geen verbeteringen. Echter, de structuren van die hutten week niet veel af van de standaard KNMI-hut.

Indien de HMP243 in de toekomst als operationeel instrument voor RH-metingen gebruikt gaat worden, is het aan te bevelen de XSIAM aan te passen. De HMP243 meet als basisgrootheid de dauwpuntstemperatuur. Wanneer deze aan de SIAM wordt aangeboden samen met de standaard temperatuurmeting van een KNMI-PT500 element, kan de RH als afgeleide grootheid bepaald worden. Dit heeft als voordeel dat alleen het element voor de dauwpuntmetingen gebruikt hoeft te worden (en niet het PT-element van de HMP243). Bovendien wordt de RH dan met de operationeel gemeten temperatuur berekend, en niet met een afzonderlijk gemeten temperatuur die niet geregistreerd en dus niet controleerbaar is.

5.4 *Verder onderzoek?*

De analyse van de metingen heeft aangetoond dat de HMP243 een beter instrument is dan de HMP233. Echter, het gebied tussen de 90 en 100% RH is ook voor de HMP243 een moeilijk gebied, waarbij bovendien het hutje in de huidige test nog voor extra complicaties heeft gezorgd. Om de nu gevonden eigenaardigheden beter te kunnen interpreteren, zou er nog een vervolgonderzoek gestart kunnen worden. Hierbij zouden weer 2 HMP243's in dezelfde opstelling (één in de KNMI-hut en één in de Vaisala-hut) gebruikt kunnen worden, maar de inwinning zou dan via de RS232-uitgang van de instrumenten plaats vinden. Op die manier kan de basisgrootheid van de sensor, de dauwpuntstemperatuur, direct gemeten worden. Uit de dauwpuntstemperatuur

kan de RH berekend worden met behulp van de temperatuur gemeten met een standaard KNMI-PT-element. Ook de temperatuur die de T-sensor van de HMP243 binnen het KNMI-hutje meet, kan dan geregistreerd worden.

Op deze manier kan beter bekeken worden waar de verschillen in de HMP243-metingen optreden. Het is namelijk zo dat de RH die uit de HMP243 met temperatuursensor komt (zoals in deze test), alleen afhankelijk is van de (foutief) gemeten RH van het HMP243-element, de temperatuur van dat element en de omgevingstemperatuur, en *niet* van de dauwpuntstemperatuur (zie vergelijking 2.3). Als de omgevingstemperatuur dus een fout bevat, bijvoorbeeld doordat de verwarming van het RH-element de temperatuur in de KNMI-hut een fractie verhoogt, dan introduceert dit een fout in de uiteindelijk afgeleide RH.

Zo'n vervolgonderzoek is een betere manier om de HMP243 aan de tand te voelen en een manier om meer informatie over de invloed van de hut te verkrijgen. Wellicht geeft dit vervolgonderzoek nog antwoorden op een aantal vragen die na het huidige onderzoek overgebleven zijn. Daarnaast geeft zo'n onderzoek ook inzicht in hoe de HMP243 zich operationeel gedraagt als alleen de gemeten dauwpuntstemperatuur van het instrument gebruikt wordt.

