



Onderzoek Problemen en Tekortkomingen Operationele Neerslagmeter

OPETON

Jan Bijma

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

KNMI Internal report = intern rapport; IR 2008-04

De Bilt, 2008

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Author: Bijma, J.R.

**Onderzoek Problemen en Tekortkomingen
Operationele Neerslagmeter**

OPETON

Intern Rapport IR-2008-04

**Jan Bijma
INFRA Research and Development**

De Bilt 2008





Inhoudsopgave

Samenvatting.....	I
1. Inleiding.....	2
2. Nauwkeurigheid	3
3. Klachten.....	4
4. Bevindingen	5
4.1 Onderhoudsinspanning.....	5
4.2 Kalibratie.....	5
4.3 Omslagpunt en hysteresis	6
4.4 Sneeuwsmelting.....	8
4.5 Verschil tussen hand- en automatische neerslagmeter	9
4.6 Lek	9
4.7 Potmeter kraakt	10
4.8 Dure componenten	10
4.9 Niet af te regelen elektronica	10
4.10 Status y-probleem.....	10
4.11 Drift.....	11
4.12 Invloed van oriëntatie op de drift	11
4.13 Onterechte neerslagmelding	12
4.14 Storingen	12
4.15 Defecte prints	13
5. Conclusies	15
6. Aanbevelingen	16
7. Implicaties van verbeteringen.....	18
Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift	19
Bijlage 2: Nauwkeurigheid van de terugslagcompensatie	27



Samenvatting

De KNMI-neerslagmeter verzorgt in samenhang met de bijbehorende SIAM de neerslagmetingen in het operationele meetnet. In het onderzoek is gekeken naar de nauwkeurigheidseisen, de veronderstelde tekortkomingen van de neerslagmeter, de storingen en de onderhoudsinspanningen. Het blijkt dat de huidige neerslagmeter, in samenhang met de DR2-SIAM (Degesi) een zeer nauwkeurig instrument is, dat ruimschoots aan de eisen voldoet. De onnauwkeurigheid bij zeer hoge intensiteiten, die bij het WMO neerslagmeteronderzoek is vastgesteld, is met de DR2-SIAM opgelost. Er zijn ongeveer 20 storingen per jaar. Een deel daarvan heeft betrekking op vervuiling. In het algemeen kunnen die problemen ter plaatse worden opgelost door te flushen, uitwisseling is niet nodig. Een ander deel heeft betrekking op onterechte neerslagmelding. Niet al die gevallen zijn te verklaren uit thermische drift, en aanvullend onderzoek is nodig om dit probleem te ondervangen.

Na uitwisseling t.g.v. een storingsmelding wordt vrijwel nooit een neerslagmeter gerepareerd, omdat er bij onderzoek in het IJklab geen fouten kunnen worden gevonden.

Eénmaal in 28 maanden wordt de neerslagmeter gereviseerd. Bij die revisie wordt zowel de potentiometer als de klep vervangen. Of het wisselen van de potentiometer nog noodzakelijk is, is niet duidelijk, omdat er tegenwoordig een ander type potentiometer gebruikt wordt. Vervanging van de klep is volstrekt onnodig, ze zijn nog zo goed als nieuw als ze worden afgevoerd.

De elektronica heeft een aantal kleine tekortkomingen, die echter niet leiden tot storingen, en evenmin tot grote meetfouten. De thermische drift levert wel veel interpretatiefouten op, omdat de drift wordt gerapporteerd als neerslag. De drift wordt veroorzaakt door mechanische invloeden (uitzetten van water en materialen) en elektronische invloeden. Een herontwerp zou de thermische drift een factor 10 kleiner kunnen maken, maar niet geheel wegnemen.

's Winters is er sprake van grote verschillen tussen hand- en elektrische neerslagmeters. Deels zijn die te verklaren uit opstellingsverschillen (windeffecten), maar voor een deel wordt dit euvel ook veroorzaakt door overmatige verdamping t.g.v. een slecht gedimensioneerde verwarmingsregeling.

De ijk- en controleprocedure is geautomatiseerd, en wordt correct uitgevoerd. Bij de ijking wordt de hysteresis weggekalibreerd, maar omdat de SIAM al voor de hysteresis corrigeert, zou beter kunnen worden geijkt buiten het meetgebied waar hysteresis optreedt (0.00..0.05 mm).

De onderhoudsinspanning is niet goed in kaart te brengen, omdat geen onderscheid wordt gemaakt in revisie en storingsoplossing. Reizen, die een groot deel van de kosten vertegenwoordigen, worden niet geregistreerd. De controle en ijking door het IJklab wordt wel apart geregistreerd, en bedraagt ongeveer 3 uur per neerslagmeter per jaar.

1. Inleiding

Dit rapport is opgesteld in het kader van opdracht 341018008046 "Onderzoek Problemen en Tekortkomingen Operationele Neerslagmeter" (OPETON 2008).

De opdracht luidde als volgt:

Inventariseren van de tekortkomingen van de huidige KNMI-neerslagmeter ten aanzien van nauwkeurigheid, storingsgevoeligheid, onderhoudskosten en –inspanningen.

In het onderzoek is gekeken naar de volgende aspecten:

- Nauwkeurigheidseisen;
- Interviews met gebruikers, onderhoudstechnici, ontwerpers;
- Inventarisatie van klachten over het functioneren van de neerslagmeter;
- Analyse van storingen;
- Kalibratie- en revisieprocedures;
- Theoretisch en praktisch onderzoek naar nauwkeurigheid en drift;
- Onderhoudsinspanning ten aanzien van uitwisseling, revisie en kalibratie.

2. Nauwkeurigheid

De neerslagmeter is oorspronkelijk ontworpen voor de meting van uurlijkse neerslagsom volgens WMO-eisen¹. De WMO eist voor neerslagmeting een nauwkeurigheid van het maximum van 2% of 0,1 mm. De meetperiode is niet gespecificeerd, maar veelal wordt uitgegaan van uurlijkse metingen. De omslag (leegloop periode) voor vlotterinstrumenten mag niet langer zijn dan 15 seconden.

De maximum instantane intensiteit voor de KNMI-neerslagmeter was oorspronkelijk vastgesteld op 130 mm/uur.

De werkelijke nauwkeurigheid van de neerslagmeter wordt vooral bepaald door de kalibratie, de SIAM processing en de drifteigenschappen. Deze eigenschappen zijn in de volgende paragrafen beschreven. Daaruit blijkt het volgende:

- De drift ten gevolge van de dagelijkse gang is minder dan 0,1 mm.
- De stabiliteit is ongeveer even groot.
- De kalibratie is beter dan 0,5%. Wanneer gekalibreerd zou worden met inachtneming van de hystereseverwerking door de SIAM zou dat kunnen worden verbeterd tot 0,1%.
- In samenhang met de Degesi-SIAM DR2 is de maximum intensiteit 300 mm/uur, waarbij de nauwkeurigheid behouden blijft.
- De leegloop duurt soms iets langer dan 15 seconden. De SIAM rapporteert een foutstatus als de leeglooptijd toeneemt tot 20 seconden. Bij zeer hoge intensiteiten kan dat incidenteel gebeuren.

Ook bij de WMO intercomparison² die door I-RD is uitgevoerd blijkt de KNMI-neerslagmeter zeer goed te scoren, behalve bij zeer hoge intensiteiten (waarvoor het instrument niet is gespecificeerd). Dit is echter met de DR2-SIAM aanzienlijk verbeterd.

¹ *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 6th edition*, WMO No. 8, 1996

² *KNMI Contribution to WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges*, Wauben, 2006, KNMI Technical Report TR 287.

3. Klachten

Voor een inventarisatie van de problemen rond de neerslagmeter is gesproken met een aantal betrokkenen:

André van Londen	Coördinator IJklaboratorium
Rob van Krimpen	Uitvoerder van de IJk- en controle-procedure, en auteur van de software voor de automatisering daarvan.
Hans Vredendaal	Uitvoerder van de revisieprocedure
Jos van Dun	Databeheerder bij I-ID, die de neerslagdata analyseert.
Hans Beekhuis	Ontwerper van de neerslagmeter (1989)
Anko Pier	TOP-desk beheerder bij WIS-Service, verantwoordelijk voor de vastlegging van storingen.

Bij de interviews zijn de volgende problemen en klachten naar voren gekomen. Deze klachten zijn in de paragraaf "bevindingen" nader onderzocht.

<i>Klep lekt</i>	Door vuil in de klep treden er storingen op.
<i>Potmeter is duur</i>	De potmeter wordt bij elke (tweejaarlijkse) revisie vervangen, en is schrikbarend duur.
<i>Onterechte neerslag melding</i>	Geregeld wordt er op mooie dagen ten onrechte neerslag gemeten.
<i>Bij hoge intensiteit meetfout door terugslag</i>	Bij het WMO neerslagmeter onderzoek bleek de KNMI neerslagmeter bij hoge neerslag intensiteit grote onderschatting te maken door slecht werkende terugslagcompensatie.
<i>Soms niet af te regelen (buiten regelbereik)</i>	
<i>Meet 8% minder neerslag dan handneerslagmeter, vooral 's winters</i>	
<i>Potmeter kraakt</i>	Bij de ontwikkeling van de XR2-siam (1993) is gebleken dat gereviseerde potentiometers last hadden van slecht contact tussen looper en weerstandsbaan, op discrete plaatsen.
<i>Vervuiling groot probleem</i>	Zeer frequent wordt een neerslagmeter voortijdig gewisseld omdat er vuil in de neerslagmeter terecht is gekomen. Lekkende of verstopte kleppen zijn vaak een gevolg.
<i>Drift</i>	Tijdens warme dagen zien we een behoorlijke invloed van de dagelijkse gang op de neerslagmeting.
<i>Sneeuw smelt niet</i>	Bij intensieve sneeuwval blijft sneeuw vaak aan de rand van de trechter kleven. De trechterverwarming slaagt er niet in om de sneeuw te smelten. De neerslag wordt dan pas gemeld bij invallende dooi.
<i>Frequent defecte prints</i>	Er gaan regelmatig prints kapot. Omdat ze niet worden gerepareerd is de oorzaak niet bekend.

4. Bevindingen

4.1 Onderhoudsinspanning

Met enige moeite zijn de volgende onderhoudsinspanningen achterhaald. Van 2004 en 2005 zijn niet alle getallen beschikbaar.

jaar	IPS ³	IJL
2003	224	113
2004 ⁴	101	44
2005 ⁵	1	1
2006	366	69
2007	277	107
Totaal	969	334
Gemiddeld	293	101

Het gemiddelde is berekend over 3,3 jaar. De uren die worden gerapporteerd bij uitwisseling zijn geschatte uren, geen werkelijk bestede uren. In de uren zijn geen reistijden begrepen. De werkelijke inspanning is dus vermoedelijk veel groter, omdat voor een simpele uitwisseling soms een hele dag wordt gereisd.

Ook is niet te achterhalen hoeveel tijd wordt besteed aan uitwisseling en hoeveel aan revisie. De gerapporteerde inspanning moet daarom met een flinke korrel zout worden genomen.

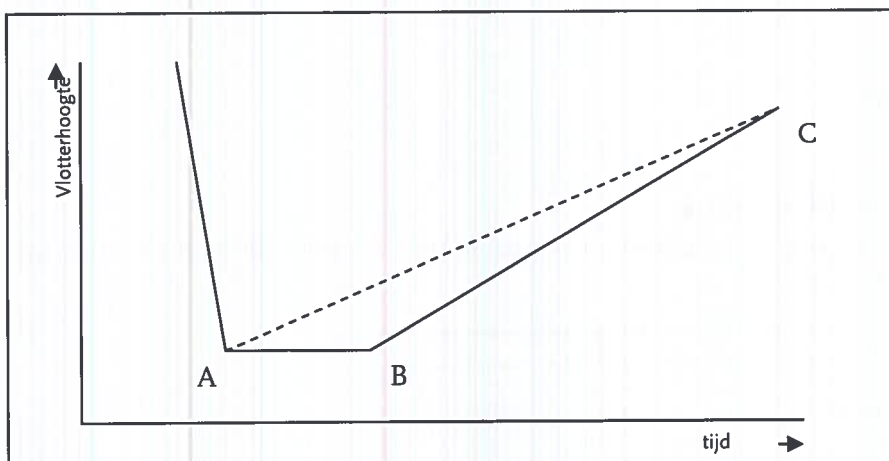
4.2 Kalibratie

De kalibratieprocedure is beschreven in de relevante ISO-procedure, die op intranet is gepubliceerd. Het proces is bijna volledig geautomatiseerd, het wordt ook volgens de werkinstructie uitgevoerd. Tijdens de kalibratieprocedure bleek dat het nulpunt van de kalibratie wordt genomen bij een juist geleegd vat. Er wordt daarna 400 cc water ingelaten, waarna de frequentie 10.000 Hz hoger wordt afgeregeld. Op deze wijze impliceert de kalibratie ook de hysteresis. Hysteresis wordt veroorzaakt doordat de vlotter na leging iets teveel doorzakt, waarna weer druk moet worden opgebouwd om de vlotter in beweging te krijgen. Ook het aanhangen van waterdruppeltjes na leging kan een oorzaak van hysteresis zijn. Omdat de SIAM corrigeert voor de hysteresis (zie hieronder) mag die niet in de kalibratie worden meegenomen, maar dat is wel het geval. Figuur 1 maakt duidelijk welke fout er wordt gemaakt door de hysteresis.

³ Vanaf eind 2006 gelden de cijfers voor WIS-Service i.p.v. INSA-IPS.

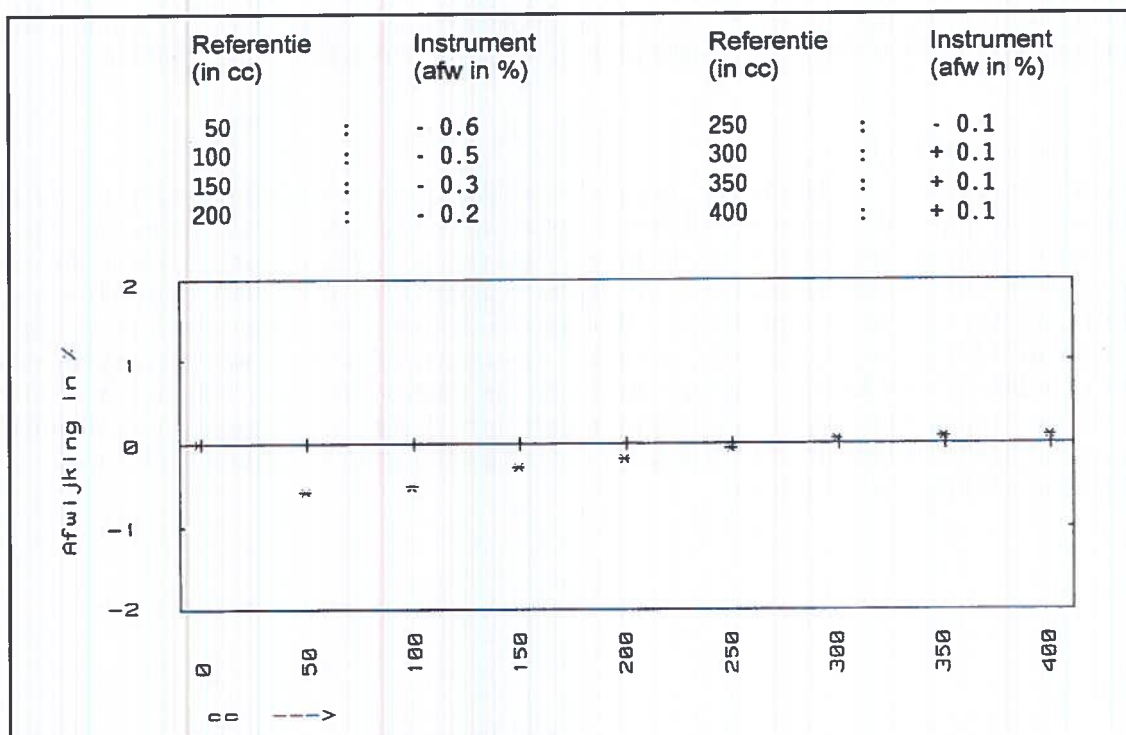
⁴ Getallen slechts beschikbaar t/m april 2004

⁵ Geen gegevens beschikbaar



Figuur 1

Bij punt A is het meetvat gelegeerd, en sluit de klep. Daarna moet er eerst wat water in het vat vallen, voordat de vlotter weer stijgt (B). Bij C is er weer 400 cc water in het vat gelopen. De figuur maakt duidelijk dat de kalibratie voor de *neerslagsom* wel klopt (getotaliseerd over de hele range A-C), maar dat de *ijkfactor voor de intensiteit* wordt onderschat. Tijdens regenval verloopt de vlotterstijging volgens A-B-C, maar bij ijking wordt de stijging aangenomen over A-C. Dit verklaart ook waarom *alle* kalibratiecurves die het ijklaboratorium verlaten bij lage vlotterstand een negatieve afwijking hebben, zoals onderstaand voorbeeld laat zien.



Figuur 2

4.3 Omslagpunt en hysteresis

De neerslagmeter is een integrerend instrument. De vlotter kan stijgen tot 11 mm neerslag, waarna de klep door de SIAM wordt geopend. Binnen 20 seconden loopt het meetvat leeg. Zodra de vlotter onder de 1 mm (neerslaghoogte) is gezakt sluit de klep weer.

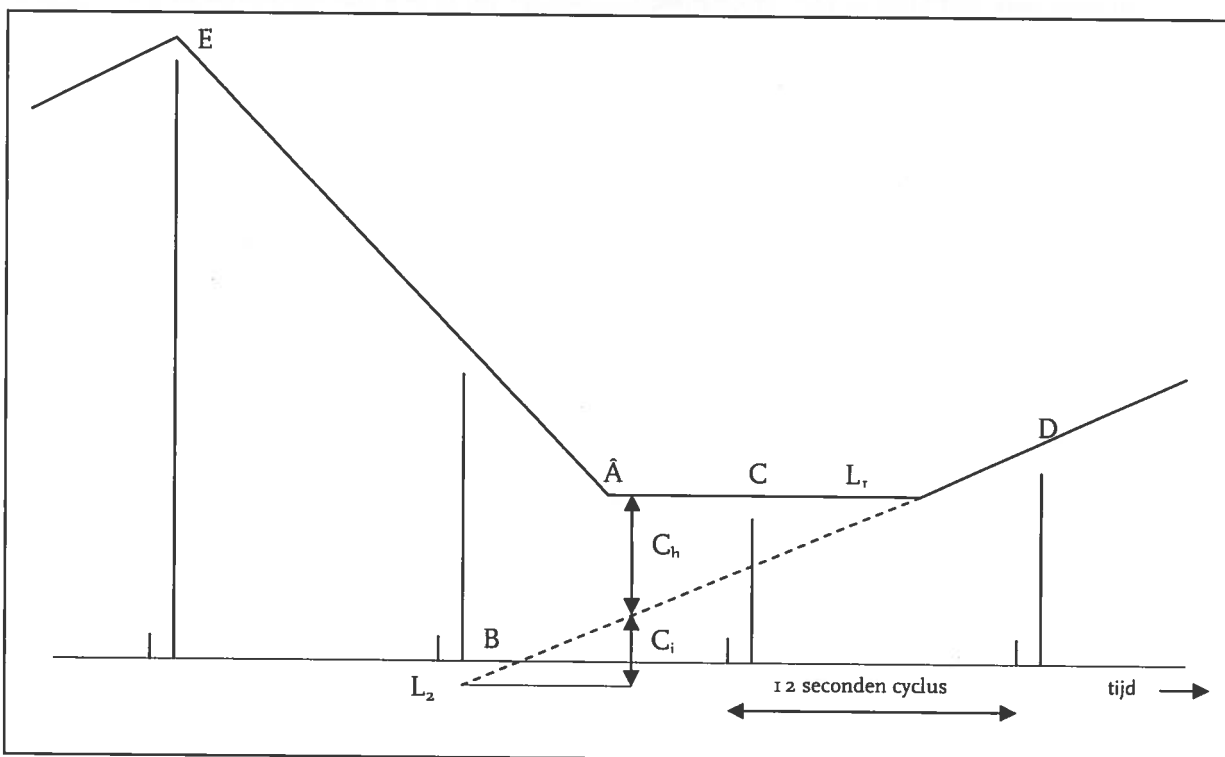
Tijdens het leeglopen worden drie fouten gemaakt, waarvoor door de SIAM wordt gecorrigeerd.

1. Er valt ook *tijdens* de omslag neerslag, die echter niet gemeten wordt, het water loopt meteen weer weg.
2. Het legen duurt langer dan 12 seconden, waardoor na sluiting van de klep het vlotterniveau op een verkeerd moment wordt bepaald: aan het einde van een 12 secondenperiode in plaats van aan het begin. Hoe harder het regent, hoe langer het leeglopen duurt, en dus ook hoe groter de fout. Welbeschouwd is dit dezelfde fout als de voorgaande.
3. Er moet na de omslag eerst weer een zekere hoeveelheid water in het vat lopen voordat de vlotter weer stijgt (hysterese). Metingen aan één neerslagmeter tijdens de DEGESI-ontwikkeling gaven aan dat de hysterese ongeveer 20 μm bedraagt.

Sinds 1993 (Tweede generatie SIAM) geeft de SIAM geen vlotterhoogte meer, maar neerslagintensiteit door twee opeenvolgende vlotterhoogtes met elkaar te vergelijken. Hysterese en waterverlies werden gecompenseerd door aan te nemen dat er 60 μm neerslag moet vallen voordat de vlotter stijgt. Daarvan is 20 μm hysterese, en 40 μm waterverlies. Bij lage intensiteiten is dat een overschatting, bij hoge intensiteiten een onderschatting. Tijdens het WMO neerslagmeter onderzoek⁶, waarin ook de KNMI-neerslagmeter is onderzocht, werd bij zeer hoge intensiteiten (270 mm/hr) een fout gevonden van 10%. Merk op dat de KNMI-neerslagmeter echter niet is gespecificeerd voor hoge intensiteiten (max 130 mm/hr).

Tijdens de DEGESI ontwikkeling is de omslagcompensatie verbeterd. De DEGESI-SIAM type DR2 compenseert met een vaste hysterese van 18 μm en een extra intensiteitafhankelijk deel, waarbij het voorgaande 1-minuut gemiddelde als referentie wordt genomen. Zolang de vlotter niet is gestegen wordt aangenomen dat de intensiteit constant blijft, en het 1-minuut gemiddelde wordt dan als neerslag gerapporteerd. Alle drie fouten worden daarmee adequaat gecompenseerd.

Figuur 3 maakt duidelijk hoe de omslagcompensatie in zijn werk gaat.



Figuur 3

⁶ KNMI Contribution to WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Wauben, 2006, KNMI Technical Report TR 287.

Aan het begin van een 12-secondenperiode opent de klep (E). In de volgende periode sluit de klep op moment A, en de nieuwe vlotterhoogte L_1 wordt bepaald. Omdat de vlotterhoogte pas bij moment A is bepaald en niet bij het vereiste moment B, wordt de vlotterhoogte gecompenseerd met een vaste hysteresis C_h en een intensiteitafhankelijke compensatie C_i .

Deze compensatie blijkt zeer goed te werken. De DEGESI-veldtest⁷ gaf aan dat er geen meetbare fout wordt gemaakt. In het kader van dit OPETON onderzoek zijn nog aanvullende testen gedaan (zie bijlage 2). Dat onderzoek heeft geen nieuwe feiten aan het licht gebracht.

4.4 Sneeuwsmelting

De verwarming is zodanig ontworpen, dat de verwarming 100% moet stoken onder +2°C. Boven 4°C moet de verwarming uit, daartussen is er een proportionele regeling. Bij het ontwerp is echter geen rekening gehouden met de hogeingangsspanningsrange van de CMOS-driehoekgenerator (CD4096B), waardoor de regeling in de praktijk werkt tussen 4..7°C. Er zijn twee verwarming, beide ongeveer 50 Watt. De eerste verwarmt het interieur van de neerslagmeter om te zorgen dat het water in het vat niet bevriest, en bovendien beschermt die de elektronica tegen al te lage temperaturen. De meeste componenten zijn gespecificeerd in het commercial domain (0..70°C). De tweede verwarming verwarmt de trechter om vaste neerslag te smelten.

Beide verwarming hebben een identieke regeling. De temperaturopnemers zijn Pt-500 elementen. De ene zit in de bodem van het meetvat, de andere aan de onderzijde van de trechter. Het blijkt dat de trechterverwarming zelden aanslaat. De ruimteverwarming stookt de onderzijde van de trechter zodanig op dat die niet gauw onder 4°C komt. Aan de bovenzijde van de trechter blijft de sneeuw vaak liggen, mede omdat de verticale trechterraand niet verwarmd wordt. Bovendien is de afkoeling door windeffecten aan de rand vermoedelijk groter dan diep in de trechter.

In feite zou de verticale opstand boven de trechter ook verwarmd moeten worden, want daar blijft de sneeuw vaak aan kleven. Het mechanisch ontwerp van de bus laat dat echter niet toe. (Zie foto).

⁷ Test omslagpunten DR2-SIAM neerslag, Bijma 2006, Testrapport JBo707/111.



Figuur 4

4.5 Verschil tussen hand- en automatische neerslagmeter

Uit analyse van I-ID blijkt dat de handwaarnemingen gemiddeld 8% meer neerslag registreren dan de automatische. Het verschil is alleen in de winter waarneembaar. In de zomer zijn de verschillen veel kleiner. Deels kunnen de verschillen worden verklaard uit verschillende neerslagvormen in zomer en winter. In de winter is vaker sprake van langdurige matige neerslag, in de zomer is er vaak sprake van buiige neerslag met hoge intensiteiten en veel wind. Door windeffecten ontstaan er verschillen tussen handregenmeter en de neerslagmeter, die tegen windinvloeden beschermd is. Maar vermoedelijk is er 's winters ook sprake van verdamping door overmatige trechterverwarming.

4.6 Lek

Een lekke klep wordt gedetecteerd door de SIAM, omdat die de vlotterdaling registreert over een uur. De daling mag niet meer bedragen dan 0,05 mm. Een ernstig lekkende klep wordt al gedetecteerd bij het leeglopen, omdat het waterniveau zakt tot onder het minimum.

Lek wordt volgens het ijlaboratorium meestal veroorzaakt door vuil. De neerslagmeter gaat na uitwisseling altijd eerst naar het ijlklub voor test en na-kalibratie. Daarbij wordt de flush-input van de neerslagmeter eerst bekrachtigd om hem leeg te laten lopen. In vrijwel alle gevallen is van lek daarna geen sprake meer. Vermoedelijk zit er vuil in de klep, die er uit spoelt tijdens het flushen. Deze bevindingen worden in de kwartaaloverzichten geregistreerd als "onterechte klacht".

De kleppen worden elke twee jaar preventief gewisseld. Volgens technici van de werkplaats is er echter met de uitgewisselde kleppen niets mis.

Sinds enkele jaren zijn de neerslagmeters uitgerust met een deksel, dat op de trechter wordt geplaatst tijdens maaien. Dat heeft het aantal storingen door vervuiling drastisch verminderd.

4.7 Potmeter kraakt

In 1989 is het ontwerp van de neerslagmeter gereviseerd door INSA-IO. In die jaren werd de neerslagmeter nog uitsluitend gebruikt als integrerend instrument dat momentane vlotterhoogte presenteerde. De nauwkeurigheidsspecificatie was 0,1 mm, conform WMO-eisen.

In 1993 is de SIAM zodanig gewijzigd dat die geen vlotterhoogte, maar intensiteit weergaf. Hoewel er geen fundamenteel verschil is tussen de twee (je kunt ze altijd in elkaar omrekenen) bracht die wijziging wel een aantal problemen aan het licht. Het bleek dat de neerslagmeter ook bij droge dagen soms momentane sprongen van 0.07 mm vertoonde. Onderzoek toonde aan dat het euvel te wijten was aan beschadigingen van de baan van de potentiometer. Die ontstaan omdat de looper soms wekenlang stilstaat op dezelfde plaats, en daarbij door thermische effecten dagelijks een paar micrometer verschuift. Slijtage is daarvan het gevolg.

Tot 1993 werden de potentiometers gereviseerd, maar nadat de slijtage aan het licht was gekomen werden ze elke twee jaar vervangen door nieuwe. Sinds 2006 is de potmeter vervangen door een gelijkwaardig nieuw type, omdat de oude niet meer leverbaar is. Het is niet bekend of deze potentiometer te lijden heeft van hetzelfde euvel. Maar het is een heel ander type, en het is dus niet zeker.

4.8 Dure componenten

In de wandelgangen wordt gemeld dat het onderhoud duur is, omdat potmeter en klep dure componenten zijn. De oorspronkelijke potentiometer kostte destijds inderdaad ongeveer Hfl 1000,- maar de prijs van het nieuwe type is inmiddels minder dan € 100. Ook de klep kost slechts € 88. Deze componenten worden elke 28 maanden vervangen. Dat kost derhalve nog geen € 100,- per neerslagmeter per jaar.

4.9 Niet af te regelen elektronica

Dit lijkt een merkwaardige klacht, omdat alle elektronica-componenten een nauwkeurigheidseis hebben van tenminste 1%, terwijl het afregelbereik $\pm 10\%$ is.

Er is echter één component dat een aanzienlijke tolerantie heeft, en dat is de potentiometer. De specificatie is $5000 \Omega \pm 20\%$. De potentiometer wordt weliswaar differentieel gebruikt, maar dat is niet helemaal waar: aan de onderzijde zit een kleine voorschakelweerstand van 240Ω om het regelbereik wat omhoog te leggen. De reden hiervan is dat de frequentie niet nul mag worden. Er moet ook bij de laagste vlotterstand nog altijd een frequentie aangeboden worden, zodat de SIAM onderscheid kan maken tussen een communicatieprobleem (verbindingfout) en een leeg meetvat. De onderzijde van de potentiometer heeft een nominale spanning van 0.5 V. Maar bij afwijkende waarden van de potentiometer kan dat variëren tussen 0,42 en 0,62 V.

Ten onrechte wordt in een dergelijk geval het regelbereik aangepast door weerstanden te wijzigen. Het is beter om zo'n potentiometer niet te gebruiken.

4.10 Status y-probleem

De Degesi-SIAM voor neerslag verschilt in zoverre van de oude SIAM, dat de omslag wordt aangegeven met een apart statuskarakter "y". Tijdens omslag wordt de neerslagintensiteit niet gemeten, maar geëxtrapolerd door het sample te vervangen door de waarde van het laatste 1-minuut-gemiddelde, totdat de op die manier gerapporteerde neerslag voldoende is om het gemeten vlotterniveau na de leging te bereiken.

WIS-service meldt dat in een aantal gevallen de "y"-status oneindig voortduurde. Helaas is er geen data bewaard van deze gevallen.

Software onderzoek toont aan dat de oorzaak vermoedelijk moet worden gezocht in het volgende verschijnsel. In een neerslagloze periode kan de vlotter juist onder het omslagpunt staan. Door thermische drift kan het omslagpunt dan worden bereikt, waardoor de klep opent. Het sample wordt dan vervangen door het laatste 1-minuutgemiddelde. Maar omdat in die minuut geen neerslag is gevallen, behalve de zeer geringe stijging t.g.v. de drift, is dat gemiddelde afgerond nul.

Extrapolerend met die waarde wordt de werkelijke vlotterstand natuurlijk nooit bereikt, totdat de vlotter weer werkelijk stijgt.

Merk op dat dit in feite geen bug is: het is correct gedrag van de SIAM. Hoewel de "y"-melding soms dagen kan aanhouden is de melding correct: er is al die tijd sprake van artificiële data, geen gemeten data. Niettemin is het verschijnsel wellicht niet wenselijk omdat het de statusanalyse bij WIS vertroebelt.

4.11 Drift

Thermische drift heeft tot gevolg dat er soms ten onrechte neerslag wordt gemeld. Positieve drift wordt geïnterpreteerd als neerslag. Drift onderscheidt zich van echte neerslag doordat de vlotterstijging in veel kleinere stapjes gaat van 1..2 μm . Neerslagdruppels zijn in het algemeen groter dan 5 μm . In de berekening van de neerslagduur is daarom een criterium gedefinieerd van een minimum aantal stijgingen met een minimum grootte. Maar omdat het een ontwerp eis is dat *elke* vlotterstijging moet meetellen voor de neerslagsom, wordt de thermische drift wel in de intensiteit gerapporteerd. De hoogst gemeten vlotterstand wordt daarna als referentiewaarde voor de volgende stijging genomen, om te voorkomen dat na een negatieve drift (bij afkoeling) een nieuwe positieve drift (bij opwarming) opnieuw als neerslag wordt gerapporteerd.

Een gevolg hiervan is, dat neerslag, die is gerapporteerd ten gevolge van drift, eerst werkelijk moet vallen voordat er weer opnieuw neerslag kan worden gerapporteerd. Het kan daarom bij drizzle wel tot een half uur duren voordat de gevallen neerslag wordt gerapporteerd. De drift kan oplopen tot ongeveer 0.1 mm neerslag.

Thermische drift wordt veroorzaakt door de volgende oorzaken:

- mechanische uitzetting en krimp van componenten;
- uitzetting van water in het meetvat;
- elektrische drift van de elektronica.

Daarbij is ook onderzocht of de drift afhankelijk is van de oriëntatie van de neerslagmeter, omdat vermoed werd dat instraling aan de zijde van de elektronica mogelijk een grotere drift tot gevolg zou kunnen hebben. Er zijn voor de oriëntatie geen opstellingvoorschriften.

De theoretische en werkelijk gemeten drift is nader toegelicht in bijlage 1. Daarbij blijkt dat de thermische drift t.g.v. de mechanische uitzetting in de orde is van maximaal 80 μm . De elektronische drift is worst case 190 μm . In bijlage 1 is aangegeven welke componenten een bijdrage leveren aan de drift.

4.12 Invloed van oriëntatie op de drift

Er zijn opmerkelijke verschillen in drift geconstateerd tussen de neerslagmeter op station 260 (De Bilt operationeel) en van station 261 (De Bilt testveld). Verondersteld werd dat dat een gevolg zou kunnen zijn van verschillen in oriëntatie, omdat de neerslagmeter met de hoogste drift met de elektronica naar het zuidwesten was gericht, de andere naar het noorden.

Die theorie is onderzocht door een neerslagmeter met de heatgun aan verschillende zijden te verwarmen. Er was geen verschil merkbaar in drift. De gevonden driftverschillen op het veld zijn vermoedelijk te wijten geweest aan een verschillend waterniveau in de neerslagmeter. Een volle neerslagmeter heeft tot tien maal zoveel drift als een juist geleegde, omdat een kleine hoeveelheid water ook maar weinig uitzet.

4.13 Onterechte neerslagmelding

In een aantal gevallen kan de onterechte neerslagmelding niet worden toegeschreven aan thermische drift, omdat de schijnbare vlotterstijging te snel verloopt of daarvoor te groot is. Het probleem treedt het heel jaar op, ook in de wintermaanden als er weinig thermische drift is.

Mogelijk is hier toch sprake van slechte potentiometers. Sprongen in de potentiometer worden als anomalie gemeld vanaf 84 µm. Wellicht is ook sprake van interpretatiefouten bij I-ID. De neerslagmeting wordt vergeleken met PW-, wolken- en zichtgegevens, en vaak ook met radar. Het is bepaald niet uitgesloten dat al deze parameters niet op neerslag wijzen, hoewel die wel degelijk valt. In het kader van dit onderzoek konden daarvoor geen oorzaken worden aangetoond.

In alle gevallen waarin neerslagmeters worden gewisseld na deze klacht komt de neerslagmeter vlekkeloos door de controleprocedure in het IJklab. Er wordt geen verder onderzoek gedaan en er wordt geen reparatie uitgevoerd. Het instrument komt ongewijzigd weer in het kabinet.

4.14 Storingen

De storingsrapportages van 2007/2008 zijn geanalyseerd. In totaal zijn 64 events geregistreerd. Daarvan waren er 36 reguliere vervanging wegens aflopen van de ijktermijn. De overige vervangingen zijn in de volgende tabel nader toegelicht.

Nr	Datum	Station	Storing	Noot					
1	16/3	Volkel	Geeft neerslag bij droog weer	1					
2	22/3	De Bilt 261	Op verzoek van IRD voor onderzoek		2				
3	16/4	Soesterberg	Geeft neerslag bij droog weer	1					
4	14/5	Westdorpe	Meet geen neerslag			4			
5	31/5	De Bilt 261	Op verzoek van IRD voor onderzoek		2				
6	5/7	De Bilt 261	Op verzoek van IRD voor onderzoek		2				
7	11/6	Deelen	Geen communicatie met SIAM ("B")			3			
8	19/6	Leeuwarden	Geeft neerslag bij droog weer	1					
9	20/6	Deelen	Geen communicatie met SIAM ("B")			3			
10	10/7	Marknesse	Neerslagmeter meldt "E" status				5		
11	17/7	Leeuwarden	Status "D".			3			
12	23/7	Leeuwarden	Status "D" en "d".			3			
13	25/7	Berkhout	Geen neerslagmeting, maar wel volgens radar en zichtmeter.			4			
14	31/8	Eelde	Geeft neerslag bij droog weer	1					
15	3/9	Deelen	Status "E"				5		
16	11/10	Eindhoven	Geeft neerslag bij droog weer	1					
17	26/11	Soesterberg	Status K en P (vlotter te hoog)					6	
18	3/12	Soesterberg	Status K					6	
19	19/12	Zestienhoven	Geeft neerslag bij droog weer	1					
20	20/12	Twenthe	Continue status "y"						7
21	15/1	Zestienhoven	Meet vrijwel geen neerslag			4			
22	12/2	Wilhelminadorp	Meet factor 10 te weinig neerslag			4			
23	1/4	Volkel	Status E en J				5		
24	11/4	Herwijnen	Geeft 5,5 mm neerslag op droge dag	1					
25	17/4	Arcen	Trechter is heet						
26	21/4	Westdorpe	Status P					6	
27	15/5	Valkenburg	Status W						8
28	4/6	Eindhoven	Status E en J				5		

Helaas worden de resultaten van het storingsonderzoek na terugkomst van het instrument niet in TOPdesk bijgehouden, zodat niet kan worden achterhaald wat de oorzaak van de storingen is geweest. Onderstaand wat mogelijke oorzaken:

1. Neerslagmelding bij droog weer is mogelijk toe te schrijven aan thermische drift. Maar niet in alle gevallen is dat waarschijnlijk (zie paragraaf 4.13).
2. Drie maal is een sensor op 261 voor onderzoeksdoeleinden vervangen. In één geval was er sprake van een storing (defecte elektronica).
3. De neerslagmeter te Deelen meldde een status "B", maar ook na de vervanging kwam de storing terug. De oorzaak ligt dus vermoedelijk niet in de neerslagmeter. Mogelijk een kabelprobleem.
4. Het is in het geval Berkhout (nr 13) onduidelijk of de melding terecht is. Er is geen bewijs dat er in de betreffende periode neerslag is gevallen. Mogelijk is er sprake van een lekkende klep. In de andere gevallen is er wel een storing, oorzaak onbekend.
5. Vermoedelijk een klepfout, kan ook elektronica defect zijn.
6. Vermoedelijk verstopte klep.
7. Langdurige status "y" is een gevolg van de implementatie van de terugslagcompensatie in de SIAM software (zie 4.10 "Status y probleem").
8. Status W wijst op langdurige leegloop, vermoedelijk door defecte terugmelding aan de SIAM (kabelprobleem, elektronica probleem of SIAM probleem).

Uit de tabel wordt duidelijk dat er een aantal verschillende typen problemen zijn:

Storing	Aantal	Opmerking
SIAM y-status	1	Is geen bug, maar een gevolg van de terugslagcompensatie. Kan eenvoudig worden verholpen als dat door WIS wordt verlangd.
SIAM defect	2	Oude SIAM's zijn aan het einde van hun levensduur.
Verwarming defect	1	
Lekkende of verstopte klep	9	In geen van de gevallen is de klep vervangen of anderszins een reparatie uitgevoerd. Flushen is voldoende.
Onterechte neerslagmelding	7	Het is onduidelijk of de onterechte neerslag altijd is toe te schrijven aan thermische drift. In geen van de gevallen is een reparatie uitgevoerd

4.15 Defecte prints

In de onderzoeksperiode (maart '07 – juni '08) is er maar één defect geweest aan de elektronica. Het aantal storingen daaraan lijkt dus wel mee te vallen. In de werkplaats werden vier defecte prints aangetroffen. Het is niet duidelijk in welke jaren die defecten zijn ontstaan, en ook de aard van de defecten is niet bekend, omdat ze niet gerepareerd zijn. Daarom zijn de defecten alsnog onderzocht. Daarbij bleken twee van de vier prints geen defect te vertonen. Van de twee andere was er één keer sprake van een kapotte weerstand, en één keer een kapotte zekering. Er is dus geen sprake van excessieve uitval, noch van systematische storingen.

Bij metingen aan de print bleek, dat prints uit verschillende batches bestuurd zijn met verschillende componenten. In het algemeen zijn de afwijkende componenten conform de specificaties, maar van tenminste twee series voldoen de weerstanden van de Pt-500 brug voor de verwarmingsregeling niet aan de specificatie van 0.1% tolerantie. Er zijn ook weerstanden gebruikt van 0.5% en 0.2%. Bovendien is de hysteresis van de gebruikte CMOS-driehoekgenerator (CD4096B) met een ruime marge gespecificeerd.

Daarom zijn de aanspreektemperaturen van de verwarming soms ver buiten de specificatie.

4.16 Andere bevindingen ten aanzien van de elektronica

Tijdens het onderzoek aan de elektronica bleken nog een paar zaken die aandacht vragen:

- De voedingsspanning wordt betrokken uit de 24 Volt wisselspanning (transformator). Die spanning is instabiel, en kan worst case oplopen tot 30 Volt als de transformator weinig wordt belast (i.c. als de verwarming uit is). Dat levert een ruwe gelijkspanning op van meer dan 35 Volt. Dat is meer dan het absolute maximum voor de gebruikte spanningsregelaar, die dan ook aardig wat vermogen dissipeert.
- De temperatuurgevoelige V/F-converter is op de print gemonteerd vlak naast de koelvin van de soms hete spanningsregelaar.
- Op de print is geen rekening gehouden met scheiding van ground referenties voor de voeding (verwarmingsregeling) en de versterkers/spanningsreferenties. De effecten daarvan zijn echter stabiel, en kunnen dus worden weggekalibreerd. In- en uitschakelen van de verwarming heeft op de nauwkeurigheid geen significante invloed, al is dat meer geluk dan wijsheid.
- De print bevat een aantal niet meer leverbare componenten, waarvoor gelukkig wel alternatieven beschikbaar zijn.
- De bleederweerstand op de output van de V/F converter is gespecificeerd als 5 k Ω . Dat is geen standaardwaarde, en de leveranciers zetten hier dan maar een 5.1 k Ω in. De weerstand is echter totaal niet kritisch. Een waarde van 4.7 of 5.6 k Ω is hier meer op zijn plaats.

4.17 Ontbrekende statusmeldingen

Een aantal statusmeldingen van de SIAM hebben te maken met storingen tijdens leegloop. Deze statussen worden doorgaans maar één keer gemeld. Statusmeldingen worden in het meetnet (CIBIL) opgeslagen bij de 1'-minuut waarnemingen. Een gevolg daarvan is, dat vier van de vijf meldingen worden genegeerd. Storingsonderzoek is daarom voor WIS-service in die gevallen onbegonnen werk.

5. Conclusies

In het algemeen kan worden gesteld dat de KNMI-neerslagmeter een nauwkeurig instrument is, dat relatief weinig onderhoud nodig heeft. Het enige relatief grote probleem is de verdamping, veroorzaakt door een matige verwarmingsregeling. Ook zijn er onnodig veel uitwisselingsoperaties.

Uit het onderzoek kunnen verder de volgende conclusies worden getrokken.

1. Het onderhoud kost ca 10 uur per instrument per jaar. De kalibratie kost 3 uur per jaar. De onderhoudsuren zijn echter matig geadministreerd en bevatten geen reistijden. De werkelijke inspanning is vermoedelijk veel groter. Er wordt bij de urenverantwoording geen onderscheid gemaakt tussen uitwisseling en revisie.
2. De onderhoudskosten vallen mee, minder dan € 100 per jaar. Dat bedrag zou nog lager kunnen worden door minder frequent kleppen en potmeters te vervangen.
3. Het is onwaarschijnlijk dat het nieuwe type potentiometer dezelfde contactproblemen heeft als het oude type.
4. Vervanging op verzoek van ID vanwege onterechte neerslagmelding zijn mogelijk het gevolg van drift. Nooit vindt er een reparatie plaats op grond van een dergelijk klacht.
5. Neerslagmeters die wegens verstopte of lekkende klep worden gewisseld zijn meestal na een flush weer in orde.
6. Kleppen die systematisch na twee jaar worden vervangen zijn niet defect en vertonen geen slijtage. Het is niet duidelijk waar de vervangingsinstructie op gebaseerd is.
7. De thermo-mechanische drift is maximaal 70 µm bij een temperatuurstijging tot 70°C.
8. De thermo-electrische drift is nominaal 32 µm, maximaal 190 µm.
9. Temperatuurdrift veroorzaakt onterechte neerslagmeldingen, en zorgt bij latere lichte neerslag voor een vertraging van de registratie tot 30 minuten.
10. De oriëntatie van de neerslagmeter t.o.v. het noorden heeft geen invloed op de thermo-electrische drift.
11. Een slecht gedimensioneerde verwarming zorgt voor niet-smeltende sneeuw langs de trechterrands en 's winters voor overmatige verdamping.
12. Bij grote netspanningfluctuaties kan de maximaal toelaatbareingangsspanning worden overschreden, wat ten koste gaat van de levensduur van de elektronica.
13. Er zijn weinig gevallen van defecte elektronica. Er zijn slechts twee defecte prints aangetroffen: één keer een defecte weerstand, en één keer een defecte zekering.
14. In de verwarmingsregeling zit een ontwerpfout, waardoor de verwarming stookt bij temperaturen tot 8°C.
15. Er zijn prints in omloop met onjuiste specs van componenten voor de Pt-500 bruggen. Daardoor is er veel variatie in aanspreektemperatuur van de verwarmingsregelingen.
16. De kalibratie gebeurt volgens voorschrift, maar impliceert ten onrechte de hysteresis. Daarbij wordt een systematische fout gemaakt van ca 0.02 mm per cyclus van 10 mm (0,2%).
17. In een enkel geval is het regelbereik van de trimpot op de elektronica niet toereikend om het meetbereik in te stellen. Dit is een gevolg van te zeer afwijkende waarden van de meetpotentiometer, die een tolerantie heeft van 20%.
18. Soms wordt het omslagpunt van de neerslagmeter bereikt door drift in plaats van neerslag. Dan kan het voorkomen dat het herstel van de omslag (hysteresis verwerking) eeuwig duurt, totdat er weer echte neerslag valt, omdat de neerslagintensiteit op dat moment nul is. De SIAM geeft dan lange tijd de status 'y'. Dat heeft geen gevolgen voor de data, die blijven correct weergegeven worden. De langdurige melding is correct, maar leidt tot verwarring bij beheerders.
19. Doordat statusmeldingen in het meetnet slechts één per minuut worden opgeslagen, gaat 80% van de statusmeldingen verloren.

6. Aanbevelingen

1. De elektronica heeft verschillende tekortkomingen, met name met het oog op thermische drift, maar ook ten aanzien van bedrijfszekerheid. Daarom verdient het aanbeveling om de elektronica te herzien, waarbij de volgende wijzigingen worden voorgesteld.
 - DC-DC converter i.p.v. spanningsregelaar. De converter moet geschikt zijn voor ingangsspanningen minimaal 20% boven de nominale spanning, om netspanningvariaties te overleven.
 - Betere scheiding groundcircuits
 - Weerstand voor 11 volt referentie (R6 en R7) verkleinen i.v.m. inputcurrent drift.
 - Tantaal condensatoren specificeren met een hogere nominale doorslagspanning, om de lek te minimaliseren en de levensduur te maximaliseren.
 - Voorschakelweerstand R8 van de meetpotentiometer vervangen door een aan de referentie gekoppelde vaste spanning.
 - Vervanging van de LM324 met zijn hoge TC I_{os} door de LMV654 (worst case 3 mV offset i.p.v. 165 mV).
 - Vervanging van de VFC AD537JD (150 ppm/K) door de AD537KD (50 ppm/K).
 - Vervanging van de bleederweerstand van de V/F-converter door een standaardwaarde van 4.7 k Ω i.p.v. de niet-standaard waarde van 5.0 k Ω .
 - Herdimensionering van de verwarmingsregeling (zie hieronder).
2. Te overwegen is om de frequentieoutput te vervangen door een seriële output. De onnauwkeurigheid en instabiliteit van de V/F converter en zijn kritische R/C combinatie is daarmee verleden tijd. De converter moet dan worden vervangen door een microcontroller met AD-omzetter. Deze benadering maakt het mogelijk om temperatuurcompensatie toe te passen.
3. De temperatuursensor van de trechter kan beter tegen de rand worden gemonteerd dan aan de bodem. Sneeuw aan de trechterrands wordt dan beter gesmolten.
4. De temperatuurregeling van de beide verwarmingen is lineair tussen ongeveer 4 .. 7 °C. De regeling kan beter lineair aanspreken tussen 0 .. 1 °C. De verwarming is uitsluitend bedoeld voor het smelten van vaste neerslag, en hoeft ver boven nul dus niet te verwarmen. Verdamping wordt daarmee verminderd.
5. Ruimteverwarming en trechterverwarming dienen verschillende doelen. De trechter moet daarom thermisch worden geïsoleerd van het vat. Enerzijds om verdamping te voorkomen wanneer de ruimteverwarming aan staat, anderzijds om te voorkomen dat de ruimteverwarming de onderzijde van de trechter zodanig verwarmt dat de trechterverwarming niet meer aanspreekt, ook al ligt er vaste neerslag in de trechter.
6. Bij de kalibratie wordt de hysteresis ten onrechte weggekalibreerd, terwijl de SIAM daar al voor compenseert. Daarom is het beter om niet vanaf het nulpunt, maar 100 μ m hoger te starten met de afregeling van de ijkfactor.
7. Wanneer het regelbereik van de trimpot op de elektronica niet toereikend is, kan de betreffende meetpotentiometer beter niet worden gebruikt. Eventueel kan in dat geval ook een parallelweerstand over de potentiometerklemmen worden toegepast. Wijziging van componenten op de print zelf moet niet worden toegestaan.
8. De potmeter hoeft minder frequent te worden vervangen. Bij wijze van proef kan de vervangingstermijn van het oude type op vier jaar worden gezet, en het nieuwe type hoeft (voorlopig) helemaal niet te worden vervangen. In de loop van vier jaar kan dan worden bekeken of er spike-problemen optreden. Vermoedelijk zal dat niet het geval zijn.
9. Het is onnodig bij elke revisie de klep te vervangen. Bij revisie heeft de klep gemiddeld pas een keer of twintig gewerkt.
10. Storingsmeldingen t.g.v. lekkende of verstopte klep kunnen eenvoudig met een flush in het veld worden verholpen. Uitwisseling is niet nodig.
11. De zeer frequente klachten van I-ID over onterechte neerslagmeldingen zouden grondig onderzocht moeten worden. Ze worden nu systematisch afgedaan als "onterechte klacht" zonder dat de aard van de klacht onderzocht is. Onmiddellijke storingsanalyse, als alle ruwe data nog aanwezig zijn, is aan te bevelen.

- 1 2. De langdurige melding van SIAM-status "y" bij omslag t.g.v. drift kan eenvoudig in de SIAM software worden verholpen.
- 1 3. De CIBIL database zou zodanig moeten worden gewijzigd dat alle statusmeldingen van alle SIAM's worden opgeslagen per 1 2 seconden.

7. Implicaties van verbeteringen

Om in kaart te brengen hoeveel inspanning het vereist om de neerslagmeter te verbeteren is onderstaand aangegeven welke problemen worden opgelost bij welke inspanning.

Maatregel	Verbetering	Inspanning
Verbetering elektronica	Verbetering thermische stabiliteit en bedrijfszekerheid. Betere sneeuwsmelting, aanzienlijk minder verdamping. ⁸	Aanzienlijke inspanning. Ontwikkeling ca 300 uur, kosten van vervanging prints en uitwisseling ca 300 uur, 10 k€ Een beperkt aantal wijzigingen kan ook worden uitgevoerd op de bestaande print. Die wijziging is uiteraard veel minder ingrijpend, vergt weinig ontwikkeltijd en nauwelijks kosten.
Herdimensionering van verwarming	Betere sneeuwsmelting, aanzienlijk minder verdamping	Gering. Ontwikkeling 40 uur, uitwisseling kan tijdens revisie. Geen kosten.
Verplaatsen trechter-sensor i.s.m. isoleren van de trechter	Betere sneeuwsmelting, minder verdamping.	Ontwikkeling 40 uur, veel werk. Kosten niet bekend.
Aanpassen kalibratieprocedure	Betere ijking, 0.2% nauwkeuriger	Zeer geringe inspanning (ca 8 uur).
Aanpassen DR2-siam software	Oplossen langdurige "y"-status (mogelijk is het middel erger dan de kwaal).	Geringe inspanning, ca 16 uur. Daarna implementatie in alle neerslag-SIAM's.
Wijzigen vervangingsinstructie kleppen en potmeter	Minder kosten, besparing ca € 3500/jaar.	Gering.
Wijziging oplossingsinstructie bij klepfouten	Minder werk, geen tussentijdse controles en ijkingen	Gering.

- 0 -

⁸ Bij herontwerp van de elektronica ligt het voor de hand ook de verwarmingsgregeing daarin mee te nemen.

Bepaling van thermische drift

BIJLAGE 1

Thermo-mechanische drift

Op de volgende foto is de opbouw van de neerslagmeter te zien. Daarbij zien we de volgende componenten:

A	Bovensnaarwiel
B	Vlotterstang
C	Snaar
D	Electronica print
E	Binnentrechter
F	Spanveer
G	Potentiometer met snaarwiel
H	Meetvat
I	Ruimteverwarming



Figuur 5

Mechanische drift wordt veroorzaakt door verschillen in uitzettingscoëfficiënt van de bepalende materialen. Daarbij spelen de volgende componenten en materialen een rol.

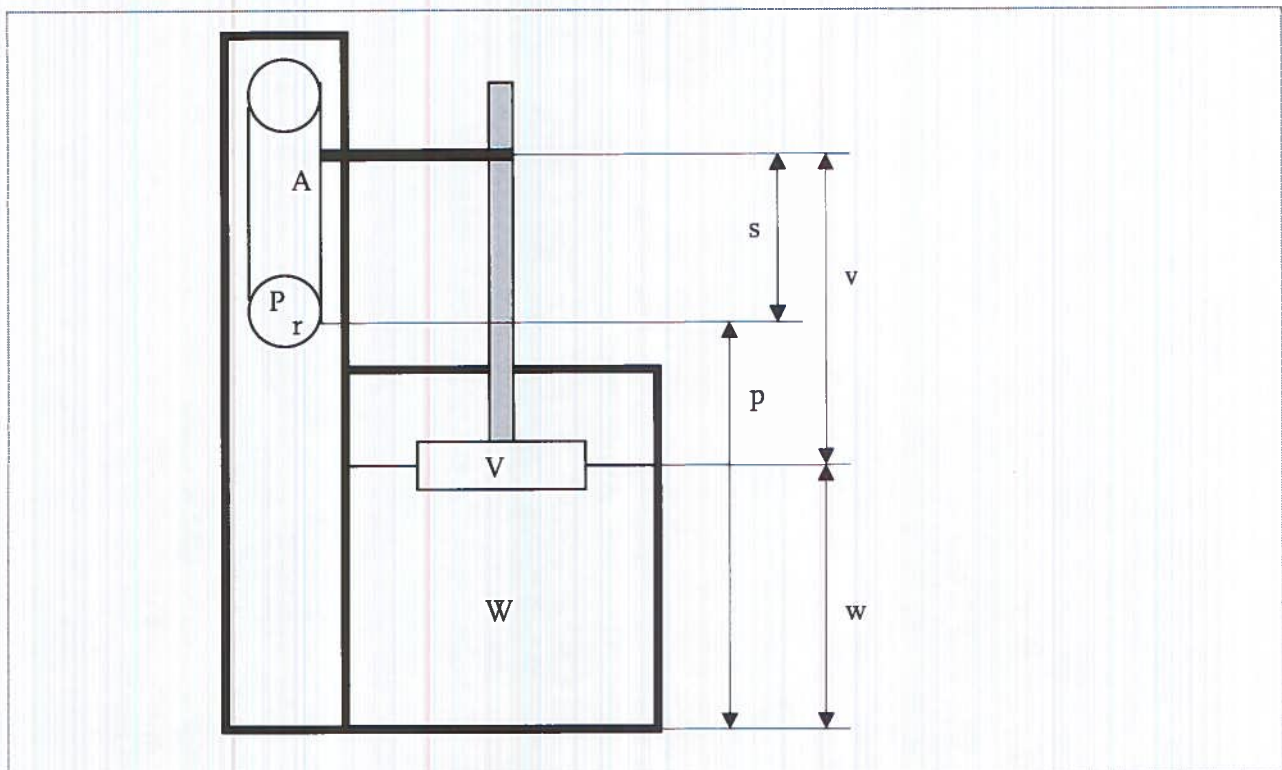
1. De constructie is van aluminium. De lineaire uitzettingscoëfficiënt λ_a is 24 ppm/K. Aluminium is toegepast voor het meetvat en de constructie van de snaaraandrijving van de potentiometer.
2. Het water in het vat zet niet in dezelfde mate uit als het vat zelf. De kubieke uitzettingscoëfficiënt γ van water is 210 ppm/K. De verandering van de waterhoogte wordt

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

mede bepaald door de toename van het oppervlak van het vat. De uitzettingscoëfficiënt van het oppervlak van het aluminium vat is ruwweg een factor 2 hoger dan de lineaire, dus $\lambda_A = 48$ ppm/K. Het verschil van 162 ppm moet volledig door de hoogte van het water worden gecompenseerd, in lengte en breedte kan het water niet verder uitzetten dan het vat. De *relatieve* uitzettingscoëfficiënt van het water is dus 162 ppm/K.

3. De vlotterstang die de snaar aandrijft is van roestvast staal (RVS). RVS heeft een geringe uitzetting (10 ppm/K).
4. De snaar is van aramide. Aramide is een kunstvezel die door AKZO is uitgevonden (bij de inmiddels opgedoekte dochter ENKA). AKZO heeft de kunstvezeldivisie verkocht aan het Japanse bedrijf Teijin, die de vezel op de markt brengt onder de naam Twaron. De gegevens van de vezel zijn lastig te achterhalen. Op internet vinden we uiteenlopende coëfficiënten van -2 tot +35 ppm/K. Bij WIS zijn er over de gebruikte vezel ook geen gegevens meer te achterhalen. Er is nog een hele klos in voorraad, maar noch op de klos noch op de koker waarin die is ondergebracht staan typenummers of andere gegevens. Bij de berekeningen is uitgegaan van 3 ppm/K.
5. Het snaarwiel op de potentiometer is van aluminium. De temperatuurcoëfficiënt is $\lambda = 24$ ppm/K.

Onderstaande tekening maakt duidelijk welke maten daarbij een rol spelen.



Figuur 6

In het vat W bevindt zich een hoeveelheid water met een hoogte w . Daarop drijft de vlotter V. Op de vlotter bevindt zich een RVS-stang met een lengte v , die bij punt A aan de snaar is bevestigd. De bepalende lengte van de snaar is s .

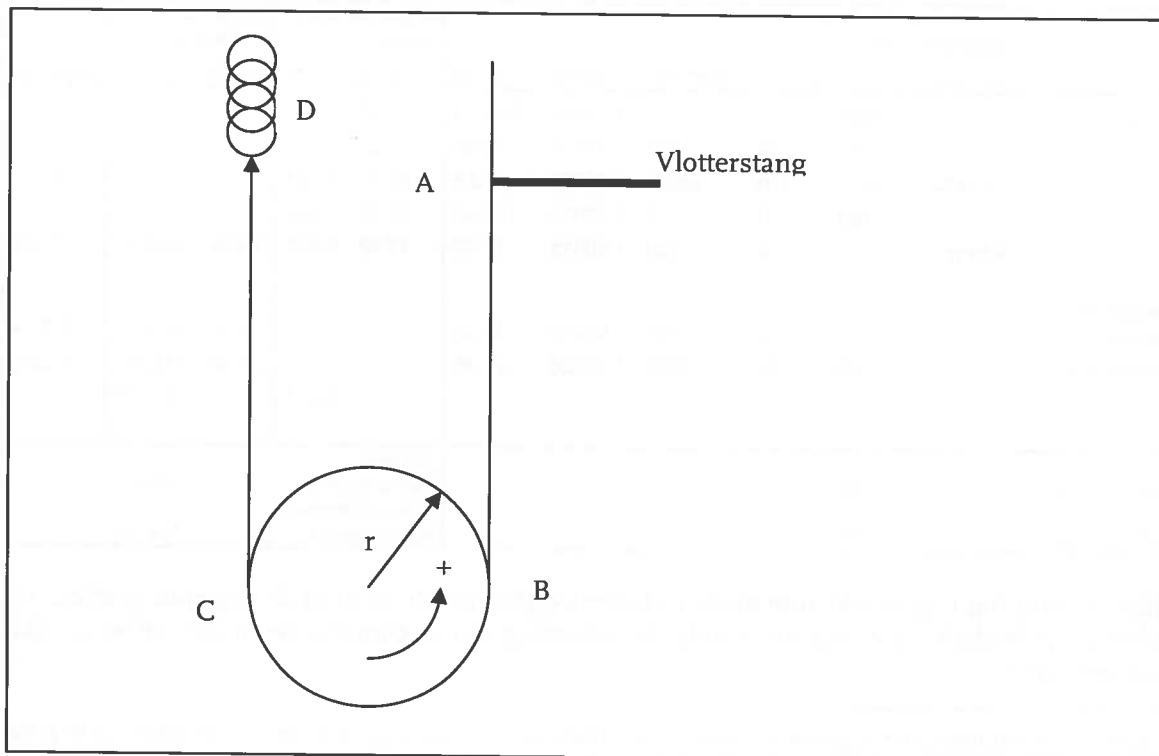
De snaar drijft het snaarwiel P op de potentiometer aan. De straal van het snaarwiel is r . De potentiometer bevindt zich op een hoogte p , en zit vast aan de aluminium constructie. De snaar wordt met een veer (niet in de tekening) gespannen. Alle lengtevariëaties worden door de veer opgevangen. De aramide snaar zelf is zeer lengtevast.

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

De drift is berekend voor een bereik van 20..70°C, representatief voor de dagelijkse gang op warme dagen. De bijdrage van de uitzetting van de verschillende componenten is in onderstaande tabel samengevat.

	component	ppm/K	pos/neg	toelichting
v	vlotterstang	10	+	RVS heeft een geringe uitzetting.
s	snaarlengte	3	-	Een uitzettende snaar veroorzaakt een negatieve draaiing van de potmeter (met de klok mee), en dus een schijnbaar lager vlotterniveau. De uitzetting van Aramide is niet goed bekend. In de literatuur vinden we veelal een verwaarloosbare uitzetting, maar ook wel grotere getallen voor folie. In de meeste gevallen worden voor vezels echter getallen genoemd van slechts enkele ppm/K, zodat we er vanuit kunnen gaan dat de uitzetting gering is. In de berekeningen is uitgegaan van 3 ppm/K.
r	snaarwioldiameter	24	+	Een uitzettend snaarwiel veroorzaakt een positieve draaiing van de potmeter.
w	waterhoogte	162	+	Uitzettend water veroorzaakt een stijging van de vlotter. Het water zet meer uit dan het oppervlak van het vat, de relatieve temperatuurcoëfficiënt is dus positief.
p	potmeterhoogte	24	-	Uitzettend aluminium veroorzaakt een stijging van de potmeterhoogte, en dus een schijnbaar lager vlotterniveau.

De invloed van het snaarwiel is als volgt te berekenen. De snaar grijpt aan over de halve omtrek B-C. Omdat de snaar A-B niet in lengte verandert, blijft het aangrijpingspunt B op het snaarwiel onder de vlotterstang ongewijzigd.



Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

Figuur 7

Als het snaarwiel krimpt, blijft punt B van de snaar op zijn plaats, maar punt C wordt door de veer D naar boven getrokken. De lengteverandering van BC wordt dus voor de helft omgezet in draaiing van het snaarwiel, onder aanname van een constante wrijvingscoëfficiënt over de omtrek van het snaarwiel. Omdat de snaar aangrijpt over de helft van het snaarwiel, is de totale invloed:

$$\Delta = 0.25 * \lambda_a * \Delta T \quad (1)$$

Hierin is Δ de relatieve invloed t.o.v. de volle schaal van 360° , λ_a is de lineaire uitzettingscoëfficiënt van het aluminium snaarwiel, en ΔT is de temperatuurstijging.

De volle schaal van 360° komt overeen met een vlotterstijging van 80 mm en een neerslagsom van 11 mm. De relatie tussen lengteverschillen (waterhoogte etc) en neerslagsom is daarom

$$NS = l * 11.0 / (2\pi * r) \quad (2)$$

Drift t.g.v. uitzetting van aluminium is niet afhankelijk is van de vlotterhoogte, maar die van het water wel. De absolute vlotterhoogte ten opzichte van bodem vat varieert van 10 naar 90 mm. De bodem heeft een ingewikkelde vorm, en bevat ook het water in de horizontale verbindingen naar het opvangvat en de klep. De klep is van messing, de uitzettingscoëfficiënt daarvan is in dezelfde orde als die van aluminium ($\lambda_m = 19$ ppm). Daarom is gerekend met een fictieve bodemhoogte die deze bijdragen zo goed mogelijk benadert.⁹ Bij de laagste stand van de vlotter (0 mm) rekenen we daarom met een vlotterhoogte van 10 mm.

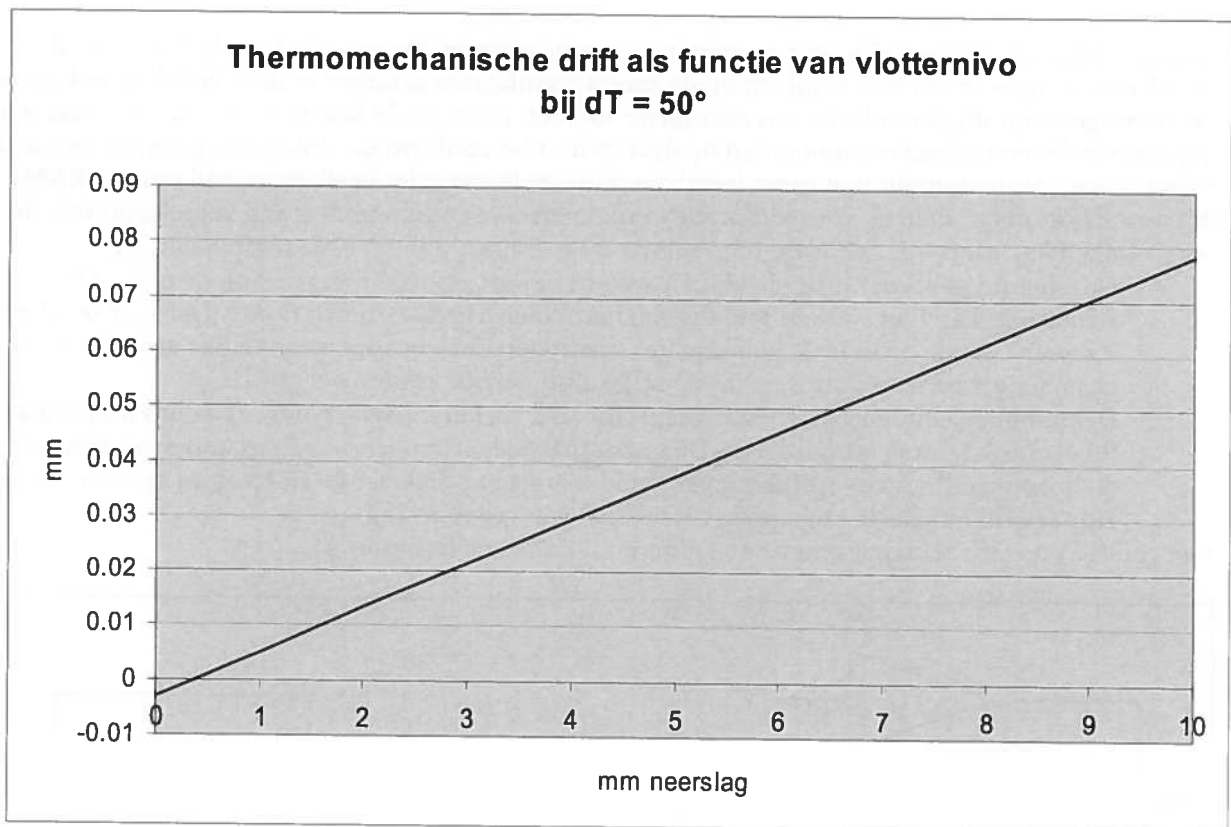
In onderstaande tabel zijn de bijdragen in kaart gebracht van de verschillende componenten, gerekend met een temperatuurstijging van 50° , voor een vlotterhoogte corresponderend met een vol vat (90 mm, overeenkomend met 10 mm neerslag). Alle maten zijn in mm. De grootte TO is het trechteroppervlak in mm^2 .

	Nominale maat					bepalend voor water		bepalend voor snaarwiel		bijdrage
	bij t=20	ppm/K	ppm 50°	factor	t= 20	t=70	delta	t=70	delta	
oppervlak vat	5027	48	2400	1.00240	5026.55	5038.61				
p	172	24	1200	1.00120	172.00	172.21	0.206			-33.9%
w	10+NS*TO/opp	210	10500	1.01050	89.58	90.30	0.724			119.0%
v	160	0	0	1.00000	160.00	160.08	0.080			13.1%
s	w+v-p	3	150	1.00015	77.58	77.58	0.597	78.19	-0.0117	-1.9%
snaarlengte op het snaarwiel		3	150	1.00015	21.36			21.37	-0.0032	-0.53%
straal snaarwiel	13.6	24	1200	1.00120	21.36			21.39	0.0256	4.22%
						0.517			0.0107	
delta temperatuur	50					Virtuele vlotterstijging		0.6081		
NS (mm neerslag)	10					Overeenkomende neerslagsom		0.0783		

Dezelfde berekening is gemaakt voor andere vlotterhoogtes, resulterend in de volgende grafiek. Bij lage vlotterhoogte is de drift nagenoeg nul, omdat de uitzetting van de constructie en die van water elkaar dan compenseren.

⁹ De bijdrage van het restwater is gemeten door na een reset van de neerslagmeter het restwater er uit te gieten en te wegen. Het restwater is ca 50 cc, dat is 1/8 van het meetvolume van 400 cc.

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift



Figuur 8

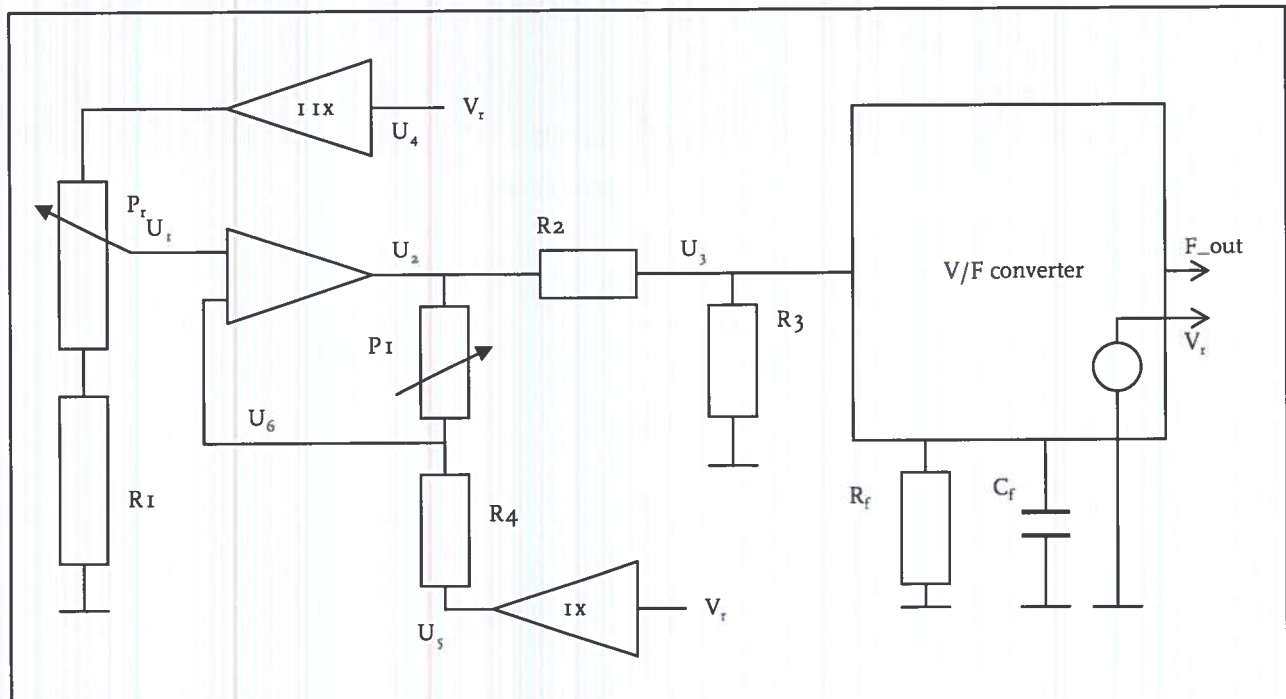
Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

Thermo-electrische drift

Ook de elektronica is gevoelig voor temperatuurveranderingen. De temperatuurdriфт is voor alle bepalende componenten berekend, en op de meest significante plaatsen in de schakeling ook gemeten. De metingen zijn uitgevoerd aan één exemplaar van een print uit de laatste serie. Daarbij moet worden opgemerkt dat een aantal componenten op deze print niet conform de stuklijst is geleverd, omdat de (verouderde) componenten niet meer leverbaar zijn. De leverancier heeft verzuimd om het KNMI daarvan in kennis te stellen. De specificaties van de nieuwe componenten zijn vergeleken met de oorspronkelijke, waarbij is gebleken dat ze goed vergelijkbaar zijn op twee onderdelen na:

- De silicium gelijkrichtbrug heeft een andere pinout, en past niet goed op de print. De schakeling kan niet werken met deze gelijkrichter. De elektronica raakte daardoor beschadigd. Van een tweede print is de gelijkrichter vervangen door het oorspronkelijke exemplaar. Ook die paste niet goed op de print, maar de schakeling werkte verder wel goed.
- De ontkoppelcondensatoren zijn gespecificeerd als keramische types, maar er zijn (duurdere) foliecondensatoren gemonteerd. De ontkoppeleigenschappen van foliecondensatoren zijn door de hogere zelfinductie minder goed. Omdat er geen schakelende elektronica op deze print zit zijn de ontkoppeleigenschappen echter niet van groot belang.

Het vereenvoudigde prinseschema staat hieronder afgebeeld (figuur 2).



Figuur 9

In het schema is de verwarmingsregeling niet opgenomen. De werking van de schakeling is als volgt. De gemeten loperspanning van de meetpotentiometer P_r (U_1) wordt op een geschikt signaalniveau gebracht, en aangeboden aan een voltage-to-frequency converter. Om van de ingangsrang van de V/F converter maximaal gebruik te kunnen maken is er een voorschakelweerstand R_1 aangebracht, zodat de looper over de hele rotatie in het meetbereik valt. Alle spanningen worden ook om die reden een Volt opgetild. Die spanning wordt betrokken van de in de converter opgenomen referentiespanning V_r . V_r wordt ook gebruikt om de potentiometer te voeden, en wordt daarvoor $1 \times$ versterkt. Het looperbereik is daarmee ingesteld op ongeveer $0.5 \dots 1.0$ Volt.

De kritische componenten in de schakeling zijn

- de versterkers, die alle in één chip zijn ondergebracht;
- de V/F converter;

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

- de daarin aanwezige referentiespanning V_r ;
- de integratie condensator C_i ;
- de meetpotentiometer P_r ;
- de trimpotentiometer P_t ;
- in de schakeling aangebrachte ontkoppel elco's van het tantaal type, die bij hogere temperaturen lekstromen kunnen veroorzaken.

De temperatuureffecten zijn berekend en bij laboratoriumexperimenten ook gemeten. Voor een berekening van de thermoeffecten is gerekend met een maximumtemperatuur van 70° . Bekend is dat de RVS-bus erg heet kan worden bij een lage zonnestand. De dissipatie van de elektronica is ook niet te verwaarlozen.

Component	Berekening	Bijdrage bij 70° (in μm) nominaal/maximaal
tantaal condensatoren	Van de tantaalcondensatoren zijn geen specificaties bekend, omdat het type niet in de stuklijst is gespecificeerd. De leverancier levert dus condensatoren van een willekeurig merk en type. Bij standaard Ta-C's wordt de lekstroom I_l gespecificeerd bij een nominale temperatuur van 20° . Bij hogere temperaturen is de lek hoger. Voor natte elektrolyten rekent men met $2x I_l$ bij 50° en $3x$ bij 70° . Voor droge elektrolyten is de lek bij 50° drie maal zo groot, bij 70° zelfs zeven keer. Rekenen we met dit laatste worst case getal, dan is de lek $12 \mu\text{A}$. Omdat de filterweerstand in de orde van $10 \text{ k}\Omega$ zijn, levert dit een offset op van ongeveer 60 mV op een range van 5 Volt (bij 70°). Merk op dat de lekstroom van Ta-C's zeer variabel is, de werkelijke lekstroom kan wel een factor 100 kleiner zijn dan de worst-case lekstroom. De werkelijke drift kan dus veel lager zijn dan hier berekend.	2/120
meetpotentiometer	De thermische drift van de meetpotentiometer is niet gespecificeerd. Alleen de differentiële T_c wordt gegeven (5 ppm/K). Omdat er in het meetcircuit ook nog een voorschakelweerstand zit, speelt het verschil in T_c tussen de potentiometer en de weerstand echter ook een rol. De T_c van de potmeter is daarom gemeten in de klimaatkast ¹⁰ , en bedraagt 90 ppm/K . Die van de weerstand is 50 ppm . Door dit verschil verschuift het nulpunt bij hogere temperaturen. De worstcase conditie ontstaat bij een laag waterniveau en een lage potmeterwaarde. De tolerantie van de 5 k potmeter is 20% , en is dus worst case 4 k .	0/2

¹⁰ Er is gemeten aan één potentiometer van het nieuwe type. De nominale waarde is $5 \text{ k}\Omega$, de werkelijke waarde is 4609Ω bij kamertemperatuur (21°). Bij -10° is de waarde 4636Ω , bij $+40^\circ$ is de waarde 4601Ω .

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

versterkers	De gebruikte opamp is een viervoudige LM324, met een offsetdrift die is gespecificeerd op $7..30 \mu\text{V}/\text{K}$. Bij 70° is dat maximaal 1.5 mV , nominaal 0.5 mV . De input current drift is $0.01-0.3 \text{ nA}$. Bij 70° over $10 \text{ k}\Omega$ geeft dat $5..150 \text{ mV}$.	5/150
	De potmeterspanning komt uit een 11x versterker, de ingangsweerstand is ongeveer $1 \text{ k}\Omega$. De inputcurrent drift geeft een offset van $0.5..15 \text{ mV}$. Op de uitgang is dat bij een gain van 11 respectievelijk $5..165 \text{ mV}$	5/165
	De bufferversterker voor de 1 Volt referentie versterkt 1x, de ingangsweerstand is nagenoeg nul. De offsetdrift is hier verwaarloosbaar.	0/0
trimpotmeter	De trimpotmeter (fabricaat Contelec) heeft een TC van $100 \text{ ppm}/\text{K}$, terwijl de companionweerstand een metaalweerstand is met een TC van 50 ppm . De gain van die versterker is in de orde van 1, de offsetdrift is verwaarloosbaar.	0/0
V/F converter	De drift van de converter wordt vooral bepaald door de integratorcomponenten R_f en C_f , maar de converter zelf veroorzaakt ook drift. De drift van de input offset is $5 \mu\text{V}/\text{K}$, op een range van 5 Volt. Dat is 1 ppm, en dus verwaarloosbaar. De drift van de convertercomparator is voor het gebruikte type AD537JD maximaal 150 ppm . De drift van de referentiespanning is 50 ppm , maar die wordt gecompenseerd doordat dezelfde referentie wordt gebruikt voor de potentiometerspanning.	25/75
R_f	De weerstand en condensator zijn rechte reeks bepalend voor de outputfrequentie. De TC van R_f is $50 \text{ ppm}/\text{K}$, dat is bij 70° en 10 kHz een offset van 25 Hz . Eén Hz komt overeen met $1 \mu\text{m}$ neerslag.	10/25
C_f	De integratiecapaciteit is een speciaal geselecteerd polystyreen type. De TC van condensatoren is berucht slecht, standaardtypes hebben binnen het klimatologisch bereik vaak een drift van 50%. Deze condensator is gespecificeerd op $-60..+180 \text{ ppm}/\text{K}$, en het kan dus alle kanten op gaan.	30/+90 30/-30

De totale theoretische drift in μm neerslag bij 70° laat zich samenvatten als:

minimaal	35
nominaal ¹¹	41
worst case ¹²	280

De te verwachten drift zal in het algemeen hoger zijn dan de nominale, omdat de worst case getallen veel groter zijn dan de nominale. Het is niet te verwachten dat alle componenten zich nominaal zullen gedragen.

¹¹ Wortel uit de som van de kwadraten nominaal.

¹² Wortel uit de som van de kwadraten worst case. Het absolute worst case maximum (som van de worst case drift) is $627 \mu\text{m}$.

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

Gemeten thermo-electrische drift

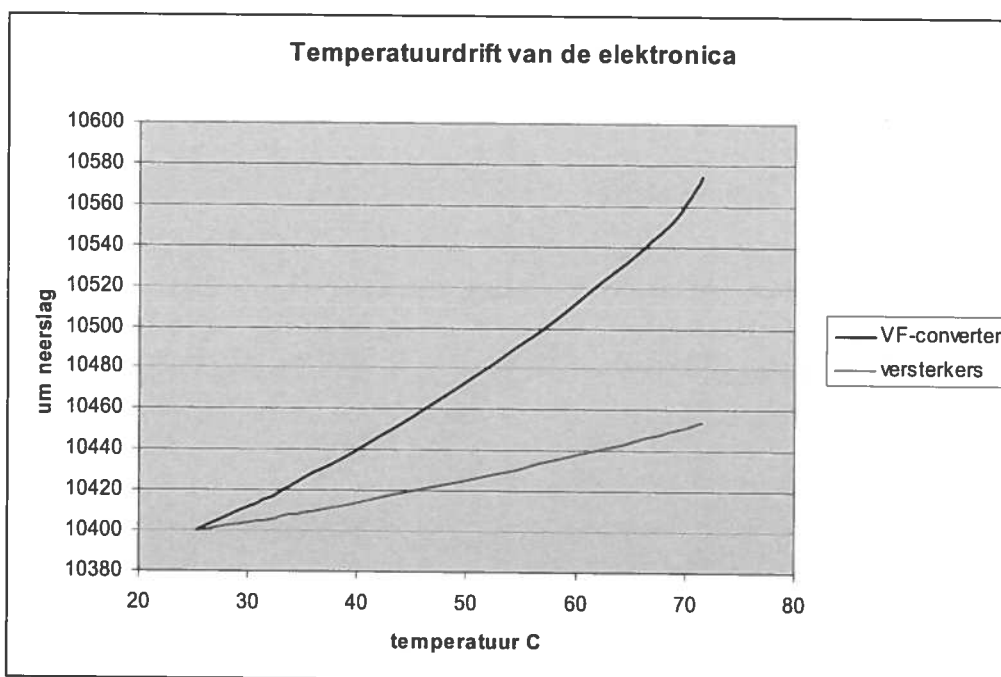
In het laboratorium zijn metingen gedaan aan één enkele neerslagmeterprint uit de laatste batch (2007). De print werd ondergedompeld in een geroerd Dewar vat met wasbenzine, dat werd verwarmd met een verwarmingsspiraal. Wasbenzine is een goede isolator. Door in een vloeistof te meten worden temperatuurgradiënten voorkomen. Om dezelfde reden is niet gemeten tijdens verwarming, maar uitsluitend bij afkoeling.

De spanningen en frequenties werden bij verschillende temperaturen gemeten. Alle spanningen zijn gemeten t.o.v. referentiepunt TP2.

Onderstaande tabel¹³ geeft de meetresultaten weer.

Ta	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄ = U _{ref}	U ₅	U ₆	F _{out}
62.0	9.3725	10.0332	5.0081	1.02400	1.02699	9.3762	10564.7
55.2	9.3664	10.0256	5.0046	1.02362	1.02380	9.3701	10500.6
30.8	9.3468	10.0014	4.9932	1.02239	1.02436	9.3496	10424.1

In onderstaande grafiek is de bijdrage van de V/F-converter en de rest van de elektronica afzonderlijk in beeld gebracht bij een nagenoeg vol vat.



Figuur 10

¹³ De symbolen verwijzen naar het prinsipschema in figuur 9.

Bijlage 1: Bepaling van de thermische drift

Hieruit kan de drift van de verschillende stappen worden berekend. De drift van de gehele print bedraagt 0.134 mm neerslag. Uit de metingen kon de volgende tabel worden herleid. Daarin is de bijdrage van de verschillende componenten¹⁴ berekend.

Component	PM1					C6
	IC1_7	IC1_1	C5	IC_2	IC_8	R4 VFC
ppm/K	27.8	9.4	-4.6	35.1	23.0	339.5
bijdrage in mm neerslag:	11.1	3.8	-1.8	14.1	9.2	136.0

Merk op dat de som van de verschillende bijdragen groter is dan de totale gemeten drift. Dat wordt veroorzaakt doordat de meetpotentiometer wordt gevoed met de referentiespanning. De drift van de referentie wordt daarom gecompenseerd door de drift van de ingangsspanning.

Het is duidelijk dat de V/F-converter (TC = 150 ppm/K) met zijn instabiele referentiecondensator C6 (TC = 180 ppm/K) veruit de grootste bijdrage levert aan de drift.

¹⁴ De componentaanduiding is overgenomen van het schema van de neerslagmeter documentatie "Elektronica neerslagmeter, Print 0200-102 KNMI 191D/E", nr 0250-102.

Nauwkeurigheid van de terugslagcompensatie.**BIJLAGE 2**

Bij de ontwikkeling van de DR2-SIAM is onderzoek gedaan naar de nauwkeurigheid van de terugslagcompensatie. Daarvoor zijn de data van de neerslagmeter van station 261 geanalyseerd. In de DR2-siam op station 261 wordt de terugslag in de status aangegeven met een karakter "y". In dat onderzoek is gekeken of de data tijdens de omslag passen binnen het patroon van de neerslag voor en na de omslag, hetgeen het geval was.

De resultaten van de analyse zijn vastgelegd in rapport "Test omslagpunten DR2-SIAM neerslag" (Bijma 2006, Testrapport JB0707/111).

In het kader van de OPETON-studie zijn aanvullende vergelijkingen gedaan. Omdat de neerslagmeter van station 260 op een ander moment is gestart, vindt de terugslag daar ook op een heel ander moment plaats. Tijdens de terugslag van 261 meet de SIAM van 260 correct door, en zou dus een goede referentie moeten zijn. In de onderzoeksperiode zijn de MUF-data van 260 en 261 ingezameld. Door netwerkonderbrekingen is de inzameling echter regelmatig onderbroken geweest, waardoor maar een beperkt aantal vergelijkingen gedaan kon worden.

Daarom is gebruik gemaakt van de standaard 10-minuut gegevens van beide sensoren, op het moment van de omslag. De omslagmomenten konden uit de MUF-registraties van station 261 goed worden gereproduceerd.

In onderstaande tabel zijn de omslagmomenten opgenomen. In de tabel staat achtereenvolgens de kunstmatige samplewaarde tijdens omslag (en de totale bijdrage van de kunstmatige samples), het 10-minuten gemiddelde vlak voor de omslag, tijdens de omslag en vlak na de omslag. De data van station 260 zijn ter referentie in de grijze kolommen zichtbaar.

Omslag	"y"- sample- waarde	totale bijdrage van de y-samples	261 -10'	260 -10'	261	260	261 +10'	260 +10'
datum-tijd	$\mu\text{m}/\text{uur}$	μm	$\mu\text{m}/\text{uur}$	$\mu\text{m}/\text{uur}$	$\mu\text{m}/\text{uur}$	$\mu\text{m}/\text{uur}$	$\mu\text{m}/\text{uur}$	$\mu\text{m}/\text{uur}$
21-3 13:58	3900	39.0	2830	2610	2760	1320	1900	1200
24-3 13:52	2040	31.2	3400	1220	1070	504	480	372
16-5 08:41	5160	45.4	4130	3590	3380	2040	2040	1340
26-5 09:34	1200	25.0	252	1330	1250	1120	942	210
02-6 21:43	20200	418.3	18200	19600	3010	17000	17700	3100

Helaas blijkt uit de tabel dat er geen conclusies aan de registraties kunnen worden verbonden. Ook in perioden zonder omslag is er zoveel verschil tussen de registraties van beide neerslagmeters, dat er geen uitspraken kunnen worden gedaan over de mogelijke verschillen ten gevolge van een omslag. In bijna alle gevallen is in de omslagperiode het gemiddelde van 261 hoger dan van 260, maar het verschil is groter dan de totale bijdrage van de kunstmatige samples. Zelfs als die nul zouden zijn zou er nog een verschil zijn, en de kunstmatige samples kunnen het verschil dus niet verklaren.

De enige manier om de kwaliteit van de omslagcompensatie te toetsen is een plausibiteitstest, zoals die is gedaan in het eerste onderzoek. Daaruit bleek dat de omslagcompensatie in het algemeen een plausibel resultaat geeft. Bij laboratorium testen blijkt de omslagcompensatie zeer nauwkeurig, maar daar wordt uitsluitend getest met constante neerslagintensiteit.



