



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Bepaling van het effect van een stralingsafscherming op de meting van luchttemperatuur

Ontwerp veldopstelling en eerste meetresultaten

N. Proksch

De Bilt, 2013 | Stageverslag



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Bepaling van het effect van een stralingsafscherming op de meting van luchttemperatuur

Ontwerp veldopstelling en eerste meetresultaten

Collegejaar 2012-2013
Stageperiode 3/4
Eindverslag
Inleverdatum: 12-07-2013

Nicolai Proksch

Stagebegeleiders:	J.R. Bijma M.J. de Haij
Stagecoach:	C.A. Swarts

Samenvatting

Het project ONATIS¹ wordt uitgevoerd om de artefacten die kunnen optreden bij luchttemperatuurmetingen in de KNMI stralingsafscherming ("temperatuurhut") te kwantificeren. Na een stage van 22 weken is er een veldopstelling ontworpen, die op het testveld in De Bilt gerealiseerd is. Daarnaast is er binnen gemeten aan twee temperatuurhutten: de Eigenbrodt LAM 630 in gebruik bij DWD² en een prototype geventileerde KNMI hut. Voor beide hutten is o.a. de luchtstroming in en rond de hut gekarakteriseerd. Rond de temperatuursensor heerst in de DWD hut tenminste een luchtstroming van $0,24 \pm 0,02$ m/s tegenover $0,50 \pm 0,01$ m/s in de KNMI geventileerde hut. Naast deze flow experimenten is een labexperimenten uitgevoerd om de responstijd van de KNMI hut te bepalen in de windtunnel. Hieruit is gebleken dat er geen eenduidige tijdconstante te bepalen is. Meetgegevens van de veldopstelling komen vanaf 01/07/2013 binnen. Een eerste analyse van deze gegevens toont aan dat de metingen geschikt lijken voor het bestuderen van de artefacten die optreden onder de diverse weercondities.

Abstract

The ONATIS project is aimed to quantify the artefacts of air temperature measurements in the KNMI radiation screens. After an internship 22 weeks the field-set up for this experiment has been designed and realized at the test field in De Bilt. Indoor measurements have been performed on two temperature screens: the Eigenbrodt LAM 630 used by DWD and a prototype of the ventilated KNMI screen. For both screens the air flow has been measured, in particular around the sensors. In the DWD screen there is a flow of at least $0,24 \pm 0,02$ m/s against $0,50 \pm 0,01$ m/s in the KNMI ventilated screen. Beside these flow experiments also a experiment was conducted to determine the response time during cooling down of the KNMI screen in the wind tunnel. Unfortunately no unambiguous response time could be determined from this experiment. Measurements from the realized field-set up are available from 01/07/2013. A first analysis indicates that the data is suitable to study the artefacts that occur under different weather conditions.

¹ Onderzoek Naar Artefacten bij Temperatuurmeting In Stralingsafschermingen

² Deutscher Wetter Dienst

Inhoudsopgave

Abstract	2
Inleiding	4
Hoofdstuk 1: De theorie achter de artefacten	5
§1.1 Gebruik van sensoren	5
§1.1.1 Thermistor (NTC)	5
§1.1.2 Pt500 sensor	6
§1.1.3 Sonische Anemometer	6
§1.2 Stralingsafschermingen	7
§1.2.1 KNMI standaard hut	8
§1.2.2 DWD hut	9
§1.2.3 Psychrometer opstelling	9
§1.3 Straling	10
§1.3.1 Globale straling	11
§1.3.2 Bodemstraling	12
§1.3.3 Albedo	12
§1.4 Microklimaat effecten	13
§1.5 Invloeden omgeving	13
§1.5.1 Bebouwing	13
§1.5.2 Vegetatie	14
§1.6 Natte bol effect	15
§1.7 Gradiënten	15
Hoofdstuk 2: Veldopstelling	17
§2.1 KNMI standaard hut	18
§2.2 KNMI geventileerde hut	18
§2.3 Sonische anemometer	20
§2.4 Temperatuursensor zonder stralingafscherming	20
§2.5 Cabauw psychro-opstelling	20
§2.6 DWD opstelling	21
§2.7 FLIR E40 (warmtebeeldcamera)	21
§2.8 Schultze / CM5 stralingmeters	21
§2.9 Overige metingen	21
Hoofdstuk 3: Laboratoriumonderzoeken	22
§3.1 IJking thermistoren	22
§3.2 Luchtstroming hutten	24
§3.2.1 DWD hut	24
§3.2.2 KNMI geventileerde hut	28
§3.2.3 KNMI geventileerde hut, krachtige pomp	30
§3.2.4 KNMI geventileerde hut, psychrometerpomp	33
§3.3 Blokkeringfactor stralingsafschermingen	35
§3.4 Responsie KNMI hut	38
Hoofdstuk 4: Data inzameling	45
§4.1 MUF2CSV LabVIEW programma	46
Hoofdstuk 5: Eerste meetgegevens	49
Hoofdstuk 6: Conclusie	54
Hoofdstuk 7: Literatuurlijst	55
Bijlage A Vereiste waarneemfrequentie	56
Bijlage B Functies TN'ers bij KNMI en omzet realisatie	57
Bijlage C SIAM specificatie	58
Bijlage D MUF2CSV specificatie	59

Inleiding

Tijdens de 2^e semester in jaar 3 van de studie Technische Natuurkunde wordt de student geacht om 22 weken bij een bedrijf stage te lopen. Het bedrijf waar ik mijn stage gelopen heb, is het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) in De Bilt. Tijdens de stage ben ik bezig geweest met de eerste fase van het project ONATIS. Dat staat voor "*Onderzoek Naar Artefacten bij Temperatuurmetingen In Stralingsafschermingen*". Het probleem bij het KNMI, maar ook wereldwijd, is dat in hun stralingsafschermingen - ook wel hutjes genoemd - verschillen ontstaan tussen de gemeten temperatuur en de temperatuur van de lucht in de omgeving.

Dit gebeurt vooral in extreme omstandigheden zoals de combinatie van veel zonnestraling en weinig wind. In dat geval, zal de temperatuur van de hut oplopen. Hierdoor zal er een afwijking ontstaan in de gemeten temperatuur ten opzichte van de temperatuur buiten de hut. Naast stralingseffecten zijn verdere invloeden op de meting van temperatuur in een hutje:

- Omgeving (bebouwing, vegetatie, bodemsoort, etc.)
- Nattebol effect (waterdruppels op de sensor en de stralingsafscherming zorgen voor afkoeling).
- Microklimaatteffect (bv. wanneer de stralingsafscherming is dichtgesneeuwd).
- Gradiënten (beschrijft hoe sterk en in welke richting de temperatuur het snelst verandert. Dit gebeurt vooral in nachten met een stabiele atmosferopbouw).
- Warmteopslag (de stralingsafscherming veroorzaakt naijlen op transiënten).

Het doel van deze stageopdracht is om bij te dragen aan de ontwikkeling van een meetopstelling om de invloed van deze effecten op de temperatuurmeting in en rond de KNMI schotelhut te kunnen kwantificeren. Na de opdracht moet duidelijk zijn of een kwantitatieve analyse van de artefacten met deze meetopstelling mogelijk is. Het beoogde onderzoek *zelf* zal niet binnen de stage worden uitgevoerd, vanwege de complexiteit en benodigde doorlooptijd van tenminste vier seizoenen. Tegelijk met de stage-opdracht wordt daarvoor een intern onderzoek gestart.

De volgende onderwerpen worden in dit verslag besproken:

- Theorie van de verschillende artefacten en de gebruikte sensoren
- Veldopstelling
- Labexperimenten
- Data inwinning
- Eerste meetresultaten
- Conclusie

Een paar getallen:

Tijdens deze testen worden er 5 Pt500 elementen gebruikt en 18 thermistoren. Samen met de virtuele temperatuur van de sonische anemometer en de temperatuur van de warmtebeeldcamera, worden er met de veldopstelling 25 temperaturen gemeten. Er komen elke 12 seconde 7 SIAM berichten binnen, oftewel meer dan 50000 berichten met data per dag. Dit komt neer op 216000 afzonderlijke metingen per dag, of terwijl 78 miljoen metingen per jaar. Daarnaast staan er 4 verschillende stralingsafschermingen op de opstelling en houden 3 camera's toezicht op de opstelling.

Hoofdstuk 1: De theorie

Vanuit de WMO³ zijn er eisen gesteld aan het meten van de luchttemperatuur. Die eisen zijn o.a. dat er op een hoogte tussen 125 cm en 200 cm gemeten wordt, over een bereik van -60°C tot +60°C. Omdat de kans klein is dat in Nederland temperaturen voorkomen onder de -30°C of boven +40°C is het meetbereik voor de 1.5m luchttemperatuur op de KNMI meetstations begrensd op die waarden. De vereiste nauwkeurigheid in de gemeten luchttemperatuur bedraagt $\pm 0,1^\circ\text{C}$. De extremen dienen aan dezelfde eisen te voldoen: vereiste nauwkeurigheid van $\pm 0,1^\circ\text{C}$, ofschoon WMO voorschriften een onzekerheid van $\pm 0,5^\circ\text{C}$ toestaan(1).

§ 1.1 Meteorologische sensoren

Tijdens het project ONATIS wordt gebruik gemaakt van een aantal sensoren voor het meten van de luchttemperatuur, de temperatuur van de lamellen, de windsnelheid en virtuele temperatuur. De volgende sensoren worden gebruikt:

- Thermistor (NTC)
- Pt500 sensor
- Sonische anemometer

§1.1.1 Thermistor (NTC)

Een thermistor, zie figuur 1 is een temperatuur gevoelige component, die is gemaakt van een halfgeleider. Door deze halfgeleider geeft een klein temperatuurverschil een groot verschil in weerstand van de component. Gebruikelijk voor een thermistor is dat ze negatieve temperatuur coëfficiënten hebben, hierdoor zal de weerstand van de thermistor dalen als de temperatuur stijgt.



Het voordeel van een thermistor is, dat deze relatief nauwkeurig kan meten. Bij een temperatuur van $25,0^\circ\text{C}$ is de nauwkeurigheid $\pm 0,12^\circ\text{C}$. Een ander voordeel is dat de thermistor erg compact is. Hierdoor kan de thermistor op elk gewenste plek geplaatst worden(2).

Figuur 1: De thermistor

Een thermistor heeft een niet-lineaire weerstand-temperatuur (R - T) karakteristiek. De niet-lineaire karakteristiek wordt erg nauwkeurig gemodelleerd door de Steinhart-Hart vergelijking. Deze vergelijking is in 1968 vastgelegd door Steinhart en Hart en geeft een model voor een thermistor in zijn R - T karakteristiek. Vandaag de dag is dit de meest gebruikte vergelijking van een R - T karakteristiek van een thermistor te modelleren. De vergelijking van *Steinhart-Hart* is:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C \ln^3(R) \quad [1]$$

Waarin T de absolute temperatuur is in Kelvin en R is de gemeten weerstandwaarde in ohms. De termen A [K^{-1}], B [$\Omega^{-1}\text{K}^{-1}$] en C [$\Omega^{-3}\text{K}^{-1}$] zijn de Steinhart-Hart constanten voor de thermistor(3).

De thermistor die gebruikt wordt in de veldopstelling is van de firma B+B Thermo-Technik, Donaueschingen (Duitsland). De thermistor is van het type TS-NTC-103A en heeft als specificaties dat de weerstand bij 25°C $10,0\text{k}\Omega \pm 0,5\%$ is. Verder heeft de thermistor een bereik van -60 tot $+150^\circ\text{C}$.

³ World Meteorological Organization (zie www.wmo.int)

§1.1.2 Pt500 sensor

De Pt500 sensor, zie figuur 2 is op het KNMI de standaard sensor die gebruikt wordt om de luchttemperatuur te meten. Het verschil tussen een Pt500 sensor en een thermistor is dat in de Pt500 sensor geen halfgeleider zit, maar platina. De weerstand die wordt gemeten is de elektrische weerstand van het metaal. De weerstand ontstaat doordat de elektrische geleiding in het metaal wordt veroorzaakt door de elektronen die vrij kunnen bewegen. Als de beweging van de atomen heftiger wordt ondervinden de elektronen meer weerstand om door het metaal heen te komen, hierdoor stijgt de weerstand van het



Figuur 2: Pt500 sensor

metaal. Het verband tussen weerstand en temperatuur is door Callendar rond 1890 vastgelegd in een kwadratische vergelijking, die enkele decennia later door Van Dusen werd uitgebreid met een vierdemachts term en staat sindsdien bekend als de *Calendar-Van Dusen vergelijking*.

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha \left[T - \delta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right) - \beta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right] \quad [2]$$

Deze vergelijking wordt voor de temperatuurmetingen op het KNMI niet gebruikt. In de praktijk wordt een vereenvoudigde vergelijking gebruikt:

$$R_t = R_0 (1 + AT + BT^2 + C(T - 100) * T^3) \quad [3]$$

Voor platina zijn de coëfficiënten B en C negatief en de laatste term wordt alleen gebruikt bij een temperatuur onder 0°C. Bij meteorologische metingen wordt deze term weggelaten. De fout die daarmee wordt gemaakt is niet significant (<0,005°C).

De temperatuur T wordt uitgedrukt in °C. R_0 is de weerstand bij 0,0°C, bij een Pt500 sensor is die weerstand gelijk aan 500,0 Ω. Naast de Pt500 worden er ook andere Pt sensoren gebruikt zoals de Pt50, Pt100, Pt200 en Pt1000. Vanwege historische redenen wordt er op het KNMI gebruik gemaakt van de Pt500 sensor. Voor referentiethermometers wordt doorgaans gebruik gemaakt van een Pt1000 sensor. Het voordeel van een hoge weerstandwaarde is dat ze bij dezelfde stroom een hogere spanning opwekken, hierdoor is er minder ruis. Andersom kan ook, dat bij dezelfde spanning een lagere stroom loopt, dus minder vermogen. Een nadeel is echter dat de kwetsbaarheid hoger is, want de platinadraad is dunner(4).

De Pt500 sensoren op het KNMI worden uitgelezen door een SIAM. Een SIAM meet om de 12 seconde de weerstand van de sensor en berekend m.b.v. vergelijking 3 temperatuur uit. Deze waarde zet de SIAM in een bericht en stuurt hem door naar de pc. Naast de 12 seconde waarde geeft de SIAM ook nog 1 minuut gemiddelde, 10 minuut gemiddelde, 10 minuut maximum, 10 minuut minimum en de standaard deviatie. In dit project wordt voor de Pt500 sensoren alleen de 12 seconde waarde gebruikt.



Figuur 3: Sonische anemometer

§1.1.3 Sonische anemometer

Een sonische anemometer, zie figuur 3 is een sensor voor het meten van windsnelheid en windrichting. Het voordeel van een sonische anemometer t.o.v. een cup anemometer is dat aan de sonische anemometer geen bewegende delen zitten. Bovendien is de sonische anemometer geschikt om hoogfrequente metingen te doen, hierdoor reageert de sonische anemometer bijna direct op veranderingen in windrichting en temperatuur. Meest gangbaar

voor onderzoeksdoeleinden is een sonische anemometer waarmee de drie windsnelheidcomponenten gemeten kunnen worden. In ONATIS wordt de Thies 2D anemometer toegepast. Deze sensor meet twee windsnelheidscomponenten. De sonische anemometer meet de tijd die een geluidspuls gebruikt om een bepaalde afstand af te leggen. Als in beide richtingen de reistijd van de geluidspuls bekend is, kan men de geluidssnelheid uit rekenen. Als de geluidssnelheid bekend is, kan daarmee de temperatuur berekend worden. De reistijden van de geluidspulsen zijn afhankelijk van de afstand tussen de 2 zenders en van de geluidssnelheid.

Om de werking van de sonische anemometer uit te leggen wordt er beperkt tot de windsnelheid en luchttemperatuur langs één component. De tijd die een puls nodig heeft om van de zender naar de ontvanger te reizen door de lucht is afhankelijk van de geluidssnelheid en de sterkte van de wind langs het meetpad en haaks op het meetpad volgens(17):

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2} + u} \\ t_2 &= \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2} - u} \end{aligned} \quad [4]$$

Hierin is c de geluidssnelheid in m/s, d de lengte van het meetpad in m, u de gemiddelde windsnelheid over het meetpad in m/s en v de gemiddelde snelheid haaks op het meetpad in m/s. De snelheid haaks op het meetpad is nodig, omdat deze invloed heeft op de looptijd van de puls. De sonische anemometer voert hiervoor intern een correctie uit. Uit vergelijking 4 volgt voor de windsnelheid over het meetpad dat:

$$u = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t_1} - \frac{d}{t_2} \right) \quad [5]$$

En voor de geluidssnelheid geldt dat:

$$c = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{d}{t_1} + \frac{d}{t_2} \right)^2 + v^2} \quad [6]$$

De sonische temperatuur, T_{Sonic}^c gecorrigeerd voor vocht wordt nu gevonden uit(5):

$$T_{Sonic}^C = \frac{T_{Sonic}}{1 + 0,51q} = \frac{\left(\frac{c^2}{403} \right)}{1 + 0,51q} \quad [7]$$

Hierin is q de specifieke vochtigheid en T_{sonic} de sonische temperatuur.

Uit de metingen van de looptijden van de geluidspulsen kan de gemiddelde windcomponent langs de meetas en de gemiddelde temperatuur gemeten worden (17).

§1.2 Stralingsafschermingen

Volgens de WMO moeten de temperatuursensoren afgeschermd zijn van directe instraling van de zon en voldoende geventileerd zijn. De WMO geeft eisen waaraan temperatuurmetingen moeten voldoen, maar er bestaat geen standaard voor de stralingsafscherming. Hierdoor zijn er veel verschillende ontwerpen stralingsafschermingen in gebruik over de hele wereld.

Daarnaast kiezen sommige meteorologische instituten ervoor de stralingsafscherming natuurlijk te ventileren en andere kiezen voor een artificiële ventilatie. Het verschil tussen deze verschillende methode van ventileren is dat bij natuurlijke ventilatie geventileerd wordt m.b.v. van de wind. Artificiële ventilatie gebeurt met behulp van een ventilator of pomp.

In het onderzoek ONATIS worden er 4 hutjes onderzocht:

- KNMI standaard hut
- KNMI geventileerde hut
- DWD hut
- Psychrometer opstelling

Deze worden hieronder nader toegelicht.

§1.2.1 KNMI standaard hut

Straling van de zon, van wolken, van de grond en andere omgevingsobjecten kunnen door de lucht heen reizen zonder dat de luchttemperatuur significant verandert. Een thermometer die vrij in de lucht staat kan straling absorberen waardoor de gemeten temperatuur kan afwijken van de werkelijke luchttemperatuur. Voor sommige thermometers, zoals een hot wire anemometer zal de afwijking heel erg klein zijn, omdat ze weinig last hebben van straling. Vanwege het oppervlak van de hot wire anemometer, dit is vele malen kleiner dan dat van de stralingsafscherming en Pt500. Hierdoor is de invloed van straling op de hot wire anemometer veel kleiner. Operationele thermometers kunnen tijdens deze extreme gebeurtenissen een verschil aangeven tot 2 K(19). Om zeker te weten dat de luchttemperatuur gemeten wordt, is het nodig om de thermometer te beschermen tegen invallende straling. Dit beschermt ook tegen neerslag terwijl de luchtcirculatie vrij door de hut kan bewegen. Neerslag



Figuur 4: Doorsnede KNMI standaard hut(1)

op de sensor, veroorzaakt door de lokale luchtstroom, zal een nattebol temperatuur gemeten worden, zie §1.6.

Verder is het garanderen van een vrije luchtcirculatie vrij lastig, omdat de hut kan dichtsneeuwen. Om te voorkomen dat er een microklimaat in de hut ontstaat moet er bij voorkeur een ventilator in of liever buiten de hut geplaatst worden. Bij het KNMI is besloten voor geen ventilator, omdat het klimaat in Nederland zo is dat er het grootste deel van de tijd voldoende luchtstroming is(6).

De KNMI hut is opgebouwd uit 9 lamellen plus een bodemplaat. Het materiaal wat gebruikt is voor deze lamellen is polycarbonaat + 10% glas. De sensor bevindt zich op een hoogte van 7,0 cm in de hut. Verder heeft de KNMI hut twee top lamellen om er voor te zorgen de onderste toplamel niet te warm wordt door directe instraling. Het KNMI meet sinds de jaren 80 met deze hut. Verder wordt de hut natuurlijk geventileerd, voor het project ONATIS komt er naast een standaard hut ook een geventileerde hut.

§1.2.2 DWD hut

De DWD hut, zie figuur 5, moet aan dezelfde eisen voldoen van de WMO als de KNMI standaard hut. De hut moet straling afschermen, maar er moet wel luchttemperatuur in gemeten worden. Omdat het WMO geen standaard hut heeft is het ontwerp van de DWD hut wel anders, op het oog lijkt de DWD hut meer gestroomlijnd dan de KNMI standaard hut. Verder bevindt zich ook een ventilator op de 3^e lamel van boven in de DWD hut zodat de hut



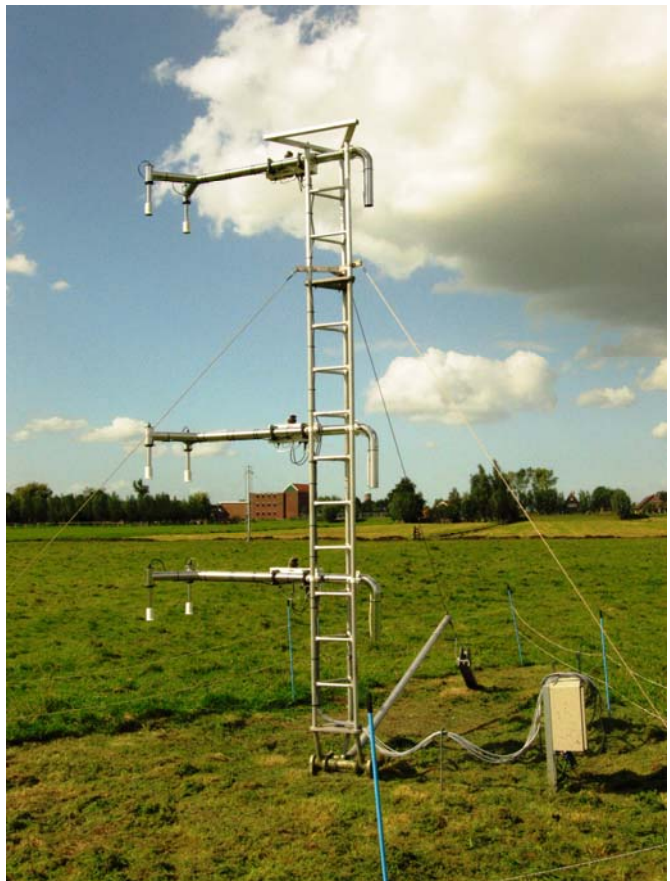
Figuur 5: DWD hut (21)

geventileerd wordt. De keuze van de plaatsing van de ventilator in de DWD hut is anders dan die van de KNMI hut; tijdens het onderzoek kan ook vergeleken worden tussen de twee hutjes welke ventilatie methode de beste is.

§1.2.3 Psychrometer opstelling

Met de psychrometer wordt de vochtigheid van de lucht bepaald. In een psychrometer zitten twee thermometers naast elkaar. Eén thermometer wordt m.b.v. een dunne film van water of ijs vochtig gehouden en de andere thermometer is droog. Hierdoor ontstaat een nattebol effect bij de thermometer die bevochtigd is. Deze thermometer zal een lagere temperatuur geven. Uit de twee gemeten temperaturen wordt de luchtvochtigheid berekend. De psychrometer opstelling wordt toegepast op de KNMI onderzoekssite in Cabauw.

Aan de psychrometer zijn ook eisen vanuit het WMO gesteld, door de eisen ziet de psychrometer er zo uit, zoals in figuur 6 (6,7). In het project ONATIS wordt alleen gebruik gemaakt van de drogebol, omdat er gekeken wordt naar de artefacten van de metingen bij luchttemperatuur.



Figuur 6: 3 psychrometer opstellingen op Cabauw(7)

§1.3 Straling

Straling heeft een belangrijke invloed op de warmtehuishouding van de temperatuurhut en wordt daarom gemeten in de veldopstelling van het ONATIS onderzoek. Er zijn veel soorten straling, maar de stralingsparameters die onderzocht en gemeten worden zijn:

- Globale straling (kortgolvig)
- Bodemstraling (langgolvig)
- Albedo

Om de opwarming te kunnen afschatten zijn de hierboven genoemde gegevens nodig. Als deze gegevens bekend zijn en verder is bekend dat de wet van behoud van energie geldt, kan de volgende energiebalans worden opgesteld(22):

$$mc \frac{dT_h}{dt} = \alpha ZS + \varepsilon IR - \sigma \varepsilon A T_h^4 - AH(T_h - T_l) \quad [8](22)$$

Hier in zijn:

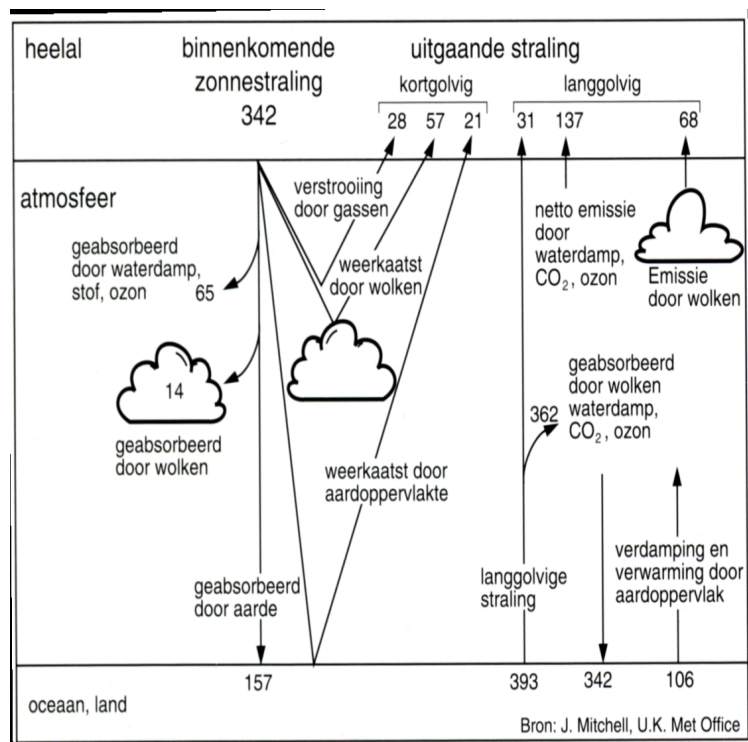
m	=	Massa van de hut	[kg]
c	=	Specifieke warmtecapaciteit van de hut	[J/KgK]
t	=	Tijd	[s]
T_h	=	Temperatuur van de hut	[K]
T_l	=	Temperatuur van de lucht	[K]
a	=	Absorptie coëfficiënt	
ε	=	Emissie coëfficiënt	
ZS	=	Globale straling	[W]
IR	=	Infraroodstraling	[W]
A	=	Oppervlak hut	[m ²]
H	=	Warmteoverdracht coëfficiënt	[W/m ² K]
σ	=	Stefan-Boltzmann constante	[W/m ² K ⁴]

In deze vergelijking zijn alle constanten bekend of de variabelen worden in de veldopstelling gemeten. Eén constante is niet bekend, dat is de warmteoverdracht coëfficiënt H . Om deze constante uit te rekenen vraagt veel tijd en extra labonderzoeken waarvoor geen tijd is. Door een schatting te maken naar de constante H kan er ook een schatting naar de energiebalans gemaakt worden.

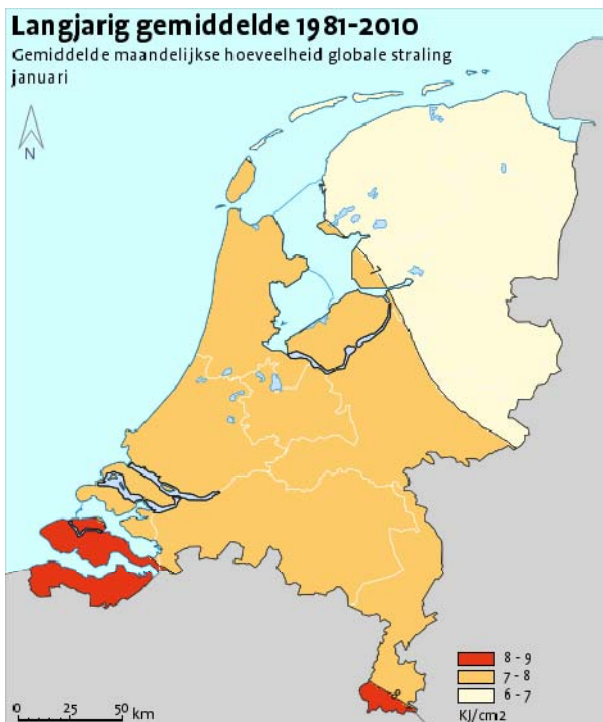
De energiebalans van vergelijking 8 is geldig voor de stralingsafscherming, maar het is ook mogelijk om een energiebalans te maken voor bijvoorbeeld het temperatuurs-element. Hiervoor hoeven alleen de constanten worden aangepast naar die van het temperatuurselement.

§1.3.1 Globale straling

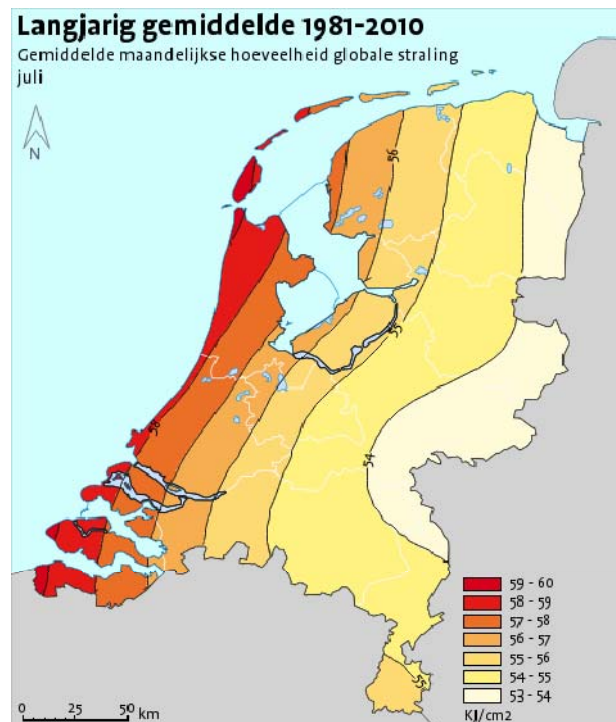
Globale straling wordt gemeten als een hoeveelheid energie per oppervlakte-eenheid. Van de zonnestraling zal er een deel van die straling direct het aardoppervlak bereiken, dit wordt directe zonnestraling genoemd. Naast de directe zonnestraling wordt er ook een deel van de binnenkomende zonnestraling verstrooid en geabsorbeerd door bijvoorbeeld waterdamp, wolken, stof en ozon. Van deze verstrooiing zal een deel het aardoppervlak bereiken, dit wordt de diffuse straling genoemd. Als de directe straling bij de diffuse straling wordt opgeteld krijgt men de globale straling, zie figuur 7. Deze globale straling wordt gemeten met een sensor voor het meten van kortgolfige straling, een zgn. pyranometer. In het ONATIS onderzoek wordt gebruik



Figuur 7: Stralingsbalans(10)



Figuur 8: Globale straling januari(9)



Figuur 9: Globale straling juli(9)

gemaakt van de CM5 albedometer. De instrumenten die het KNMI gebruikt zijn van fa. Kipp & Zonen, Delft. De CM5 sensoren hebben een meetbereik van 0 tot 4000 W/m^2 en de instrumentele onzekerheid is $\pm 19 \text{ W/m}^2$. Deze sensor is gevoelig voor het spectrale venster van 305 tot 2800 nm . Dus het zichtbare licht inclusief nabij-infrarood(1). De standaard eenheid voor de globale straling is $[\text{W/m}^2]$. Met de gegevens van de globale straling kan men uitrekenen hoe lang de zon heeft geschinen. Verder hangt de globale

straling ook af van de zonnestand zoals te zien is in figuur 5 en 6(8,10). In de figuren 8 en 9 uit de Bosatlas van het Klimaat (KNMI, 2011) staan de stralingswaarden weergegeven voor de maand januari en juli. De gegevens voor deze kaartjes zijn afkomstig van de pyranometers geplaatst op de ongeveer 35 Nederlandse waarneemstations.

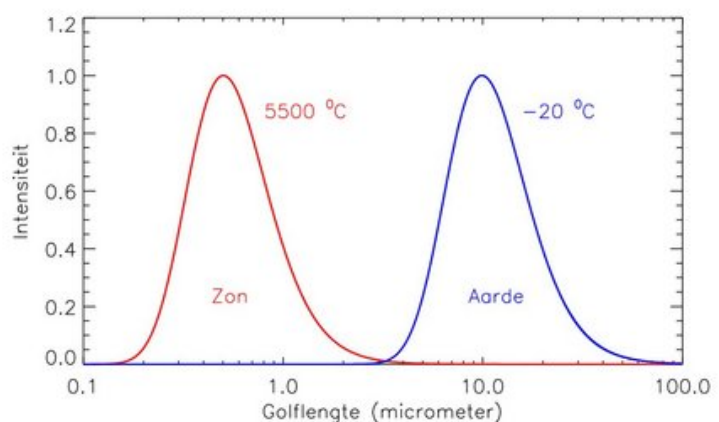
§1.3.2 Bodemstraling

Bodemstraling bestaat uit kort- en langgolvlige straling die uitgezonden wordt door de aarde zelf. Het verschil tussen de straling van de zon en de aarde is de golflengte van de straling die uitgezonden wordt. Het verschil van de golflengte kan worden aangetoond met de *stralingswet van Planck*, ook wel een black body genoemd. In de wet staat dat de golflengte afhangt van de temperatuur van het lichaam die de straling uitzendt:

$$I(\lambda, T) = \varepsilon \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad [9]$$

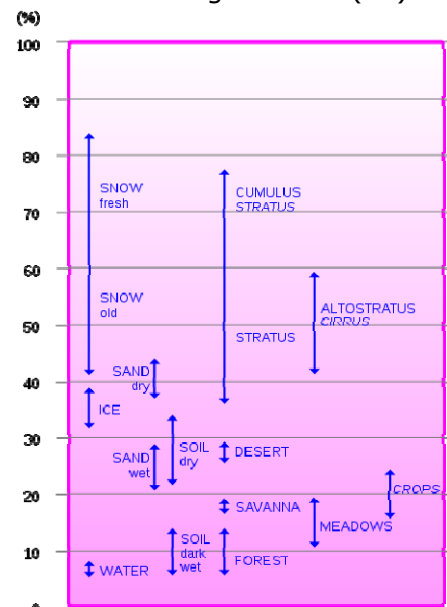
De intensiteit I is afhankelijk van de temperatuur T van het lichaam en de golflengte λ van de uitgezonden straling. Een grafiek die deze formule beschrijft bij verschillende temperaturen en golflengtes is zichtbaar in figuur 10.

In figuur 10 is te zien dat als de temperatuur afneemt de piek



Figuur 10: straling van zon en aarde(11)

van de intensiteit steeds verder in het infrarode licht gaat zitten(11).



Figuur 11: Albedo met verschillende ondergronden

Als de aarde warmer wordt dan zijn omgeving gaat de aarde straling uitzenden (langgolvlige), omdat de bodemplaat van de temperatuurhut zwart is, zal de straling worden geabsorbeerd. Als de straling geabsorbeerd wordt door de bodemplaat, wordt de bodemplaat warmer en zal uiteindelijk warmer worden dan zijn omgeving. Als de bodemplaat straling gaat uitzenden, wordt de Pt-sensor direct bestraald vanaf de bodemplaat, hierdoor zal er een warmere temperatuur gemeten worden.

§1.3.3 Albedo

Het albedo van een object is het weerkaatsingsvermogen van dat object. Het wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de inkomende globale straling en de gereflecteerde globale straling vanaf het aardoppervlak. Niet elke ondergrond heeft dezelfde albedo. Dit is goed te zien in figuur 11, verse sneeuw een zeer hoog albedo heeft van bijna 90%. Als er sneeuw ligt zal er dus veel straling reflecteren vanaf de

bodem en het hutje vanaf de onderkant opwarmen. Daarbij is de albedo bij grasland veel lager ($\pm 25\text{-}30\%$) en heeft de albedo hier minder invloed dan bij een besneeuwde

bodem. Om albedo te kunnen meten wordt er gebruik gemaakt van een albedo meter, dat zijn twee globale stralingssensoren, één kijkend naar boven en één naar beneden.

§1.4 Microklimaat

Een microklimaat in een hutje ontstaat wanneer geen verversing van de lucht meer kan plaatsvinden, bijvoorbeeld wanneer het hutje is dicht gesneeuwd, zoals in figuur 12 te zien is. Het dichtsneeuwen gebeurt vooral aan de windzijde van de hut. Als de wind vanaf een zijde niet de hut in kan komen kan de hut niet meer natuurlijk geventileerd worden. Hierdoor blijft de lucht in de



Figuur 12: Een dichtgesneeuwde hut op 4 februari 2012, Lelystad.(4)

hut hangen en zal er een microklimaat ontstaan. Het effect van het microklimaat op de temperatuurmeting ligt tussen de 0,6°C en 1,0°C(4, 20).

Naast dat het hutje kan dichtsneeuwen kan er ook een microklimaat in de hut ontstaan wanneer er te weinig luchtstroming is. Bij lage windsnelheden ($< 1,5$ m/s) wordt de lucht in de hut niet goed ververst. Als dit gebeurt blijft de lucht in de hut hangen en zal, als de hut warm is, gaan opwarmen. Hierdoor wordt er ook een te hoge luchttemperatuur gemeten. Om dit te voorkomen wordt er in sommige hutten kunstmatige ventilatie gebruikt, hierdoor wordt de lucht continu worden weggezogen, de hut uit. Nu er een druk verschil wordt gecreëerd in de hut zal er 'verse' lucht de hut instromen, nu kan er geen microklimaat meer ontstaan.

§1.5 Invloeden omgeving

De omgeving beïnvloedt continu de metingen die op een automatisch weerstation worden gedaan, waaronder de luchttemperatuur, bijvoorbeeld met obstructies. In het onderzoek wordt gekeken naar temperatuur en niet naar de overige metingen. De invloeden van temperatuur van de omgeving komen vooral van bebouwing en vegetatie.

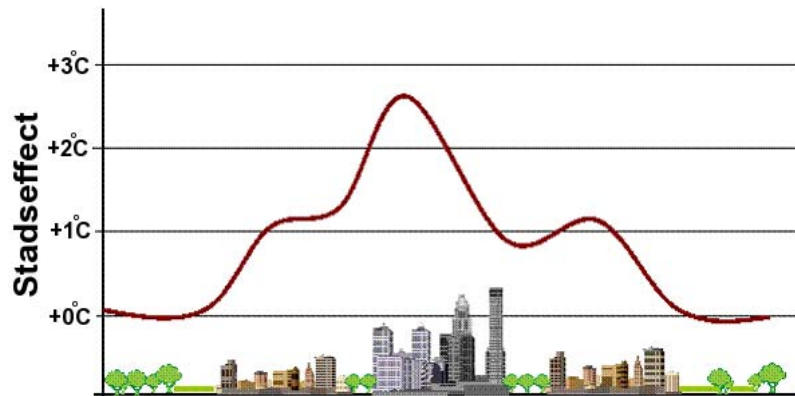
Beide factoren worden op de automatische weerstations van het KNMI continu in de gaten gehouden. Alle stations staan buiten stedelijk gebied waardoor invloeden van bebouwing tot een minimum kan worden gebracht. Verder moet het gras op het weerstation kort gemaaid zijn en mogen er geen hoge gewassen in de omgeving aanwezig zijn, zodat de invloeden van vegetatie ook tot een minimum gebracht worden. Dit zijn aanbevelingen van het WMO die staan in de CIMO-guide. Men streeft bij deze aanbevelingen een standaard na, waardoor het uitwisselen en het vergelijken van de metingen beter mogelijk wordt(1, 13).

§1.5.1 Invloed van bebouwing

Aan het begin van de 19^e eeuw merkte een Londense weeramateur op dat het klimaat in steden anders was dan het klimaat op het platteland buiten de stad. Het viel hem op dat vooral 's nachts en 's winters het in de stad warmer is, dan op het platteland. Tussen toen en nu is er internationaal onderzoek gedaan naar het 'stadsklimaat'. Uit deze onderzoeken is gebleken dat stedelijke bebouwing invloed heeft op diverse variabelen, zoals temperatuur, wind en neerslag.

Ook in de stad zelf zijn er verschillen. In dichtbebouwde centra is het vaak warmer dan in de buiten wijken of in de stadsparken, zoals te zien is in figuur 13.

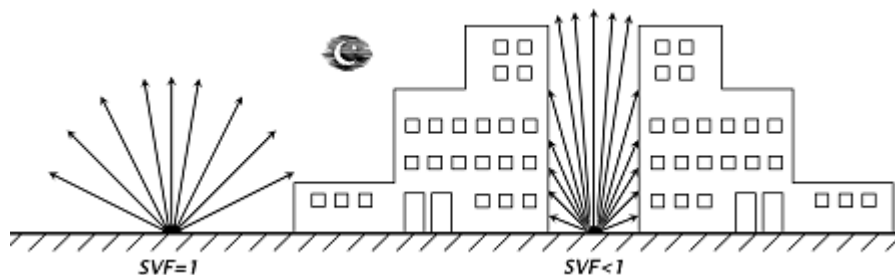
Overdag wordt in de steden weinig zonnewarmte gebruikt voor het verdampen van water, doordat het oppervlak erg droog is in vergelijking met het oppervlak op het vlakke land. Hierdoor blijft er relatief veel energie over voor het opwarmen van de lucht. Verder zijn de oppervlakken in de stad vaak relatief zwart waardoor er weinig energie wordt gereflecteerd en veel energie wordt opgenomen door het oppervlak, wat daardoor opwarmt. 's Nachts is het stedelijk effect het sterkst, dit



wordt vooral veroorzaakt door een trage afkoeling. Nachtelijke afkoeling komt voor het grootste deel voor als uitstraling van infrarood licht door het aardoppervlak, waardoor de warmte verloren gaat naar de hemel. In de steden wordt een deel van de hemel 'afgedekt' door gebouwen, waardoor een deel van de stralingsenergie niet de lucht in verdwijnt, maar door gebouwen geabsorbeerd wordt. Dit effect is het sterkst bij hoge gebouwen en wordt bepaald door de fractie zicht vanaf de grond op de open hemel ('sky view factor' (SVF), zie figuur 14).

Figuur 13: Schematische weergave van het temperatuursverschil tussen de stad en het buitengebied(12)

Ook bestaat het stedelijk oppervlak voor een groot deel uit materialen die traag afkoelen.



Verder wordt – vooral 's winters – veel energie gebruikt, waardoor extra warmte uit schoorstenen en gebouwen vrijkomt (12).

Figuur 14: Nachtelijke uitstraling bij een hoge 'sky view factor' (SVF) (open landschap) en lage SVF (veel bebouwing) (12)

§1.5.2 Vegetatie

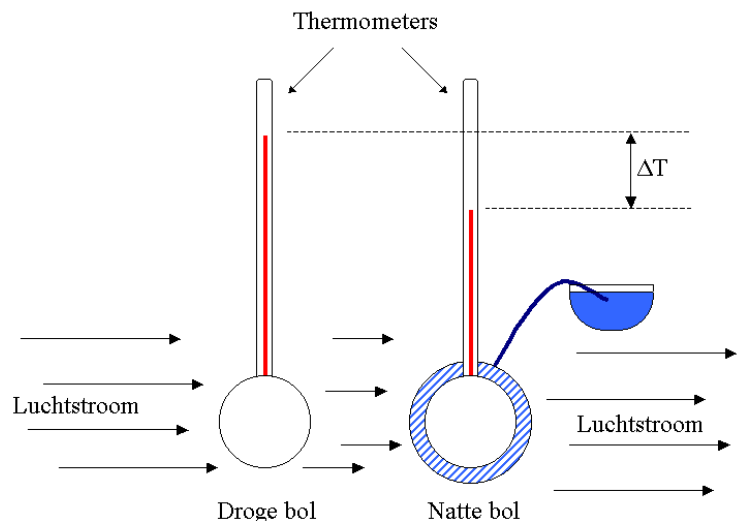
Vegetatie heeft ook invloed op temperatuurmetingen. Dit komt vanwege de verdampingswarmte die vrijkomt bij planten. Uit kale grond verdampt vrij weinig, anders is dat op begroeide terreinen waar plantwortels in de bodem zuigen om vocht te onttrekken aan het grondwater. Hoeveel vocht de planten kunnen opzuigen, hangt af van het type grond waar de planten op staan en de worteldiepte. Bij zware klei of zand is ongeveer 12% van het vocht beschikbaar terwijl in de veengronden wel 54% beschikbaar is. Naast het bodemtype hangt het beschikbare vocht ook de verhouding tussen verdamping en neerslag. Sterk groeiende planten zorgen voor veel verdamping, maar hebben ook veel vocht nodig.

Zowel regen als zon bevordert de groei, maar op droge, zonnige dagen moet het benodigde vocht uit de bodem komen. Bij extreme droogte wordt het steeds lastiger voor

de plant om vocht uit de bodem te kunnen zuigen, waardoor het gewas minder snel gaat groeien (1, 13).

§1.6 Nattebol effecten

Één van de artefacten die kan optreden bij de temperatuurmeting in een stralingsafscherming is het nattebol effect. Dit komt voor tijdens en na regenbuien en bij condensatie. Tijdens deze gebeurtenissen blijven waterdruppels achter op de sensor en op de hut. Het water dat op de sensor zit zal verdampen, wat energie kost in de vorm van warmte. Deze warmte wordt onttrokken aan de sensor zelf, omdat het een adiabatisch proces is. Hierdoor zal de temperatuursensor een lagere temperatuur geven dan de daadwerkelijke temperatuur.



Figuur 15: Nattebol effect

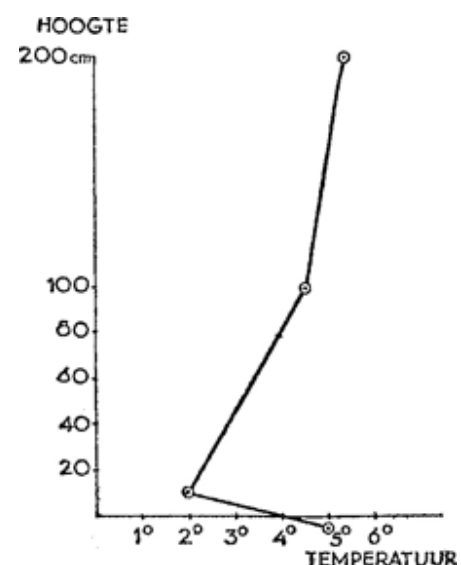
Natteboltemperaturen worden gebruikt om de luchtvochtigheid uit te rekenen. Hiervoor worden twee thermometers gebruikt, waarbij één thermometer een nat kousje heeft. Doordat het kousje een lagere temperatuur heeft dan zijn omgeving, vanwege de verdamping, zal er warmte van de omgeving naar het kousje toestromen. Daarnaast wordt er ook warmte onttrokken aan het kwikreservoir. Na enige tijd zal zullen de twee warmtestromen gelijk zijn, dit wordt de natteboltemperatuur genoemd, zoals te zien is in figuur 15.

Als de lucht droger is zal er meer water verdampen en de natteboltemperatuur zal naar een lagere waarde stabiliseren. Het verschil tussen de natteboltemperatuur en de luchttemperatuur is een maat voor de luchtvochtigheid.

§1.7 Gradiënten

De luchttemperatuur is niet constant met de hoogte. Gemiddeld daalt de temperatuur van droge lucht per 100 m met 1°C. Overdag hebben de gradiënten geen invloed op de meting, maar 's nachts wel. In de nacht koelt de bodem sneller af dan de lucht zelf. Dit gebeurt vooral tijdens heldere nachten met weinig wind en bewolking.

's Nachts zal de bodem niet opgewarmd worden door de zon. De bodem zendt zelf (langgolvige) straling, waardoor de temperatuur van de bodem daalt zie §1.3.2. De luchttemperatuur zal echter niet meedalen met de bodemtemperatuur. Hierdoor zullen verticale gradiënten in de onderste luchtlaag voorkomen.



Figuur 16: Temperatuur in nachtelijke omstandigheden(14)

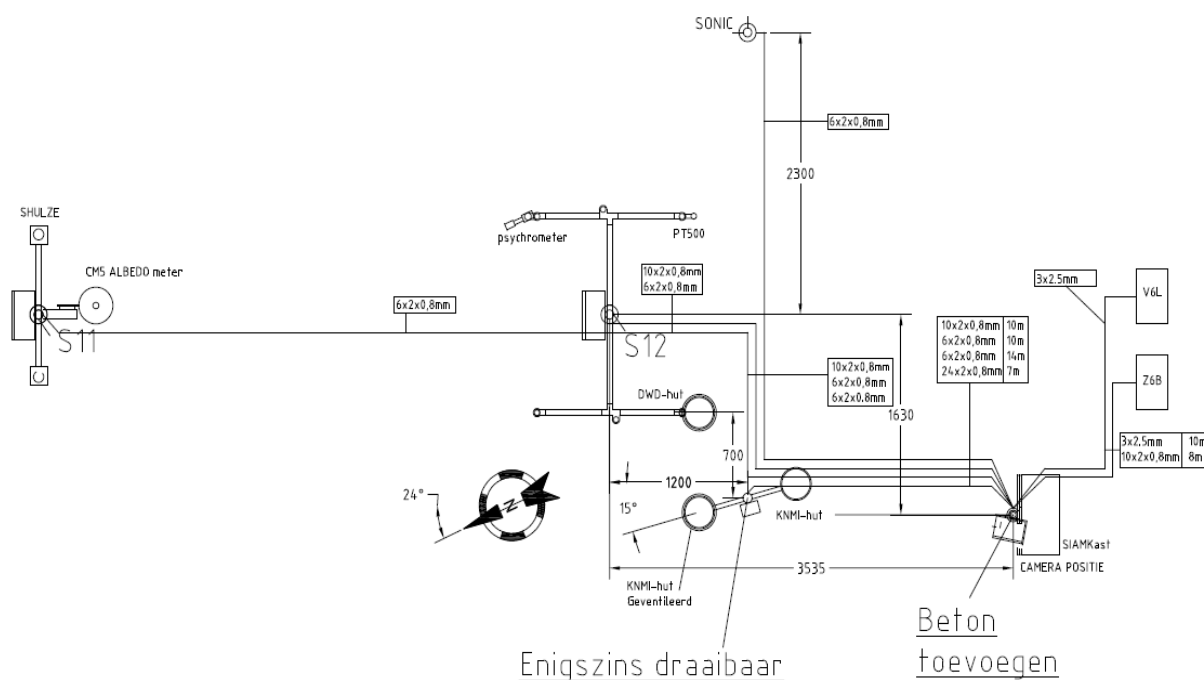
Daarom is ook belangrijk om te weten op welke hoogte de luchttemperatuur gemeten wordt, want de lucht op 1,20 m is sneller afgekoeld dan 2,00 m hoogte. In het gebied van 1,20 – 2,00 m mag gemeten worden van de WMO, maar door de verticale temperatuurgradiënten kunnen de luchttemperaturen tussen de hoogtes sterk verschillen. In figuur 16 is goed te zien het verschil in temperatuur tussen 20 cm boven de grond en op 200 cm hoogte. In een heldere nacht met stabiele condities kan een temperatuursgradiënt gelijk zijn aan $2,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Deze gradiënten komen niet alleen bij nachtelijke condities voor, maar ook bij zonsopkomst waarbij de grond heel snel opwarmt(14).

Hoofdstuk 2: Veldopstelling

Met de veldopstelling moet de invloed van de artefacten, beschreven in hoofdstuk 1, gemeten worden. De oplevering van de meetopstelling staat gepland voor eind mei en daarna wordt 1 jaar continu gemeten.

De ONATIS testsite

De veldopstelling t.b.v. het ONATIS onderzoek is gerealiseerd op het testveld van het KNMI in De Bilt. In de tekening in figuur 17 is de tekening te zien van de opstelling. Rechtsonder op de tekening staat de SIAM kast samen met de camerakast, in de camerakast zitten de warmtebeeldcamera en Canon camera. Verder naar links op een los paaltje staan de KNMI hutten, de standaard en geventileerde. Ten oosten van de KNMI hutten staat een H-frame met daarop de DWD hut, een vrijhangend Pt500 element en de Cabauw psychrometer opstelling. Verder oostwaarts staat de sonische anemometer, dus moet vrij staan om zo nauwkeurig mogelijk de windsnelheid te kunnen berekenen. Ten slotte ten noorden van het H-frame staat er een paal met daar op de twee stralingmeters.



Figuur 17: Tekening ONATIS opstelling

§ 2.1 KNMI standaard hut

De KNMI standaard hut komt samen met de KNMI geventileerde hut, zie § 2.2, op een thermometer/vocht paal te staan, zie figuur 18. Deze paal wordt standaard bij het KNMI gebruikt om de temperatuurshutten te kunnen bevestigen. In de hut zit een Pt500 element, dit element wordt sinds 1957 op het KNMI gebruikt. De nauwkeurigheid van de sensor is maximaal $\pm 0,10^{\circ}\text{C}$ als de afwijking groter is worden de sensoren afgekeurd. Naast het Pt500 element zitten er op de hut ook 6 thermistoren geplakt

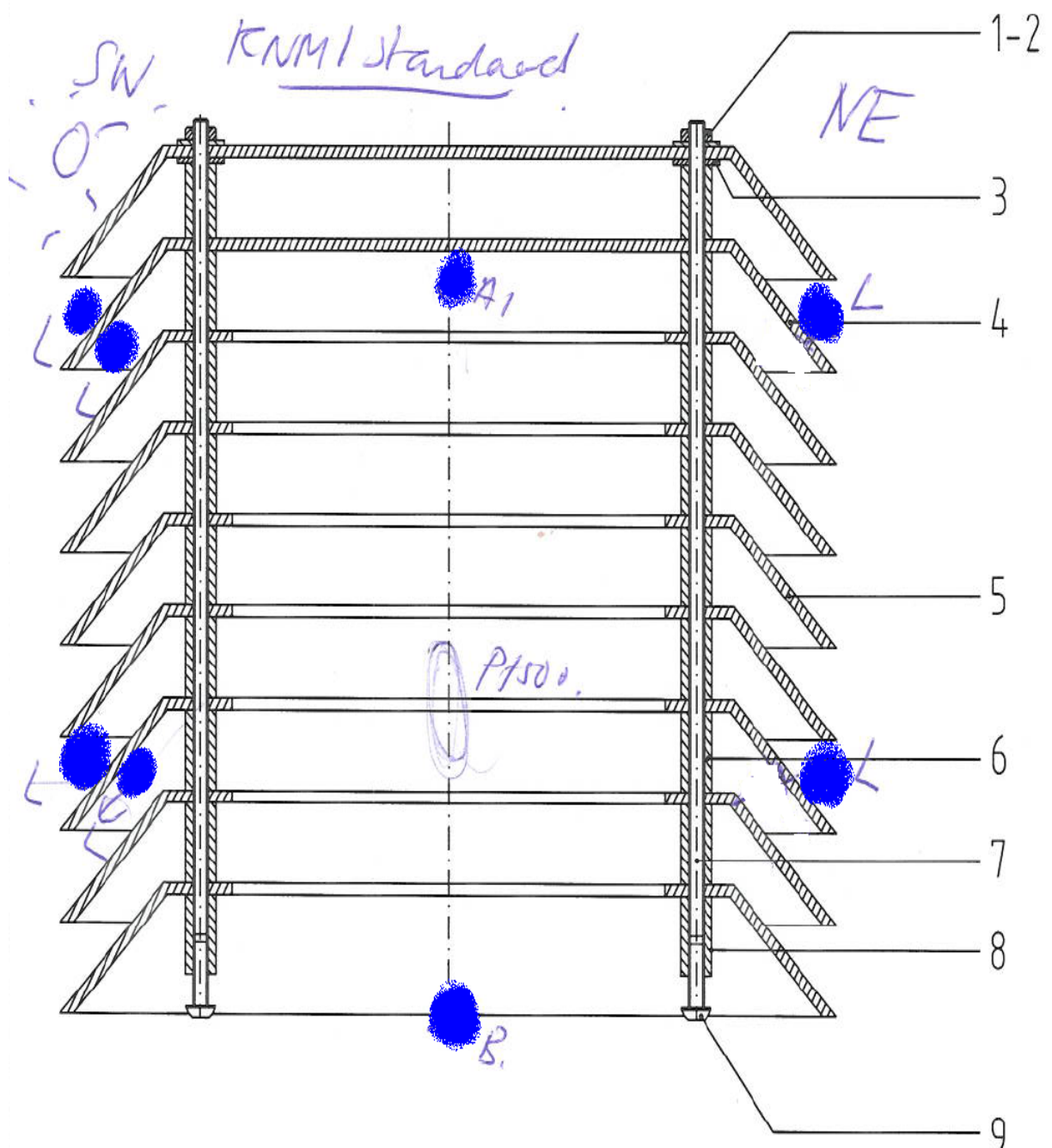


Figuur 18: KNMI standaard en geventileerde hut

hiermee worden de oppervlakte temperaturen van de hut gemeten. Het doel van deze thermistor temperaturen zijn verschillen in temperaturen te zien aan de schaduwkant van de hut, in het noordoosten en de beschenen kant in het zuidwesten. Naast de 6 thermistoren die op de hut zitten geplakt, hangt er één thermistor vrij boven in de hut en één thermistor zit op de bodemplaat geplakt. Met de gegevens van deze twee thermistoren en het Pt500 element kan er een profiel door de hut worden gemeten. In figuur 19 is te zien op welke plekken de thermistoren zijn aangebracht. Naast deze 8 thermistoren worden er ook nog 2 thermistoren langs de mast aangebracht, de thermistoren zitten op de hoogte van 30 en 65 cm. Nu kan er ook naast een profiel in de hut ook een profiel worden gemeten van de bodem tot aan de hut.

§ 2.2 KNMI geventileerde hut

Een geventileerde KNMI hut is niet voorhanden. Er zal dus een standaard hut aangepast moeten worden. In de standaard hut zit al een gat voor de vochtmeting. Dit gat is vergroot en kan nu gebruikt worden voor ventilatie. Een pvc buis staat vanaf het gat in verbinding met een voldoende krachtige ventilator, zodat de lucht rond de sensor wordt weggezogen en 'nieuwe' lucht automatisch door het drukverschil rond de sensor komt. De ventilator, met een debiet van 650 l/min, moet op een redelijke afstand staan van de hut zodat er geen rondgaande luchtstroming wordt gecreëerd. Een rondgaande luchtstroming kan tot foutieve metingen leiden, waardoor ze bij een hoge instraling alsnog een te hoge temperatuur meten. De hut wordt geplaatst samen met de KNMI standaard hut, zie figuur 18. Ook worden net als bij de KNMI standaard hut 8 thermistoren aangebracht op dezelfde plekken als bij de standaard hut. Tussen de twee KNMI hutten zit bijna geen verschil tussen, het enige verschil is dat deze hut geventileerd wordt. Omdat ze hetzelfde zijn kunnen de temperaturen van de beide Pt500 elementen en de thermistor temperaturen vergeleken worden. Daarnaast kan men ook het verschil aan tonen tussen de geventileerde hut en de standaard hut.



Figuur 19: Plaatsing van thermistors op de standaard en geventileerde KNMI hut

§2.3 Sonische anemometer

Een Thies 2D sonische anemometer wordt geplaatst op een apart paaltje, zie figuur 20, zodat het gevoelige deel van de sensor op dezelfde hoogte zit als alle andere temperatuursensoren. Het verschil tussen een sonische anemometer en een standaard temperatuur hut, is dat de sonische anemometer de luchttemperatuur bepaald m.b.v. geluidsgolven en hierdoor geen last heeft van de instraling die bij een temperatuurhut wel een rol speelt, zie §1.1.3. Omdat de sonische anemometer geen last heeft van instraling lijkt het een goede referentie voor de



Figuur 20: Het H-frame + sonische anemometer

luchttemperatuur bij hoge instraling en weinig wind, maar er zijn nog veel onzekerheden en onnauwkeurigheden bij het meten van de luchttemperatuur op deze manier. Hierdoor kan de luchttemperatuur en de virtuele temperatuur van de sonic niet absoluut vergeleken worden, alleen relatief. Verder meten we ook de windsnelheid en -richting. Hiermee kan bepaald worden wanneer de luchtstroming door de hut te klein is en dat we met het microklimaat artefact te maken hebben.

§ 2.4 Temperatuursensor zonder stralingafscherming

De temperatuursensor is geplaatst op het H-frame, zie figuur 20. Omdat er geen stralingsafscherming is, is deze meting alleen nuttig wanneer er geen straling is van de zon, dus 's nachts. Verder moet ook rekening worden gehouden met nattebol effecten bij mist, neerslag en condensatie, zie §1.6. Verder moet de sensor vrij opgehangen worden en naar boven gericht, zoals ze ook in de hut staan. In stabiele nachtelijke condities is deze temperatuursensor heel erg geschikt als referentietemperatuur. Overdag kan deze temperatuursensor niet worden gebruikt als referentie vanwege instraling van de zon kan de temperatuur van de sensor wel 4°C afwijken.

§ 2.5 Cabauw psychro-opstelling

De geventileerde psychrometeropstelling van Cabauw, zie §1.2.3, wordt gebruikt. Er wordt geen vocht gemeten, maar alleen luchttemperatuur. De nadruk van deze opstelling ligt op de stralingafscherming. De opstelling wordt geplaatst op het H-frame, zie figuur 20. Aan de Cabauw opstelling zijn wel wat aanpassingen worden gedaan. De opstelling moest gedemonteerd zodat er nog alleen een voetstuk over is (de zogenoemde 'doorzaag' oplossing), waar de stralingafscherming (toeter) in past. Deze opstelling wordt geventileerd met deze ventilator als in de KNMI geventileerde hut. Het zelfde temperatuur element wordt hier ook gebruikt en dezelfde ventilator, alleen de stralingafscherming is anders. Door de temperaturen met elkaar te vergelijken die van de Cabauw psychro-opstelling en de temperatuur van de KNMI geventileerde hut kan er gekeken worden wat het verschil is tussen de beide stralingafschermingen.

§ 2.6 DWD opstelling

De DWD opstelling, zie § 1.2.2 heeft een kunstmatige ventilatie, hoewel anders dan de geplande ventilatie bij de KNMI hut. In de DWD-hut zit de ventilator tegen het plafond. De hut wordt op het H-frame geplaatst, zie figuur 20. De DWD hut wordt gebruikt, omdat het WMO deze hut gebruikt als een referentie hut bij hun onderzoeken(16). Nu er ook een KNMI geventileerde hut is kan de temperatuur vergeleken worden tussen beide hutten. Hierbij kan de conclusie genomen worden welke manier het beste is om te kunnen ventileren.

§ 2.7 FLIR E40 (warmtebeeldcamera)

Met de warmtebeeldcamera, figuur 21, kan de warmteverdeling goed in kaart worden gebracht en het verschil in temperatuur aan de schaduw kant, met lage instraling en aan de zonkant, met hoge instraling. Hiermee kan bepaald worden welke factor straling op het warmtetransport in en rond de hut. In het beeld van de camera staan de beide KNMI hutten en de DWD hut. Er kan vergeleken worden welke hut het stabielst is bij opwarming en afkoeling, welke het snelst opwarmt of afkoelt. Het beeld heeft een resolutie in het IR-beeld van 160 x 120 pixels en heeft een gevoeligheid van $< 0.07^{\circ}\text{C}$. Verder heeft het een spectrale range van $7,5 - 13 \mu\text{m}$ en heeft een nauwkeurigheid van 2°C (23).



Figuur 21:
Warmtebeeldcamera

§ 2.8 Schultze / CM5 stralingmeters

Zoals in § 1.4 is uitgelegd heeft straling invloed op de temperatuurmeting. Om deze invloeden in kaart te brengen worden deze factoren gemeten met een Schultze, zie figuur 22. Deze meet kort- en langgolvlige straling van de zon en van de bodem. De Schultze meet met twee stralingmeters, één kijkt er naar 'boven' en één stralingmeter kijkt naar 'beneden'. Om de stralingsinvloeden van het huis waarin de stralingmeters zitten te compenseren wordt de huistemperatuur gemeten m.b.v. een Pt100.



Figuur 22: Stralingspaal

Het spectrale bereik van de Schultze is van 300 nm tot $100\mu\text{m}$. Hiermee kan dus het zichtbare licht tot ver-infrarood licht gemeten worden. De gevoeligheid van de Schultze is $50 \mu\text{V}/\text{Wm}^2$ en de Schultze kan maximaal $1200 \text{ W}/\text{m}^2$ meten. De sensor wordt gebruikt in combinatie met de XL1 SIAM.

Naast de Schultze komt ook een CM5 stralingmeter te staan, zie figuur 22. Deze sensor is alleen gevoelig voor het zichtbare zon licht $0,3 - 2,3 \mu\text{m}$. De CM5 kijkt net als de Schultze naar boven en naar beneden. De aarde zendt langgolvlige straling uit waar de CM5 niet gevoelig voor is, hierdoor zal er aan de onderkant van de sensor gereflecteerde straling binnen vallen. Met deze twee gegevens is het albedo, zie §1.3.3 getal uit te rekenen.

§ 2.9 Overige metingen

Diverse "standaard" meteorologische variabelen van station De Bilt Test/261 worden op tijdens de test ingewonnen en gearcheveerd. Vooral globale straling, wind, luchtvochtigheid, neerslag, bewolking en zicht zijn voor de analyse essentieel als additionele gegevens. Binnen het project wordt ervoor gezorgd dat deze op standaard wijze continu beschikbaar zijn.

Hoofdstuk 3: Laboratoriumexperimenten

Voordat de opstelling op het testveld kan worden geplaatst, moeten er eerst nog een aantal laboratoriumexperimenten gedaan worden. Hierin wordt o.a. de hut onder gecontroleerde omstandigheden gekarakteriseerd, om meer inzicht te verschaffen in de eigenschappen. In de labexperimenten zijn de volgende gegevens onderzocht:

- IJking thermistoren
- Luchtstroming door de hut als gevolg van kunstmatige ventilatie
- Blokkeringsfactor van de hut
- Afkoeling / opwarming curve van de hut

§3.1 IJking thermistoren

In de veldopstelling wordt gebruik gemaakt van thermistoren. Om thermistoren goed uit te kunnen lezen met de SIAM moet eerst een ijking uitgevoerd worden. De ijkresultaten geven zekerheid dat de temperatuurmetingen uitgevoerd met de thermistoren binnen de limiet van $\pm 0,1^\circ\text{C}$ liggen. De thermistoren worden geijkt in de klimaatkast i.p.v. het ijkvat, om dat het ijkvat ethanol bevat. Ethanol is een dipool en kan elektriciteit gaan geleiden, met gevolg dat de weerstand van de thermistor daalt en er geen goede resultaten uitkomen. De hoofdvragen tijdens deze ijking zijn:

- Wat zijn de parameters in de *Steinhart-Hart vergelijking*?
- Vallen alle thermistoren binnen de gestelde limiet wanneer het gemiddelde van de ijkparameters wordt gebruikt?

Werkwijze

Alle 20 thermistoren werden op een printplaat en aan een draad gesoldeerd. Deze ijking betreft een 2-draadsmeting i.p.v. de standaard 4-draadsmeting bij de Pt500 sensoren. Wanneer de sensoren op hun plek zitten gaan ze de klimaatkast in. De thermistoren worden geijkt van -25°C tot 40°C . Om de 10 minuten stijgt de temperatuur met 5°C en de sampling tijd is 6 sec.

Meetresultaten

In tabel 1 staan alle gemiddelde waarden van de gemeten temperatuur in de klimaatkast en de gemiddelde weerstandswaarde van alle thermistoren.

Tabel 1: De gemiddelde weerstand van alle thermistoren

$T_{\text{gem}} (^\circ\text{C})$	$R_{\text{gem}} (\Omega)$
-25,04	86738
-20,01	67840
-14,97	53339
-9,97	42411
-4,97	33908
0,03	27268
5,02	22088
10,01	17987
15,01	14723
19,98	12131
24,95	10043
29,93	8352
34,93	6975
39,92	5865

Berekeningen

Als de meetresultaten bekend zijn, wordt de *Steinhart-Hart* vergelijking ingevuld. Alleen de vergelijking bevat 3 onbekenden, dus moeten er ook minimaal 3 vergelijkingen zijn om het op te lossen. Daarbij moet ook de temperatuur in Kelvin worden ingevuld.

$$T_K = T_C + 273 \quad [10]$$

$$(-25^{\circ}\text{C}) \quad \frac{1}{247,96} = A + B * \ln(86738) + C * \ln^3(86738)$$

$$(0^{\circ}\text{C}) \quad \frac{1}{273,03} = A + B * \ln(27268) + C * \ln^3(27268)$$

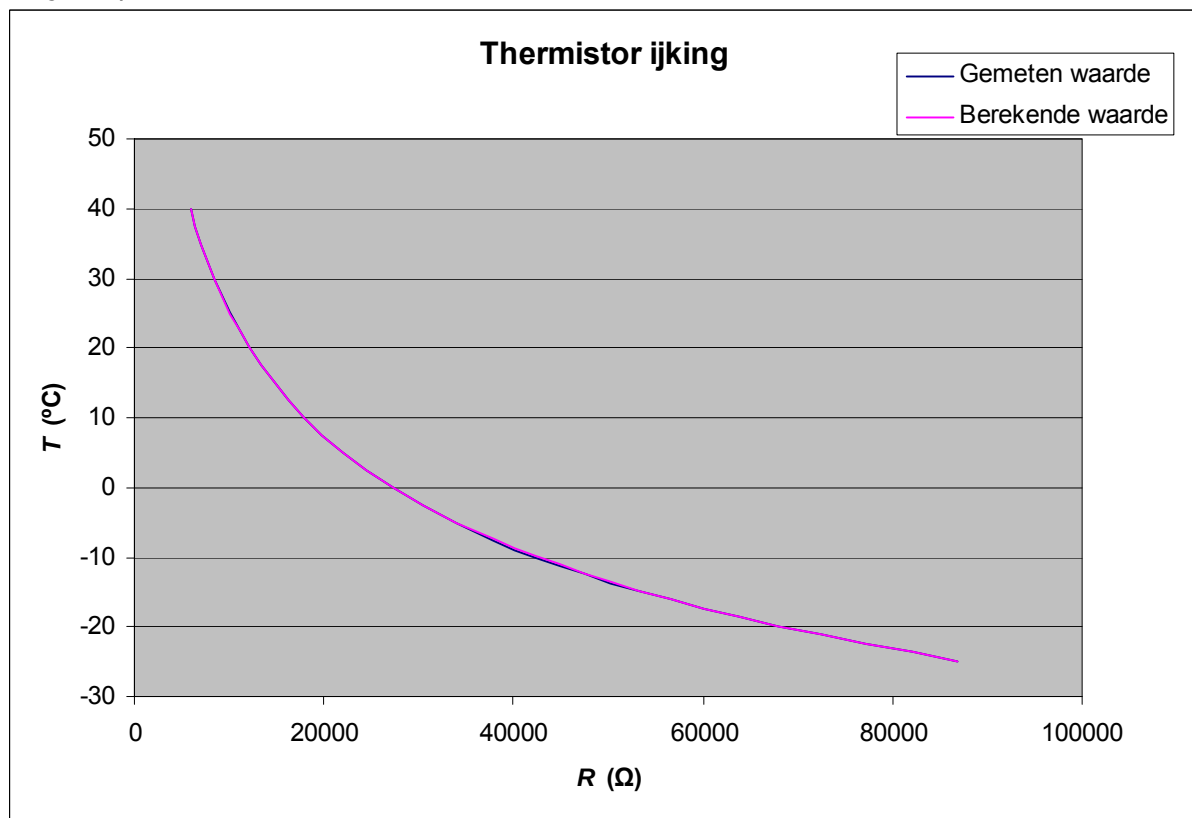
$$(30^{\circ}\text{C}) \quad \frac{1}{302,93} = A + B * \ln(8352) + C * \ln^3(8352)$$

$$A = 8,963 * 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

$$B = 2,499 * 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$C = 2,007 * 10^{-7} \Omega^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Als alle temperaturen worden uitgerekend met de bij behorende weerstandswaarde resulteert dat in een grafiek waarbij de 2 lijnen – gemeten waarde en berekende waarde – bijna op elkaar zullen vallen.



Figuur 23: Ijk grafiek van de gemiddelde thermistor

Uit figuur 23 blijkt dat voor deze drie constanten de afwijking van de thermistoren niet groter is dan $\pm 0,10^\circ\text{C}$. Er moet ook naar elke thermistor apart worden gekeken bij de afzonderlijke temperaturen of dat daar ook geen afwijkingen zijn meer dan $\pm 0,10^\circ\text{C}$. Na analyse blijkt dat bij thermistor 1 en thermistor 6 bij $+35^\circ\text{C}$ een afwijking is van $\pm 0,13^\circ\text{C}$.

Conclusie

Na de ijking van thermistoren is de conclusie dat voor alle thermistoren dezelfde constanten gebruikt kunnen worden. De gevonden waarden zijn $A = 8,963 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, $B = 2,499 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ K}^{-1}$ en $C = 2,007 \cdot 10^{-7} \Omega^{-3} \text{ K}^{-1}$. Voor alle thermistoren geldt dat ze binnen de limiet vallen van $\pm 0,10^\circ\text{C}$. Alleen bij thermistor 1 en thermistor 6 is er bij $+35^\circ\text{C}$ een afwijking van $\pm 0,13^\circ\text{C}$. Er is daarom voor gekozen om deze thermistoren niet te gebruiken of alleen bij grote noodzaak te gebruiken, en dan aan de schaduwzijde op te hangen.

§3.2 Luchtstroming hutten

Kennis over de luchtstroming door de hut is heel belangrijk. Wanneer de luchtstroming te klein is dan kan de lucht in de hut sterk opwarmen, waardoor er een afwijking zal optreden t.o.v. de werkelijke luchttemperatuur. Het belangrijkste verschil dat aangetoond wordt in dit experiment is het verschil tussen de ventilatie van de DWD en de KNMI standaard hut met natuurlijke ventilatie en kunstmatige ventilatie.

§3.2.1 DWD hut



Voor het project ONATIS zijn verschillende labexperimenten opgezet, zodat de eigenschappen van de gebruikte stralingsafschermingen beter begrepen kunnen worden. Één van deze labexperimenten is het vastleggen van de luchtstroming in en rond de DWD hut (Eigenbrodt LAM 630). De stroomsnelheid in de hut wordt gemeten, maar ook tussen de lamellen (vlak buiten de hut) wordt de stroomsnelheid gemeten.

De luchtstroming wordt waarschijnlijk beïnvloed door de ventilator die in de hut bevestigd is. In dit experiment wordt bekeken wat er gebeurt als de luchtstroming in de omgeving van de hut gelijk is aan $0,0 \text{ m/s}$. De hoofdvragen in het experiment zijn:

- Hoe groot is de luchtstroming op sensor hoogte;

Figuur 24: Meetopstelling flowmeting DWD

- Wat is het profiel in de hut en buiten de hut;
- Is de luchtstroming die gecreëerd wordt groot genoeg om de stralingseffecten, die optreden tijdens de events van weinig luchtstroming te verkleinen;
- Kan het Coanda effect (18) aangetoond worden?

Werkwijze

In figuur 24 is te zien hoe de luchtstroming in de DWD hut is gemeten. De roze pijl is de Dantec® hot wire anemometer. Met deze anemometer kan heel nauwkeurig ($\pm 0,1$ m/s) de luchtstroming in de hut bepaald worden. Het bereik van de hot wire anemometer ligt tussen 0,005 en 25,0 m/s. Het voordeel van een hot wire anemometer is dat hij geen aanloopsnelheid heeft. De anemometer zit in de DWD hut waar ook een 12VDC ventilator in zit. Deze ventilator heeft een debiet van 450 l/minuut.



Er wordt gemeten op vier verschillende hoogtes, 3, 6, 9 en 12 cm. Deze hoogtes worden genomen, omdat ze precies op dezelfde hoogte zitten als de opening tussen de lamellen. Hier zal de luchtstroming maximaal zijn. Naar deze punten is er ook interesse naar hoe groot de flow is. Verder zit de temperatuursensor op 9,0 cm hoogte in de hut. De DWD neemt aan dat de luchtstroming rond de sensor ongeveer 1,0 m/s is.

Naast de flowmeting in de hut is er ook, zoals te zien in figuur 25, een flowmeting gedaan buiten de hut. De gemeten posities waren tussen de lamellen op de respectievelijke hoogtes 0; 1,5; 4; 7; 9,5 en 12,5 cm. Hierdoor kan er een profiel worden gecreëerd van de luchtstroming in de hut en vlak buiten de hut.

Figuur 25: Flowmeting buiten de hut

Meetresultaten

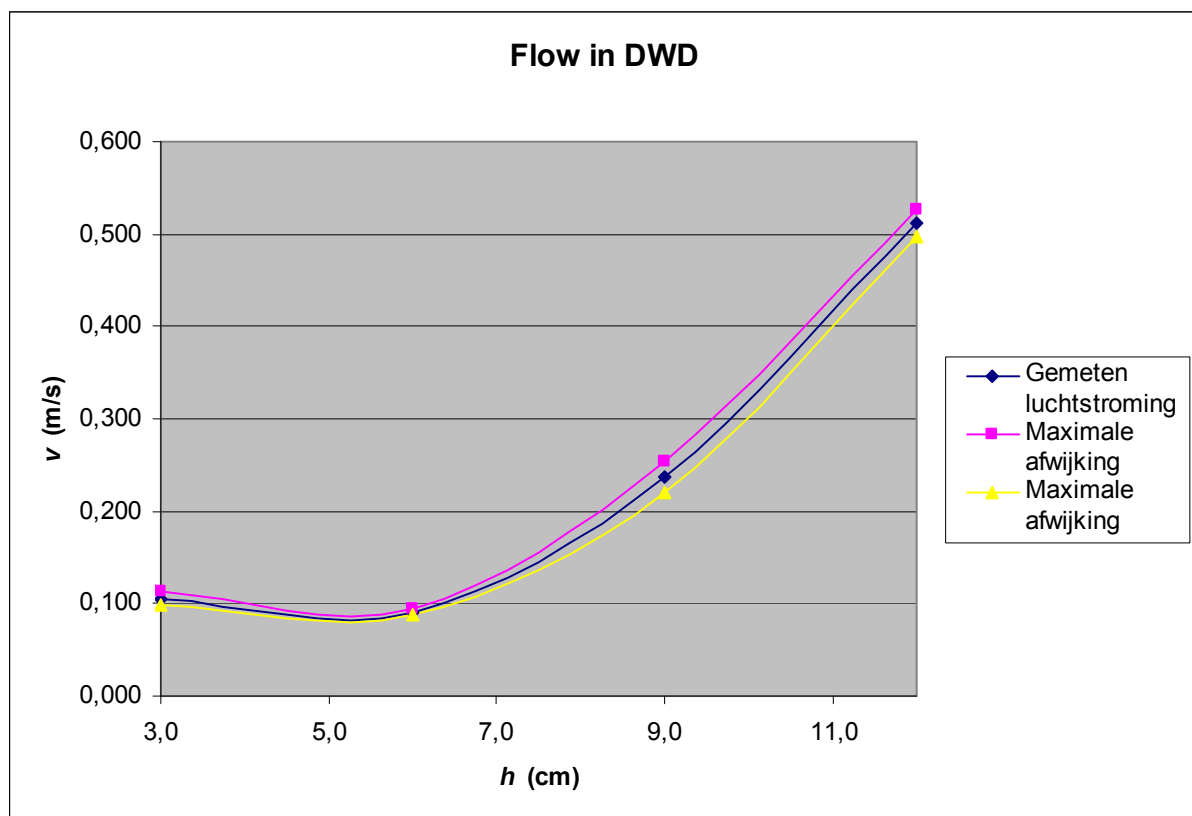
In tabel 2 en 3 staat de luchtstroming uit tegen de hoogte in cm. Verder is de luchtstroming v een 10 minuten gemiddelde uit 1 minuut gemiddeldes die zijn genomen uit 1 seconde metingen. Uiteindelijk is er dus een gemiddelde van 600 afzonderlijke metingen.

Tabel 2: Luchtstroming in DWD

$h(\text{cm})$	$v(\text{m/s})$
$3,0 \pm 0,05$	$0,106 \pm 0,006$
$6,0 \pm 0,05$	$0,091 \pm 0,003$
$9,0 \pm 0,05$	$0,238 \pm 0,017$
$12,0 \pm 0,05$	$0,512 \pm 0,015$

Tabel 3: Luchtstroming buiten DWD

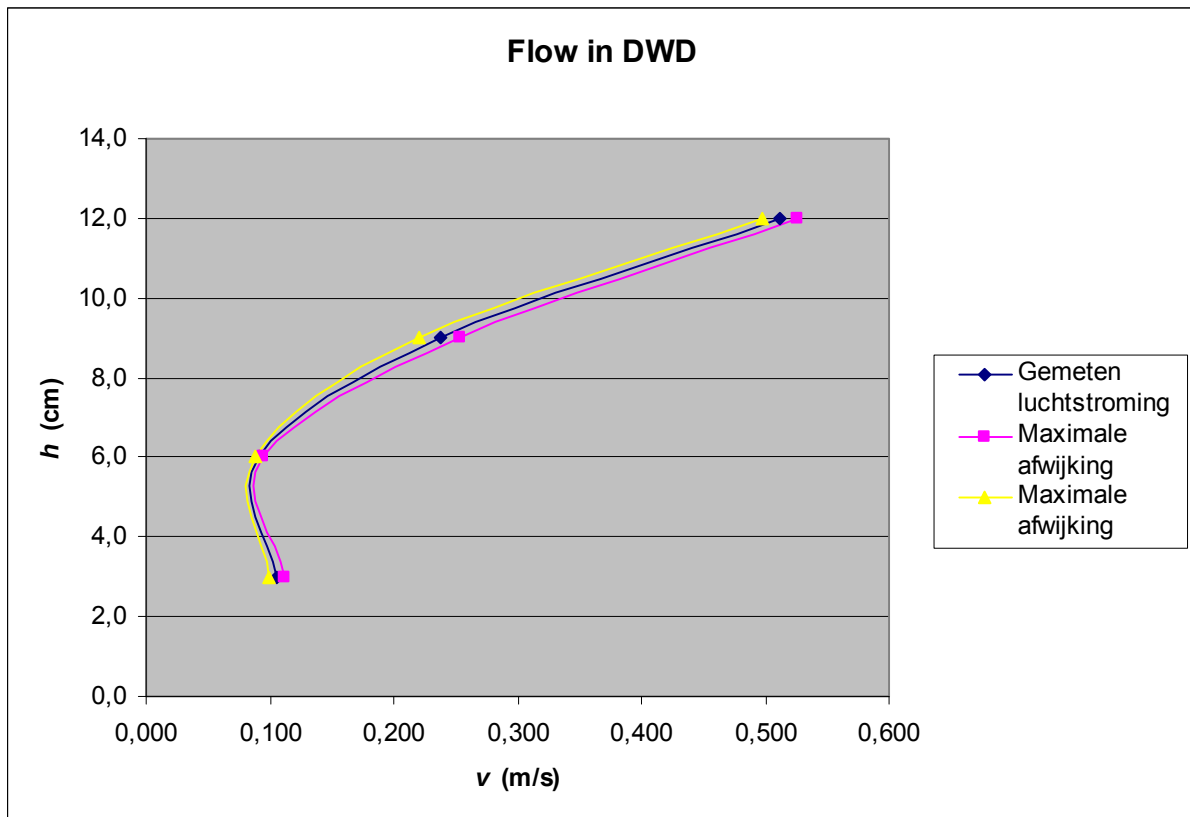
$h(\text{cm})$	$v(\text{m/s})$
$0,0 \pm 0,05$	$0,000 \pm 0,000$
$1,5 \pm 0,05$	$0,067 \pm 0,005$
$4,0 \pm 0,05$	$0,110 \pm 0,010$
$7,0 \pm 0,05$	$0,208 \pm 0,009$
$9,5 \pm 0,05$	$0,523 \pm 0,012$
$12,5 \pm 0,05$	$0,583 \pm 0,029$



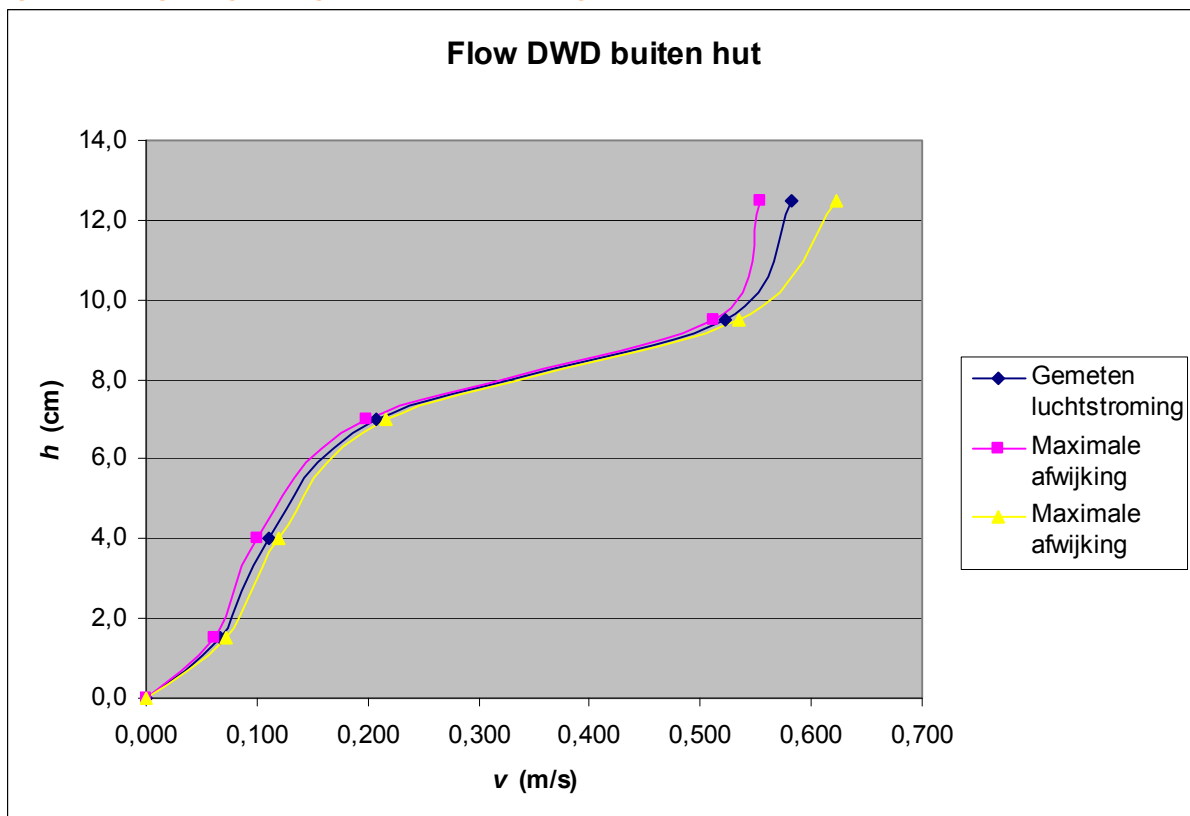
Figuur 26: Hoogte in de hut uitgezet tegenover luchtstroming

In figuur 26 staat de hoogte h in cm in de hut uit tegen de luchtstroming v in m/s. In deze figuur is goed te zien dat boven 6 cm de luchtstroming in de hut sterk toeneemt. Verder is ook te zien dat tussen 3 cm en 6 cm in de hut de luchtstroming daalt, dit heeft vermoedelijk te maken met het Coanda effect. Dit effect zorgt ervoor dat vloeistof of gasstroom de neiging heeft om het oppervlak te volgen i.p.v. een rechte lijn in de oorspronkelijke richting te volgen. De verklaring tussen vloeistoffen en gassen is verschillend, omdat hier te maken is met luchtstroming, wordt er gekeken naar de verklaring voor gassen. Bij een convexe kromming is, de druk lager dan de omgevingsdruk. Hierdoor zal de stroomsnelheid hoger worden. Bijgevolg van het principe is dat stroming tegen het oppervlak aan trekt en uiteindelijk af zal buigen. Het Coanda

effect is te zien in figuur 27, want de 'dip' is in figuur 20 duidelijker te zien dan in figuur 26.



Figuur 27: hoogte uitgezet tegenover de luchtstroming



Figuur 28: Luchtstroming buiten DWD

Het nulpunt ligt op de hoogte van de bodemplaat van de hut.

Figuur 28 geeft de metingen weer die op de verschillende lamel openingen. Het eerste meetpunt (bij de bodemplaat) ligt op 0,0 cm en de bovenste lamel (de 'uitflow' van de ventilator) ligt op 12,5 cm. Meetpunt 5, dat op 9,5 cm ligt, ligt net onder de ventilator.

Conclusie

De conclusie van deze luchtstroming metingen van de DWD is dat de luchtstroming op sensor hoogte geen 1,0 m/s is zoals de collega's van de DWD dachten. De werkelijke luchtstroming rond de sensor is $0,24 \pm 0,02$ m/s, dit is een factor 4 kleiner. Het profiel van de luchtstroming is in de hut zoals verwacht. Er is duidelijk in figuur 26 te zien dat het Coanda effect optreedt en als men dichterbij de ventilator komt dat de luchtstroming ook toeneemt. Voor de luchtstroming buiten de hut is te zien dat de ventilator rondpompt. Het verschil tussen meetpunten 5 en 6 is gelijk aan 0,060 m/s, waardoor het vermoeden bestaat dat de ventilator lucht rondpompt. Om dit te kunnen vast stellen is om de luchtstroming visueel waarneembaar te maken. Dit kan het beste met rook. Hierdoor zal de luchtstroming zichtbaar worden en is aan te tonen of de ventilator rondpompt.

§3.2.2 KNMI geventileerde hut

Één van deze labexperimenten is de luchtstroming meten van een KNMI geventileerde hut. De luchtstroming in de hut wordt gemeten.

De luchtstroming wordt gemeten, omdat er een ventilator, debiet van 60l/min, in de hut zit. In dit experiment wordt bekeken wat er gebeurt als de luchtstroming in de omgeving van de hut gelijk is aan 0,0 m/s. De hoofdvragen in het experiment zijn:

- Hoe groot is de luchtstroming op sensor hoogte;
- Wat is het profiel in de hut;
- Is de luchtstroming die gecreëerd wordt groot genoeg zodat de stralingseffecten, die optreden tijdens de events van weinig luchtstroming, verkleind kunnen worden.

Werkwijze

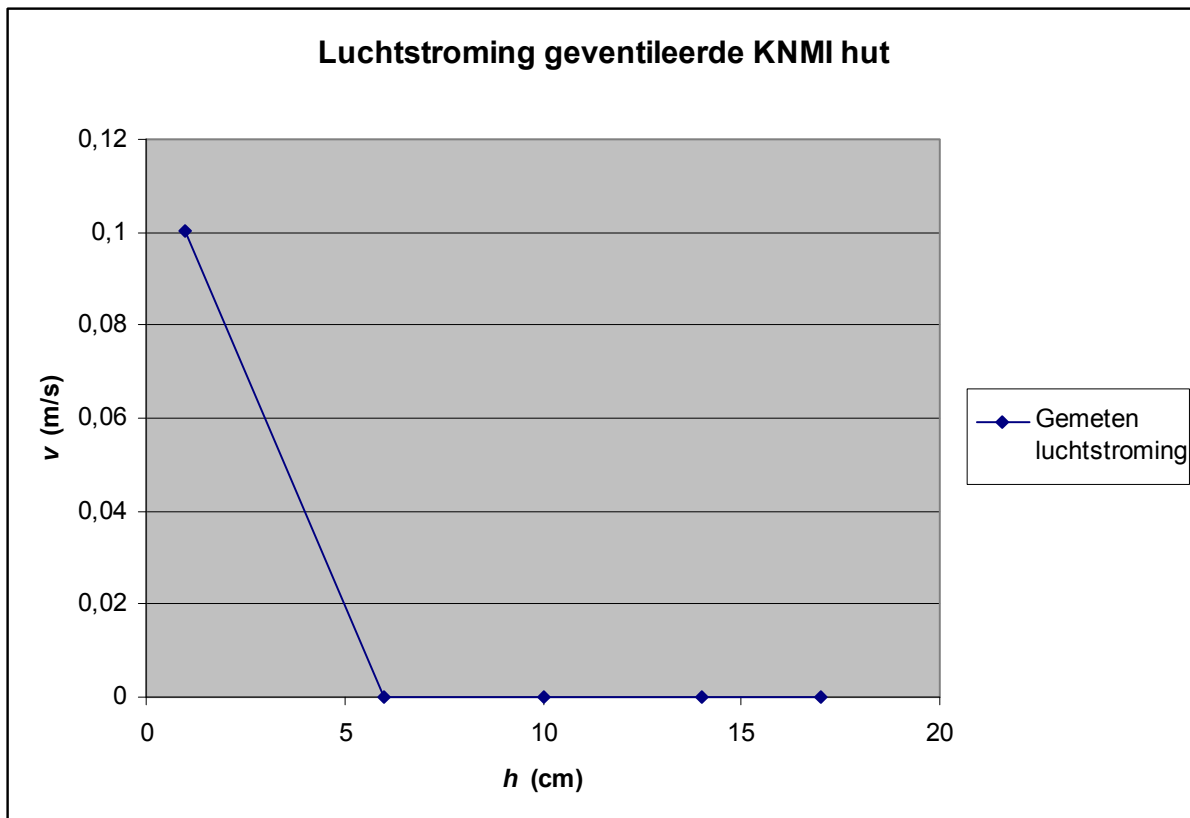
De werkwijze van dit experiment is hetzelfde als die van het experiment van luchtstroming met de DWD hut. Er wordt op de lamel openingen gemeten en op sensor hoogte.

Meetresultaten

In tabel 4 staat de luchtstroming uit tegen de hoogte in cm. Verder is de luchtstroming v een 5 minuten gemiddelde uit 1 minuut gemiddeldes die zijn genomen uit 1 seconde metingen. Uiteindelijk is er dus een gemiddelde van 300 afzonderlijke metingen.

Tabel 4: Luchtstroming in geventileerde KNMI hut

$h(\text{cm})$	$v(\text{m/s})$
$1,0 \pm 0,05$	$0,100 \pm 0,013$
$6,0 \pm 0,05$	0,000
$10,0 \pm 0,05$	0,000
$14,0 \pm 0,05$	0,000
$17,0 \pm 0,05$	0,000



Figuur 29: Luchtstroming in de hut uitgezet tegenover de hoogte

In figuur 29 is te zien, dat op 1 hoogte, 1 lamel opening, een luchtstroming te zien is. Op alle andere hoogtes is er geen luchtstroming te zien, omdat daar de luchtstroming te klein is om door de hot wire anemometer te laten reageren. Tussen de 1,0 en 6,0 cm meer meetpunten te meten is niet van relevantie, omdat de maximale luchtstroming zit bij de openingen van de lamellen en daar tussen is de luchtstroming minimaal.

Berekeningen

De minimale luchtstroomsnelheid door de lamellen op sensor hoogte:

De afmetingen van de hut zijn:

$$r_{hut} = 1,25 \text{ dm}$$

$$h_{hut} = 1,60 \text{ dm}$$

$$V_{hut} = \pi r^2 h \quad [11]$$

Waarin $V_{hut} = 7,85 \text{ dm}^3 \approx 8,0 \text{ l}$

Er zijn 7 lamellen dus moet er minimaal per lamel $8/7 \text{ l}$ stromen per 12s.

$$Q_{lamel} = A_{lamel} v_{lamel} \quad [12]$$

$$A_{lamel} = 2\pi r_{hut} h_{lamel} \quad [13]$$

Waarin $h_{lamel} = 0,23 \text{ dm}$

Zodat $A_{lamel} = 0,1806 \text{ dm}^2$

$$Q_{lamel} = 8/7 \text{ l} / 12 \text{ s} \rightarrow 2/21 \text{ l/s}$$

Invullen van deze gegevens in vergelijking 12 geeft:

$$v_{\text{lamel}} = \frac{2 / 21}{0,1806} = 0,52 \text{ dm/s} = 0,052 \text{ m/s}$$

Deze conclusie kan alleen getrokken worden als alleen de lucht om de 12 sec ververscht moet worden. In dit geval moet er ook met opwarming van de lucht door de lamellen rekening worden gehouden. Een minimale luchtstroming wordt in de vervollexperimenten bepaald.

Conclusie

De conclusie van dit experiment is vergeleken met de DWD hut is de luchtstroming veel lager dan bij de DWD hut 0,00 m/s tegen 0,24 m/s. Hieruit blijkt dat de ventilator niet krachtig genoeg is of dat de hitte draad anemometer een te grote aanloopsnelheid nodig heeft om te kunnen reageren. Hierdoor is niet te bepalen wat het debiet door de lamellen is op sensor hoogte. Het profiel van de hut is niet duidelijk te zien in figuur 29. Ook hier is de oorzaak dat de Dantec een te hoge aanloopsnelheid heeft. Om dit op te lossen is een mogelijkheid een krachtigere ventilator te gebruiken waardoor de luchtstroming over de gehele hut groter wordt. Hierdoor is de luchtstroming door de lamellen te meten. Men kan nu het debiet bepalen wat er door de lamellen stroomt.

§3.2.3 KNMI geventileerde hut, krachtige pomp

Na het experiment dat gedaan is met de ventilator die voor het project besteld was, bestond het vermoeden dat de ventilator te zwak is om de lucht snel genoeg te kunnen verversen. Daarom is besloten een experiment uit te voeren met een veel krachtiger pomp zodat goed antwoord kan worden gegeven op de onderzoeksvragen van het onderzoek in §3.2.2.

De luchtstroming wordt gemeten, omdat er een ventilator in de hut onder de hut zit, deze ventilator staat m.b.v. een pijpje in verbinding met de hut, dit om het rondpompen van lucht te voorkomen. In dit experiment wordt bekeken wat er gebeurt als de luchtstroming in de omgeving van de hut gelijk is aan 0,0 m/s. De luchtstroming van de pomp is 20,0 m/s. De hoofdvragen in het experiment zijn:

- Hoe groot is de luchtstroming op sensor hoogte;
- Wat is het stromingsprofiel in de hut;

Werkwijze

De werkwijze van dit experiment is hetzelfde als die van het experiment van luchtstroming met de KNMI hut met de te zwakke ventilator. Naast dat het profiel in de hut meten, wordt er ook gemeten hoeveel luchtstroming er over de lamellen de hut binnenstromen.

Meetresultaten

Tabel 5: Luchtstroming in de KNMI hut

$h \text{ (cm)}$	$v \text{ (m/s)}$
$3,0 \pm 0,05$	$1,183 \pm 0,063$
$8,0 \pm 0,05$	$0,604 \pm 0,034$
$10,0 \pm 0,05$	$0,360 \pm 0,026$
$12,5 \pm 0,05$	$0,184 \pm 0,023$
$14,5 \pm 0,05$	$0,133 \pm 0,027$
$16,0 \pm 0,05$	$0,099 \pm 0,025$

In tabel 5 staat de luchtstroming uit tegen de hoogte in cm. Verder is de luchtstroming v een 10 minuten gemiddelde uit 1 seconde metingen. Uiteindelijk is er dus een gemiddelde van 600 afzonderlijke metingen.

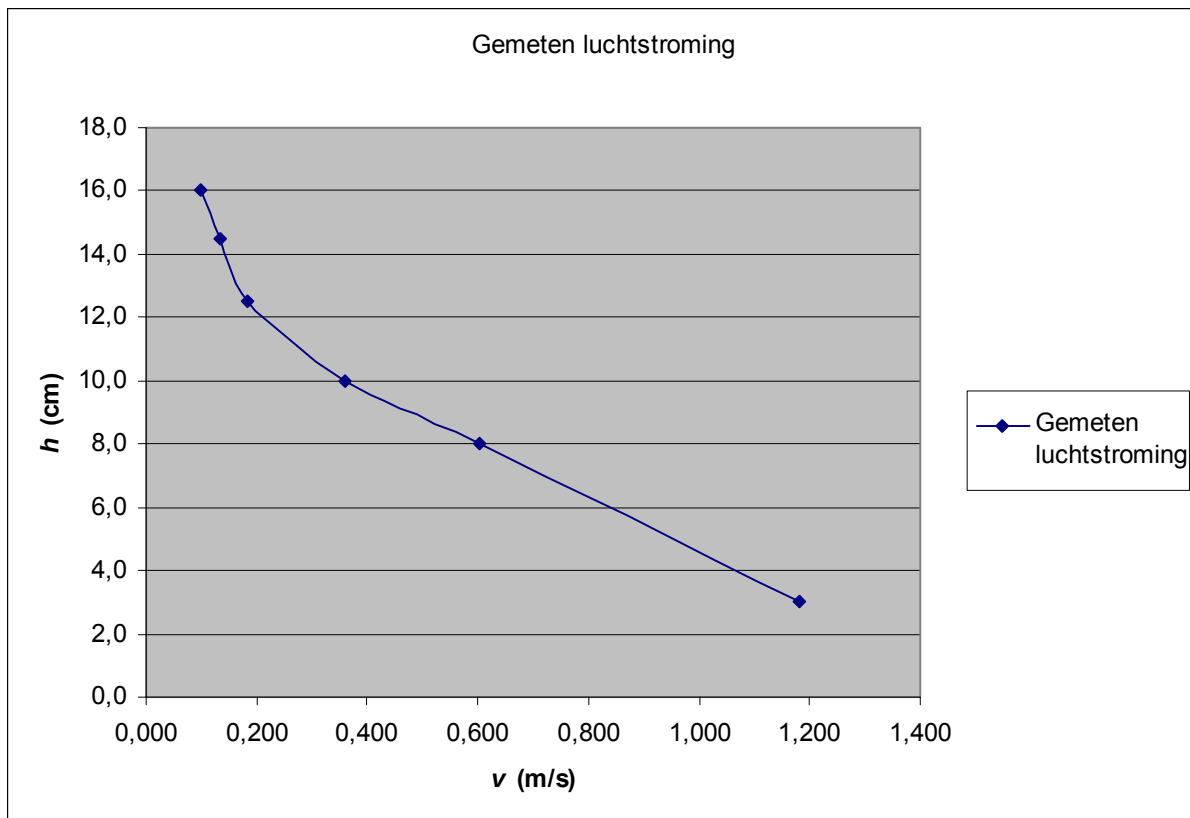
Tabel 6: Luchtstroming over de lamellen van de KNMI hut aan de kant met minder ventilatie

h (cm)	v (m/s)
$1,0 \pm 0,05$	$0,338 \pm 0,037$
$4,0 \pm 0,05$	$0,270 \pm 0,039$
$6,0 \pm 0,05$	$0,194 \pm 0,025$
$8,0 \pm 0,05$	$0,129 \pm 0,023$
$10,0 \pm 0,05$	$0,097 \pm 0,015$
$12,5 \pm 0,05$	$0,074 \pm 0,017$
$15,0 \pm 0,05$	$0,075 \pm 0,013$

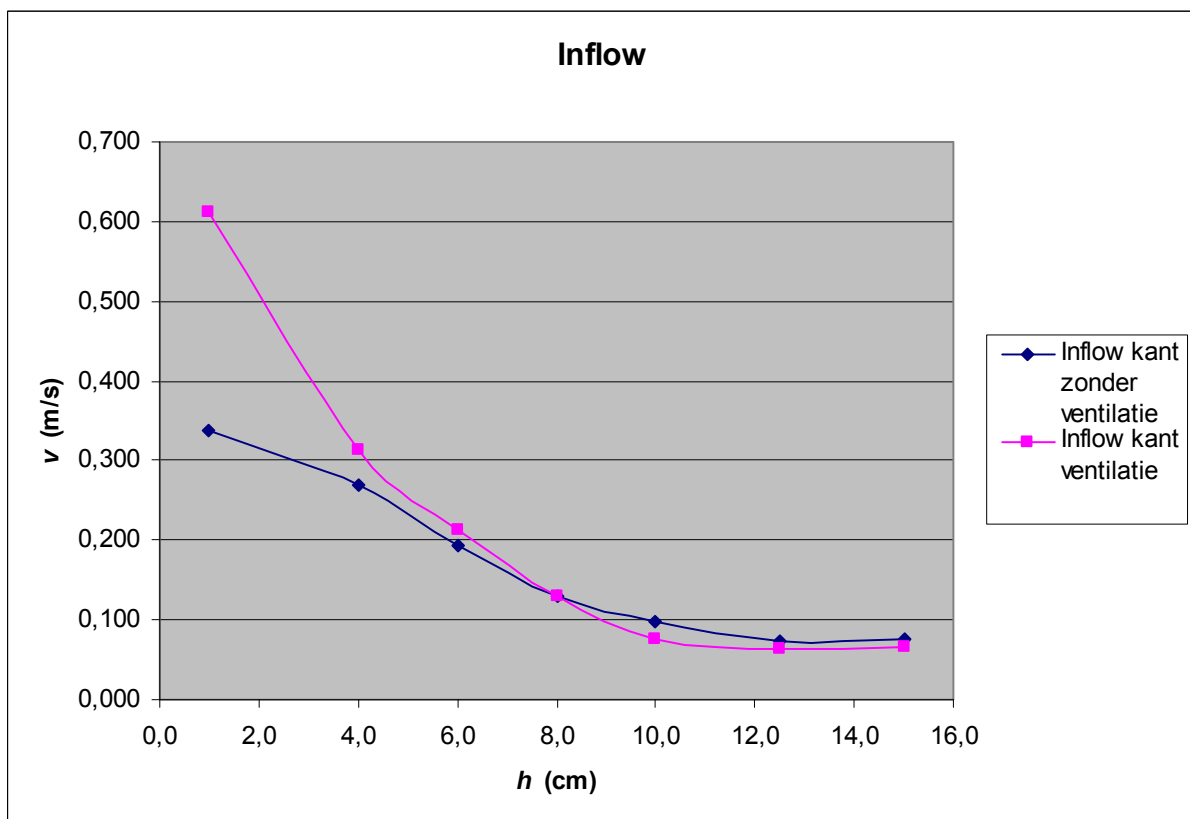
In tabel 6 staat de lamellen (geteld vanaf de onderste lamel) uit tegen over de luchtstroming v . Verder is de luchtstroming een 10 minuten gemiddelde uit 1 minuut gemiddeldes die zijn genomen uit 1 seconde metingen. Uiteindelijk is er dus een gemiddelde van 600 afzonderlijke metingen.

Tabel 7: Luchtstroming over de lamellen van de KNMI hut aan de kant met meer ventilatie

h (cm)	v (m/s)
$1,0 \pm 0,05$	$0,611 \pm 0,036$
$4,0 \pm 0,05$	$0,314 \pm 0,019$
$6,0 \pm 0,05$	$0,214 \pm 0,013$
$8,0 \pm 0,05$	$0,129 \pm 0,023$
$10,0 \pm 0,05$	$0,077 \pm 0,024$
$12,5 \pm 0,05$	$0,063 \pm 0,009$
$15,0 \pm 0,05$	$0,067 \pm 0,021$



Figuur 30: Gemeten luchtstroming midden in de hut



Figuur 31: Luchtstroming de hut in

In figuur 30 is goed te zien dat met een krachtiger ventilator een duidelijk profiel te zien is in de hut, waarbij vanaf een hoogte van 12,0 cm de luchtstroming op alle punten daarboven gelijk is. In figuur 31 staan de 2 luchtstromen (1 aan de kant zonder ventilatie en 1 aan de andere kant met ventilatie). Hier uit blijkt dat het alleen maar uit maakt op lager gelegen punten waar de ventilatie zit, boven 4,0 cm is de luchtstroming over de lamellen overal gelijk. Op sensor hoogte (7,0 cm) maakt het niks uit aan welke kant de ventilator zit.

Conclusie

Het grote voordeel van een grotere pomp is dat er een factor 10 grotere luchtstroom loopt. Hierdoor zijn alle luchtstromingen op de lamellen te meten. De grootste luchtstroom verschillen zitten dicht bij de opening van de pomp en verder weg van de pomp zijn de verschillen kleiner geworden. Daarnaast is er ook verschil bij het meten aan verschillende kanten van de pomp, vooral dichtbij de opening naar de pomp toe kan dat met een factor 2 verschillen, zoals te zien is in figuur 31. Met een grotere pomp treedt ook het Coanda (18) effect op, net als in de DWD hut gebeurt op de een na laatste lamel van het hutje. Of de ventilatiesnelheid groot genoeg is moet blijken uit de vervolg experimenten. De grote pomp is alleen gebruikt om de flow door de hut kunnen meten. Met de ventilator was de ventilatiesnelheid te klein voor de hot wire anemometer om te meten.

Naast het voordeel is er ook een nadeel aan ventileren. Bij neerslag in de vorm van regen, sneeuw of hagel kan het naar binnen geblazen worden, hierdoor kan er vocht op de sensor komen en ontstaat het nattebol effect wat niet gewenst is. In de veldopstelling moet blijken of dat voor de gekozen oplossing het geval is.

§3.2.4 KNMI geventileerde hut, psychrometerpomp

Na de luchtstroming experimenten van de pompen is er voor gekozen om de bestaande pomp, die ook in een psychrometeropstelling (zie §1.2.3) gebruikt wordt, te gebruiken. Het voordeel van deze pomp is dat het een bekende pomp is op het KNMI en veel gebruikt wordt, daarbij heeft de pomp ook een groot debiet (600 l/min). In dit experiment wordt gekeken naar de luchtstroming in de hut als de pomp aanstaat. De hoofdvragen in dit experiment zijn:

- Hoe groot is de luchtstroming op sensorhoogte?
- Wat is het stromingsprofiel door de hut en komt deze overeen met het profiel van de grote pomp (§3.2.3)?
- Treedt net als bij de andere pompen en hut het Coanda effect op?

Werkwijze

De werkwijze van dit experiment is het zelfde als van de luchtstroom metingen bij de te zwakke pomp en de grote pomp (§ 3.2.2 en § 3.2.3).

Meetresultaten

Tabel 8: Luchtstroming in de hut

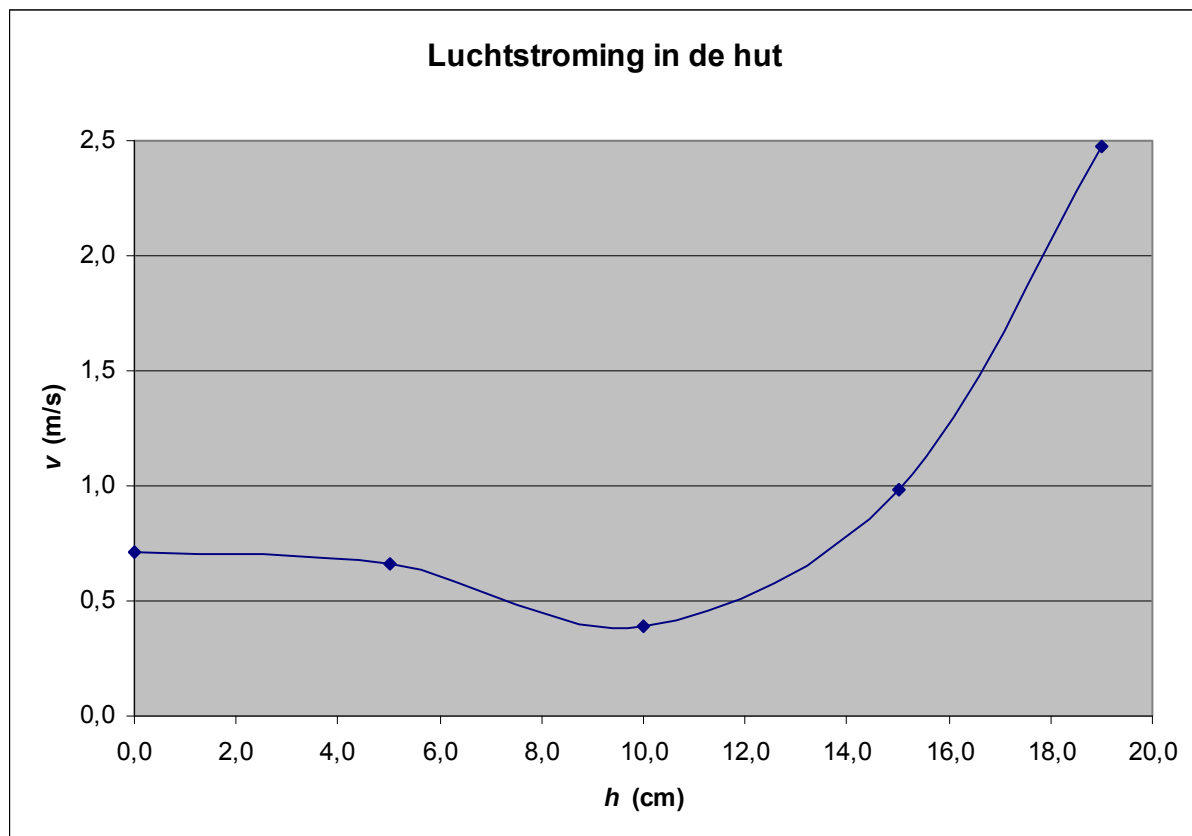
h (cm)	v (m/s)
$0,0 \pm 0,05$	$0,714 \pm 0,008$
$5,0 \pm 0,05$	$0,662 \pm 0,003$
$10,0 \pm 0,05$	$0,388 \pm 0,007$
$15,0 \pm 0,05$	$0,985 \pm 0,021$
$19,0 \pm 0,05$	$2,475 \pm 0,014$

In tabel 8 is de luchtstroming door de hut te zien, de hoogtes zijn gekozen op de openingen van de hut. De lucht komt op deze posities binnen en is het interessant om te meten. De waarden van v zijn een gemiddelde van 120 samples.

Tabel 9: Luchtstroming over de lamellen de hut in

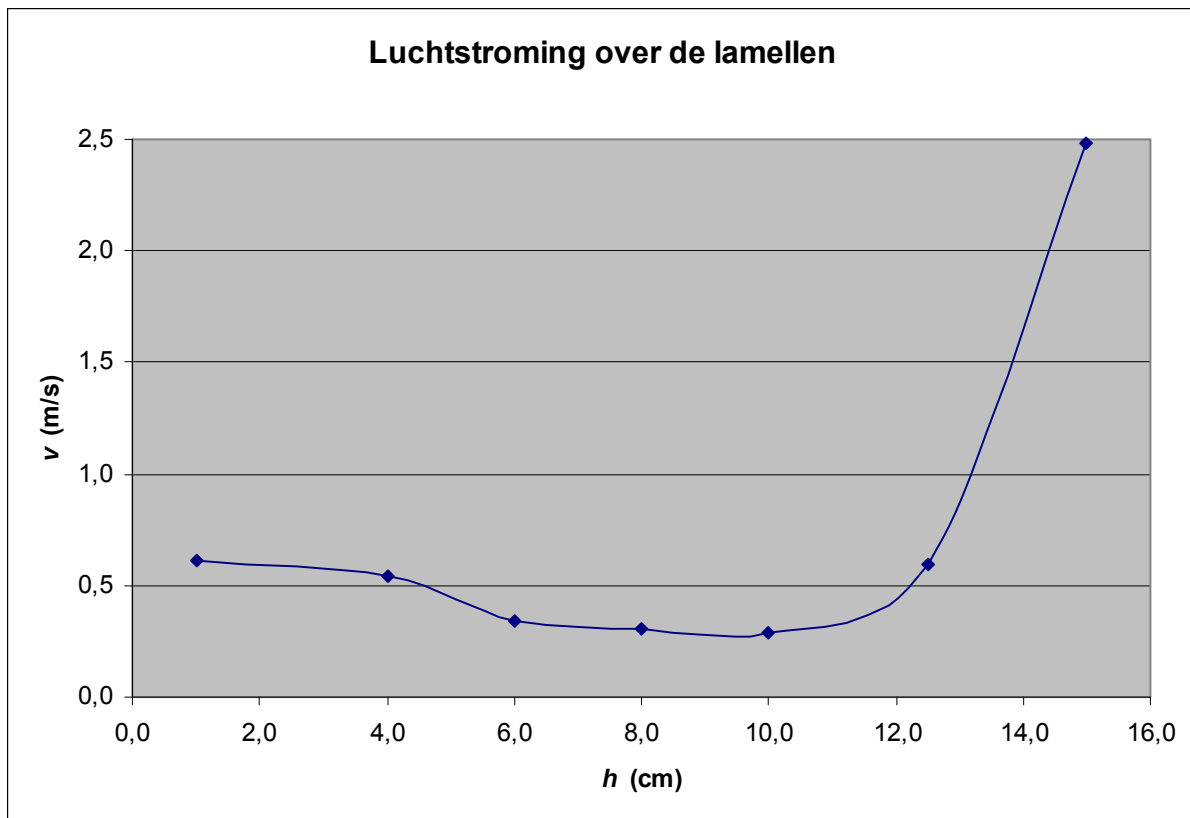
h (cm)	v (m/s)
$1,0 \pm 0,05$	$0,612 \pm 0,008$
$4,0 \pm 0,05$	$0,542 \pm 0,017$
$6,0 \pm 0,05$	$0,343 \pm 0,013$
$8,0 \pm 0,05$	$0,309 \pm 0,003$
$10,0 \pm 0,05$	$0,285 \pm 0,008$
$12,5 \pm 0,05$	$0,594 \pm 0,021$
$15,0 \pm 0,05$	$2,485 \pm 0,014$

In tabel 9 is de luchtstroming te zien over de lamellen de hut in, de hoogtes zijn de opening van de lamellen de hut in. Dit zijn de enige plekken om te kunnen meten. De waarden van v zijn net als in tabel 9 een gemiddelde van 120 samples.



Figuur 32: Stromingsprofiel in de hut met een Psychrometerpomp

In figuur 32 is te zien dat er op de bodem een windsnelheid is van 0,71 m/s, naarmate de hoogte toe neemt is er ook te zien dat het coanda effect weer optreedt (rond een hoogte van 10 cm). Na de 10 cm neemt de luchtstroming extreem toe, binnen 9 cm met 2 m/s (meer dan 500%). Waarom dit in de hut gebeurt, is niet te verklaren. Als er rond om te hut wordt gemeten (op de lamellen), kan de instroomlucht worden gemeten, als deze waarden ongeveer gelijk zijn, kan er vastgesteld worden dat de metingen juist zijn.



Figuur 33: Luchtstroming over de lamellen de hut in

Als figuur 33 vergeleken wordt met figuur 32 is goed te zien dat de figuren ongeveer aan elkaar gelijk zijn. Hierdoor kan vastgesteld worden dat er geen meetfouten zijn gemaakt en dat de extreme waarde op de toplamel van de hut correct is. Grote invloed zal het niet hebben op de temperatuurmeting, omdat het element op 8,0 cm hoogte zit. Op 8,0 cm is het coanda effect het grootst, maar de luchtstroming blijft groot genoeg om voldoende lucht rond te sensor te laten stromen.

Conclusie

De conclusie van dit experiment met de psychrometerpomp is dat de luchtstroming rond om de sensor gelijk is aan $0,50 \pm 0,01$ m/s. Dit is genoeg om de luchtstroming rond te sensor snel genoeg te laten gaan. Ook treedt het coanda effect op net als bij de DWD hut, maar het enige punt van discussie is de grote luchtstroming aan de bovenkant van de hut. Deze stijgt naar 2,5 m/s in de top van de hut, wat de oorzaak van deze grote luchtstroming is niet bekend. Daarnaast heeft het niet de hoogste prioriteit om te onderzoeken, omdat de sensor niet op deze hoogte zit. Na dit onderzoek is er gekozen om deze pomp in de veldopstelling te gebruiken bij de KNMI geventileerde hut.

§ 3.3 Blokkeringsfactor stralingsafschermingen

Nu de luchtstromingen door de stralingsafschermingen gemeten zijn, wordt er nog een experiment gedaan m.b.t. de blokkeringsfactor van beide stralingsafschermingen. Hiermee kan worden aangetoond hoe gestroomlijnd de hut is en bij welke windsnelheid buiten de hut de luchtstroming in de hut te klein wordt om natuurlijke ventilatie van de sensor te kunnen garanderen. Aan dit experiment zitten de volgende onderzoeksvragen gekoppeld:

- Wat is de blokkeringsfactor van de stralingsafschermingen?
- Bij welke windsnelheid (buiten de hut) wordt de luchtstroming in de hut zo klein dat de ventilator in de hut zeker aan moet staan?

Werkwijze

Voor dit experiment worden de KNMI en DWD hut gebruikt. Beide hutten worden in de windtunnel gezet. De windtunnel wordt op een snelheid gezet van 5,0 m/s gezet, in de hut wordt m.b.v. een hot wire anemometer de windsnelheid in de hut bepaald. Dit gebeurt op 3 verschillende hoogtes: 4, 8 en 12 cm. Nadat de windsnelheid in de hut wordt gemeten op de drie verschillende hoogtes wordt de windsnelheid van de windtunnel met 0,5 m/s verlaagd. De laagste windsnelheid waarmee gemeten wordt is 1,0 m/s.

Meetresultaten

In tabel 10 en 11 staan de meetresultaten van deze metingen. In tabel 10 staan de resultaten van de KNMI hut en in tabel 11 staan de resultaten van de DWD hut.

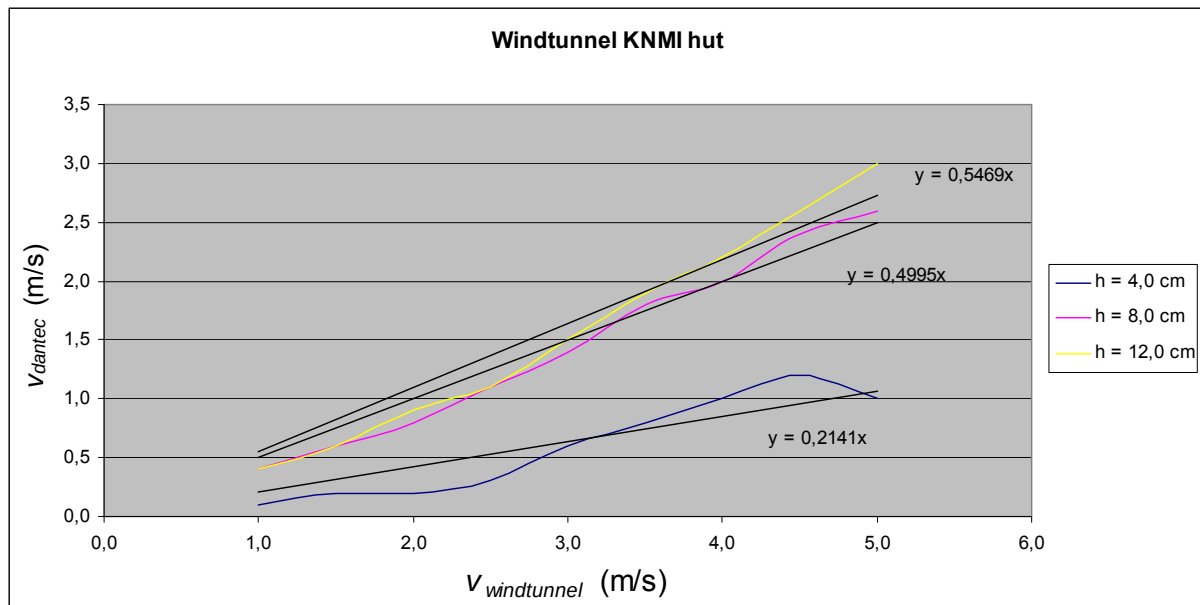
Tabel 10: Meting van blokkeringfactor KNMI hut

hoogte = 4,0 cm		hoogte = 8,0 cm		hoogte = 12,0 cm	
$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)	$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)	$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)
5,00	1,0	5,00	2,6	5,00	3,0
4,50	1,2	4,50	2,4	4,50	2,6
4,00	1,0	4,00	2,0	4,00	2,2
3,50	0,8	3,50	1,8	3,50	1,9
3,00	0,6	3,00	1,4	3,00	1,5
2,50	0,3	2,50	1,1	2,50	1,1
2,00	0,2	2,00	0,8	2,00	0,9
1,50	0,2	1,50	0,6	1,50	0,6
1,00	0,1	1,00	0,4	1,00	0,4
$\Delta v_w = 0,005$		$\Delta v_D = 0,05$			

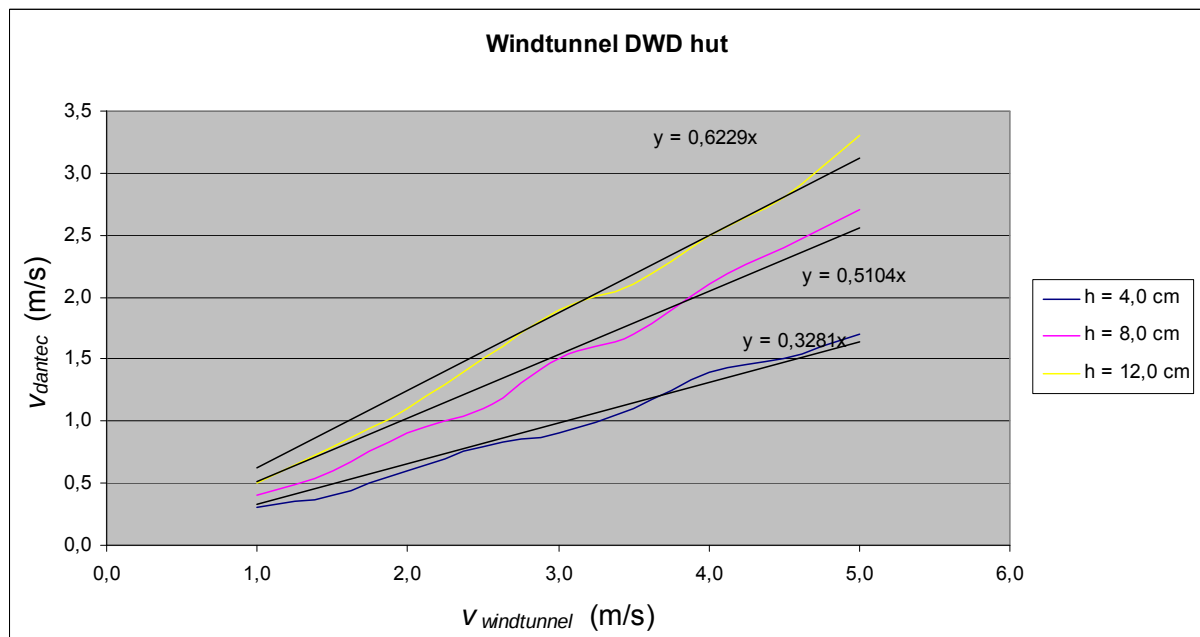
Tabel 11: Metingen van blokkeringfactor DWD hut

hoogte = 4,0 cm		hoogte = 8,0 cm		hoogte = 12,0 cm	
$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)	$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)	$v_{\text{windtunnel}}$ (m/s)	v_{dantec} (m/s)
5,00	1,7	5,00	2,7	5,00	3,3
4,50	1,5	4,50	2,4	4,50	2,8
4,00	1,4	4,00	2,1	4,00	2,5
3,50	1,1	3,50	1,7	3,50	2,1
3,00	0,9	3,00	1,5	3,00	1,9
2,50	0,8	2,50	1,1	2,50	1,5
2,00	0,6	2,00	0,9	2,00	1,1
1,50	0,4	1,50	0,6	1,50	0,8
1,00	0,3	1,00	0,4	1,00	0,5
$\Delta v_w = 0,005$		$\Delta v_D = 0,05$			

In de tabellen is goed te zien dat de windsnelheid in hut toeneemt als de hoogte waar de windsnelheid wordt gemeten ook toeneemt. Dit heeft te maken met de constructie van de windtunnel. Deze is namelijk ontworpen om de cup-anemometer en sonische anemometers te kunnen iken en niet voor deze experimenten, hierdoor zullen er verschillen ontstaan tussen de verschillende hoogtes.



Figuur 34: windsnelheid binnen en buiten de hut van de KNMI hut



Figuur 35: windsnelheid binnen en buiten de hut van de DWD hut

In figuur 34 is op de x-as de windsnelheid van de windtunnel in m/s uitgezet tegen de windsnelheid gemeten door de hot wire anemometer in m/s, dit figuur hoort bij de KNMI hut. In figuur 35 staan de zelfde grootheden op de assen, maar deze figuur hoort bij de DWD hut. In de beide figuren zijn er trendlijnen getrokken door de meetwaarde, hiermee kan de blokkeringfactor bepaald worden. Wel wordt er rekening mee gehouden dat als de windsnelheid van de windtunnel 0,00 m/s de luchtstroming in de hut ook 0,0 m/s is. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat de blokkeringfactor gelijk is aan:

$$\text{Blokkeringfactor} = 1 - \text{helling trendlijn} \quad [14]$$

Conclusie

In dit experiment kunnen de volgende conclusie getrokken worden. De blokkeringsfactor van de KNMI hut op 12,0 cm hoogte is 0,45 en de blokkeringsfactor van de DWD hut op 12,0 cm hoogte is 0,37. Hiermee kan afgeleid worden dat de DWD hut beter gestroomlijnd is dan de KNMI, dit ligt ook in de lijn der verwachting wanneer de twee hutten visueel vergeleken worden. Het verschil in de blokkeringsfactoren tussen de hutten als functie van de hoogte komt door het ontwerp van de windtunnel. Verder moet bij een windsnelheid van 1,5 m/s of lager de ventilator zeker aan staan, omdat dan de windsnelheid in de hut te klein wordt. Hierdoor kan er een microklimaat ontstaan wat niet gewenst is.

§ 3.4 Responsie KNMI hut

Naast de labexperimenten die betrekking hebben op het meten van een windprofiel door de hut en de blokkeringsfactor van de hut, wordt nu de tijdresponsie (afkoelingscurve) van de hut gemeten. Dit is het laatste labexperiment van dit project voordat de opstelling op het testveld wordt gerealiseerd.

De hut wordt eerst opgewarmd en zal daarna in de windtunnel worden afgekoeld onder verschillende windsnelheden. De hoofdvragen van dit experiment zijn:

- Wat is de tijdsconstante van de hut?
- Is er verschil in afkoeling zichtbaar voor de verschillende lamellen?

Werkwijze



Op de KNMI stralingshut worden 3 thermistoren geplakt op verschillende lamellen. De locaties van de thermistoren zijn lamel 1, 4 en 7 (vanaf de bodemplaat geteld). In de klimaatkast van het ijklaboratorium wordt de hut vervolgens opgewarmd tot een eindtemperatuur van 45°C. Vervolgens wordt de hut in een isolatiebox naar de windtunnel getransporteerd, zodat er weinig warmteverlies optreedt tijdens de verplaatsing van de klimaatkast naar de windtunnel. De opstelling is te zien in

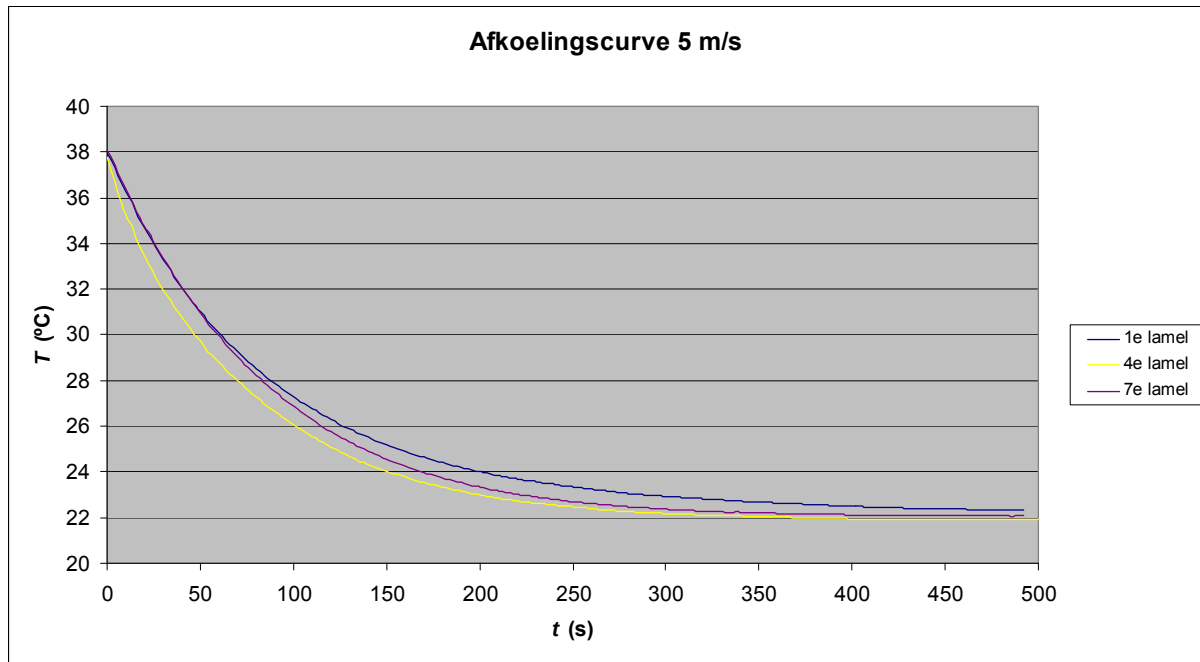
Figuur 36: Opstelling tijdresponsie experiment

figuur 36. Als de hut in de windtunnel geplaatst is en de thermistoren zijn aangesloten op de ONATIS-N SIAM (die aangesloten is op de laptop), wordt de windtunnel aanzet. De temperatuurgegevens, met een resolutie van 0,01°C, worden door de SIAM ingezameld met een meetfrequentie van 2 seconde. Er wordt gemeten bij 3 verschillende windsnelheden: 5 m/s, 2 m/s en 0 m/s (windstilte). De meting bij 0 m/s is ook nog gedaan met de T/V opstellingsbeugel (hiermee is de hut in de veldopstelling mee bevestigd aan een paal), dit om zeker te weten dat de hut zijn warmte niet verliest aan de aluminiumpijp. De hut is zo gedraaid dat de locatie van de thermistoren 90° van de aanstroomrichting van de wind afwijkt.

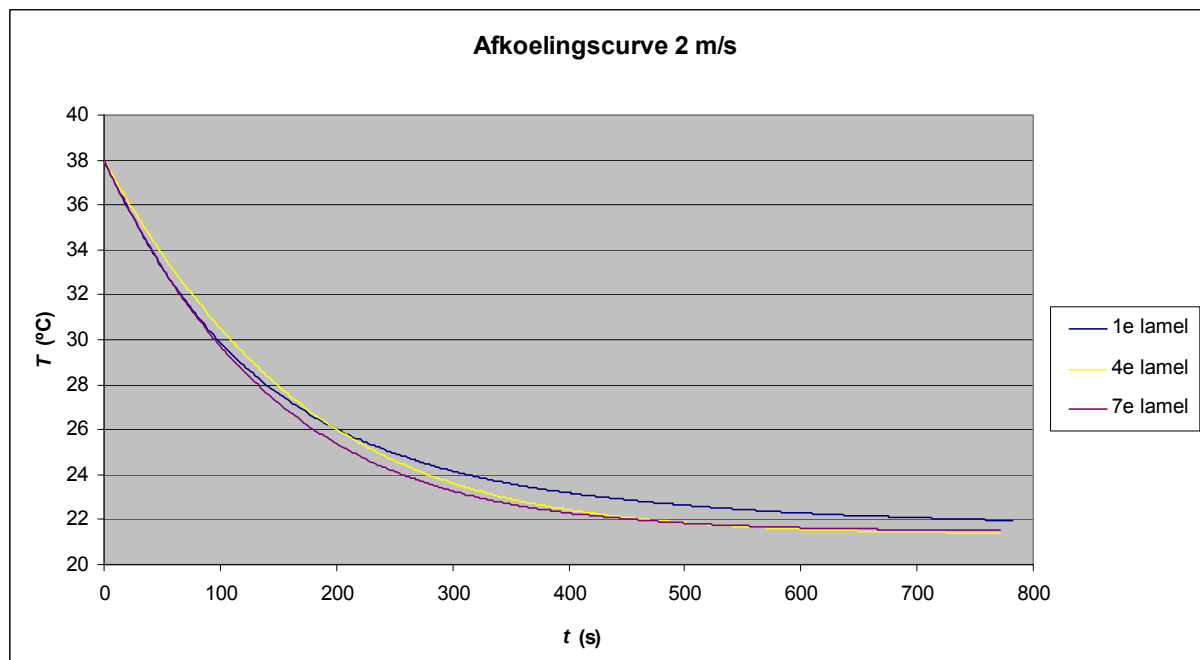
De omgevingstemperatuur in de windtunnel is 22°C, dus de eindtemperatuur van de hut ligt gelijk aan zijn omgevingstemperatuur van 22°C. De meetonzekerheid van de gebruikte NTC thermistoren bedraagt 0,10°C.

Meetresultaten

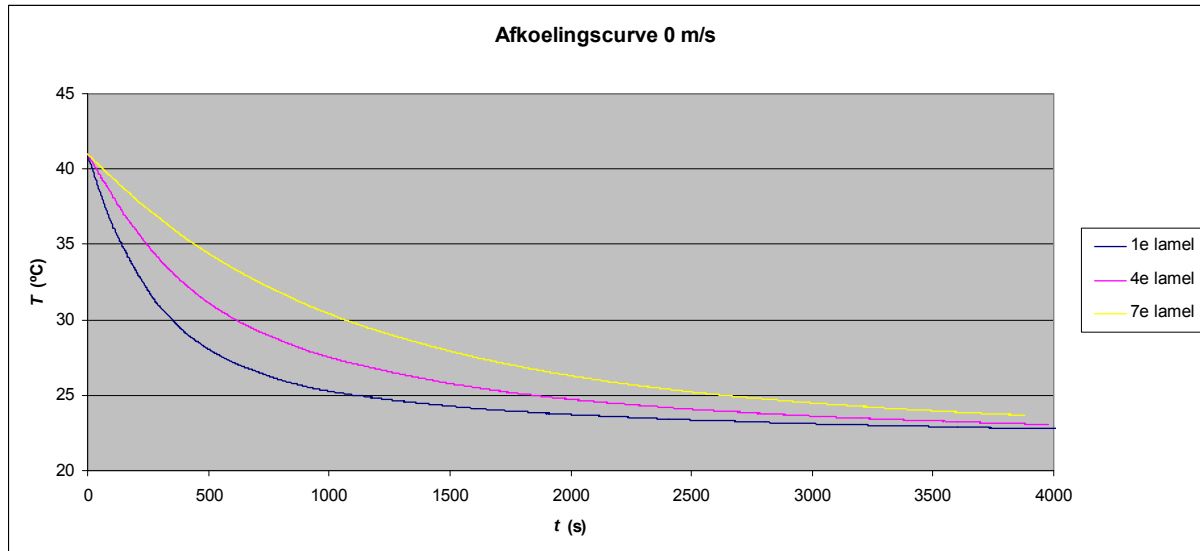
Er zijn, zoals beschreven in de werkwijze, vier metingen uitgevoerd bij verschillende windsnelheden. De resultaten staan in de figuren 37, 38, 39 en 40 uitgewerkt. Op de verticale as staat de temperatuur in °C en op de horizontale as de tijd in seconden. Er is om de 2 s een temperatuur gemeten.



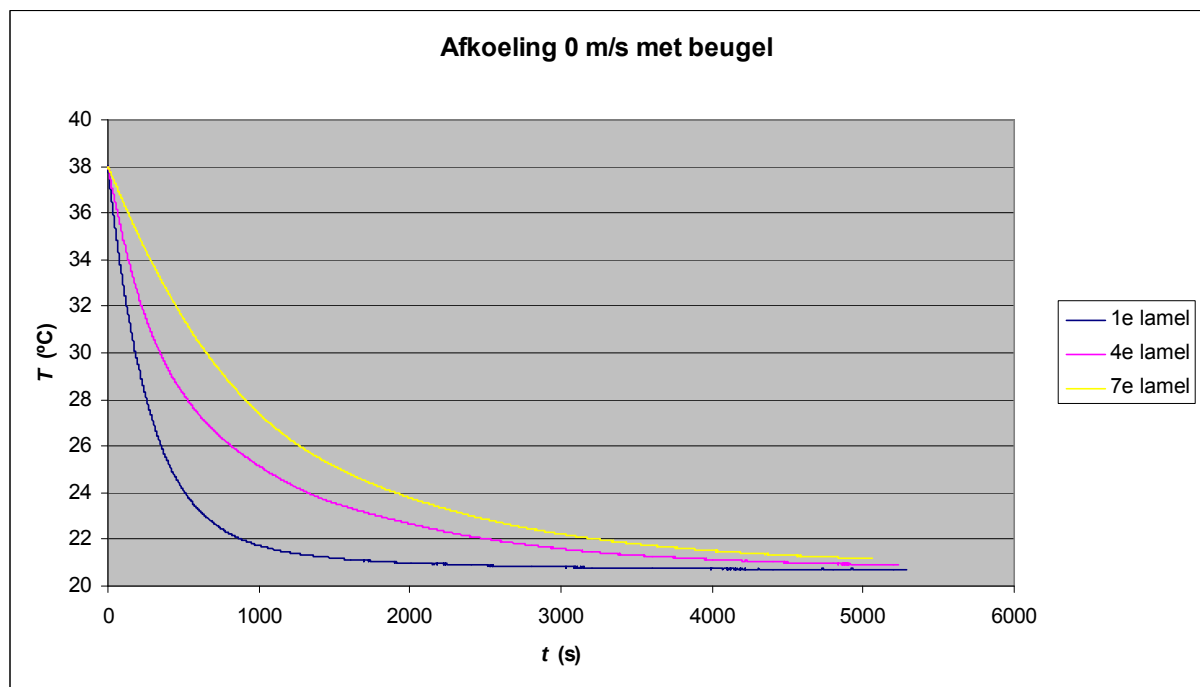
Figuur 37: Afkoelingscurve bij windsnelheid 5 m/s



Figuur 38: Afkoelingscurve bij windsnelheid 2 m/s



Figuur 39: Afkoelingscurve bij windsnelheid 0 m/s



Figuur 40: Afkoelingscurve bij 0 m/s met T/V opstellingsbeugel

In de figuren is goed te zien dat bij de hoogste windsnelheid de hut ook het snelste afkoelt. Om nu de tijdconstante van de hut te kunnen bepalen moet er een exponentiële functie door de temperatuurmetingen gefit worden. Als de berekende afkoelingscurve en de gemeten curve allebei bekend zijn kan tevens het verschil worden gerekend. Aan dit verschil is mogelijk te zien of er meetfouten zijn gemaakt of dat er andere factoren zijn die de metingen beïnvloeden.

Berekeningen

Het berekenen van de tijdconstante van de hut staat beschreven in de ISO standaard ISO/DIS 17714. Om een goede schatting van de tijdconstante van de hut te maken wordt de volgende eerste orde benadering gebruikt. In de ISO standaard staat beschreven dat het bij een windsnelheid moet van 1,0 m/s, in dit experiment wordt er gebruik gemaakt van andere windsnelheden, maar voor de conclusie zal dit niet uit maken.

$$\tau = \frac{t_3 - t_1}{\ln\left(\frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_3}\right)} \quad [15]$$

In vergelijking 15 is T_1 gelijk aan de begin temperatuur ($t_1 = 0$ s).

T_2 is het punt waarbij de temperatuur 80% van zijn (afkoelings)eindwaarde heeft bereikt.

T_3 is het punt halverwege T_1 en T_2 ($t_3 = (t_1 + t_2)/2$).

Als voorbeeld wordt er gebruik gemaakt van de afkoelingscurve bij 2 m/s en lamel 7.

Hierbij is de het punt $T_1; t_1$ gelijk aan 38,03°C; 0 s

Het punt $T_2; t_2$ gelijk aan 24,83°C; 220 s

Het punt $T_3; t_3$ gelijk aan 29,15°C; 110 s

Hieruit volgt dat de tijdconstante van lamel 7 bij een windsnelheid van 2 m/s gelijk is aan 153 s.

Tabel 12: Tijdconstanten van de verschillende windsnelheden en lamellen.

v_{wind} (m/s)	Lamel	τ (s)
5	1	81
5	4	68
5	7	94
2	1	133
2	4	182
2	7	153
0	1	303
0	4	515
0	7	1035
0 (beugel)	1	277
0 (beugel)	4	474
0 (beugel)	7	941

In tabel 12 is te zien dat de hut geen vaste tijdconstante heeft. De tijdconstante is afhankelijk van de windsnelheid, zoals verwacht mag worden. Daarnaast is de tijdconstante echter afhankelijk van de meethoogte in de hut. Dit werd niet verwacht, maar is wel te beredeneren. Er wordt aangenomen dat bij alle condities de onderste lamel het meeste contact met de buitenlucht, hierdoor zal die lamel het snelste afkoelen. De bovenste lamel heeft het minste contact met de lucht, omdat boven de lamel 2 deksels zitten, hierdoor wordt deze lamel goed geïsoleerd en zal het minst snel afkoelen.

Waarom dit verhaal wel opgaat voor windstille condities en niet voor condities met een luchtstroming langs en door de hut is niet bekend. De meeste vragen worden opgeroepen door het feit dat de middelste lamel (lamel 4) bij een windsnelheid van 5 m/s de kleinste tijdconstante heeft en bij 2 m/s de grootste tijdconstante heeft. Om meetfouten uit te kunnen sluiten als de oorzaak van dit probleem wordt de theoretische

e-machtsfunctie uitgerekend van de afkoelingscurve. Dit gebeurt door de volgende formule te gebruiken:

$$T(t) = Ae^{\frac{t}{\tau}} + B \quad [16]$$

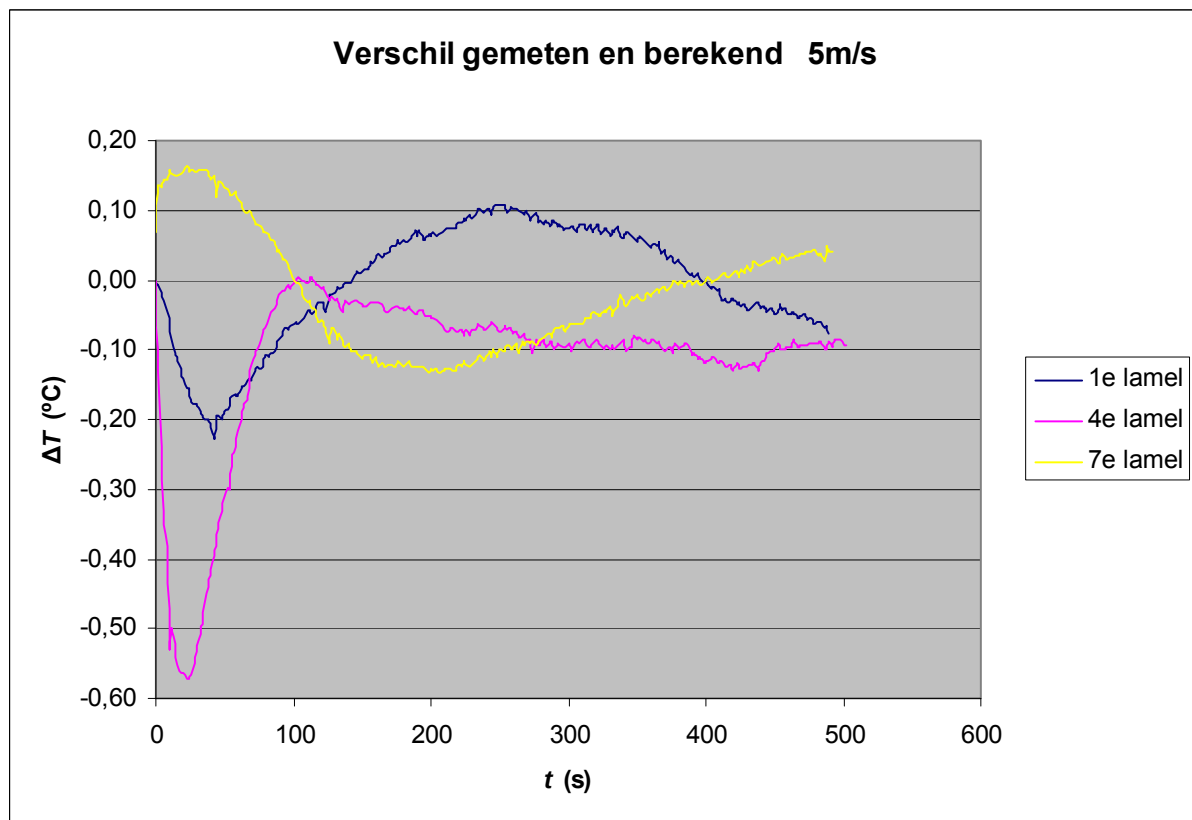
T is de gemeten waarde van de lamellen in °C

t is de tijd bij de gemeten waarde in s

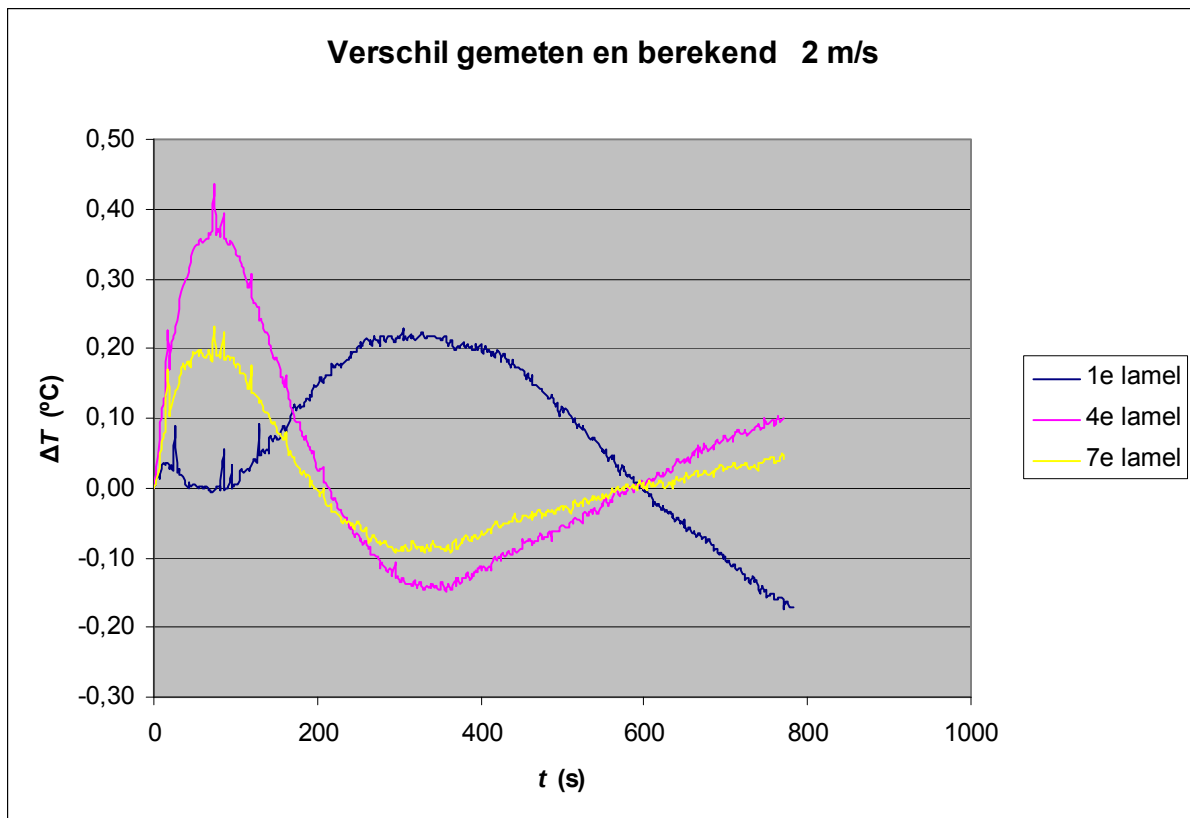
τ is de tijdconstante in s

A en B zijn constanten in °C

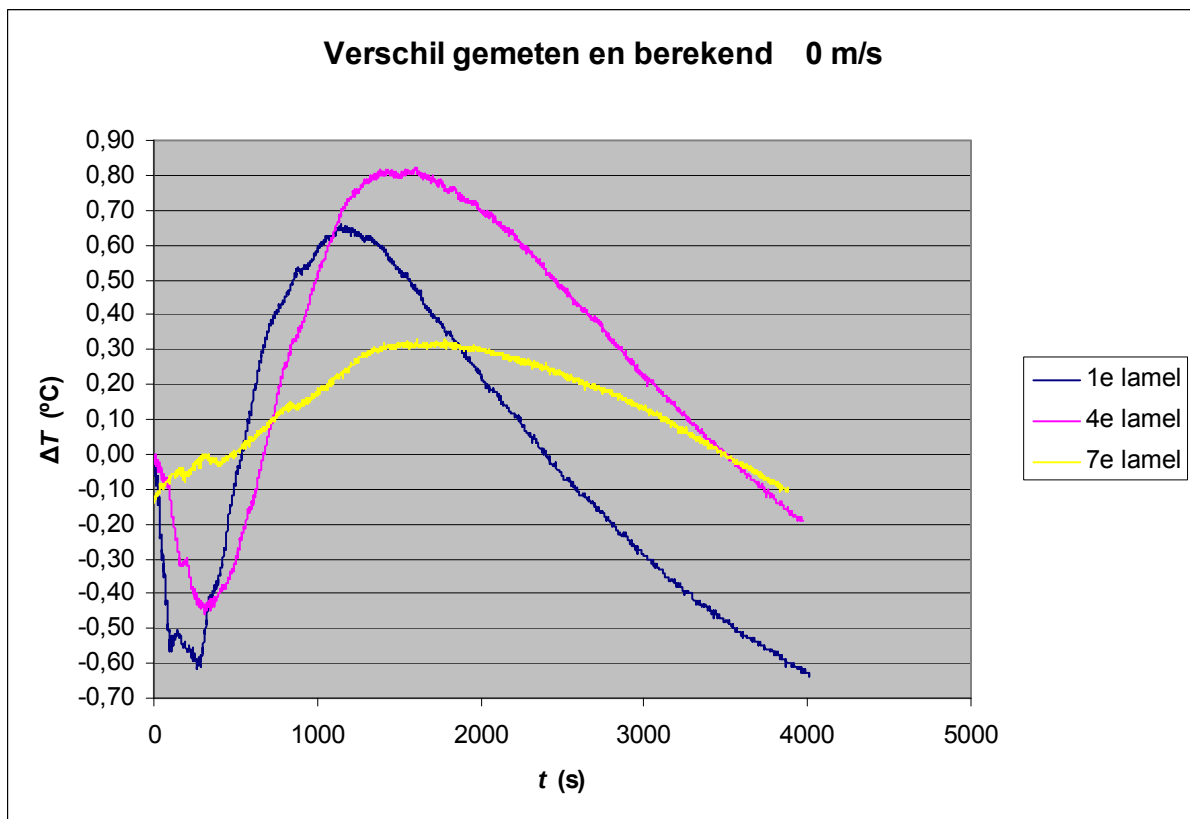
De waarden T , t en τ zijn bekend. Nu kan men met twee verschillende meetpunten de parameters A en B berekenen. Deze zijn voor elke specifiek meetpunt verschillend. In de figuren 41, 42, 43 en 44 is het verschil te zien tussen de gemeten waardes en de waardes berekend m.b.v. de bovenstaande formule.



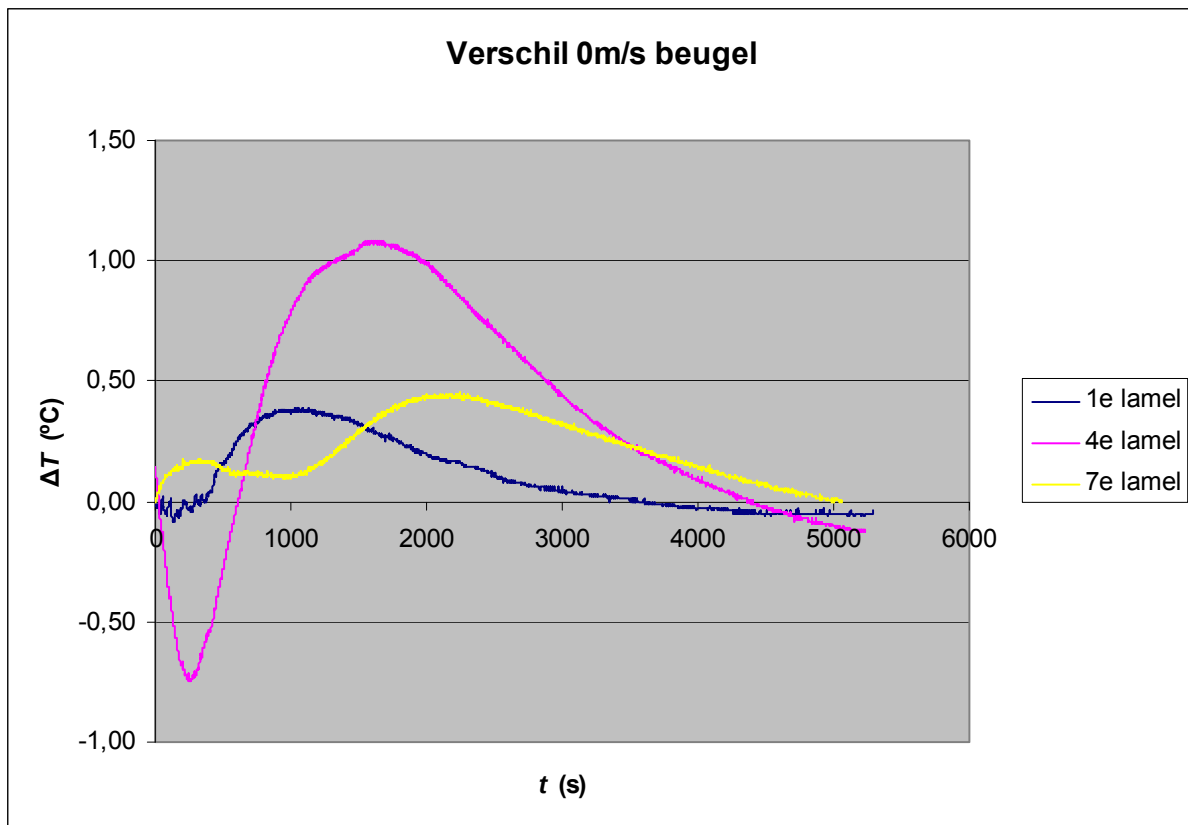
Figuur 41: Het verschil tussen de gemeten en berekende temperatuur bij 5 m/s



Figuur 42: Het verschil tussen de gemeten en berekend temperatuur bij 2 m/s



Figuur 43: Het verschil tussen de gemeten en berekend temperatuur bij windstilte



Figuur 44: Het verschil tussen de gemeten en berekend temperatuur bij windstilte met de T/V beugel

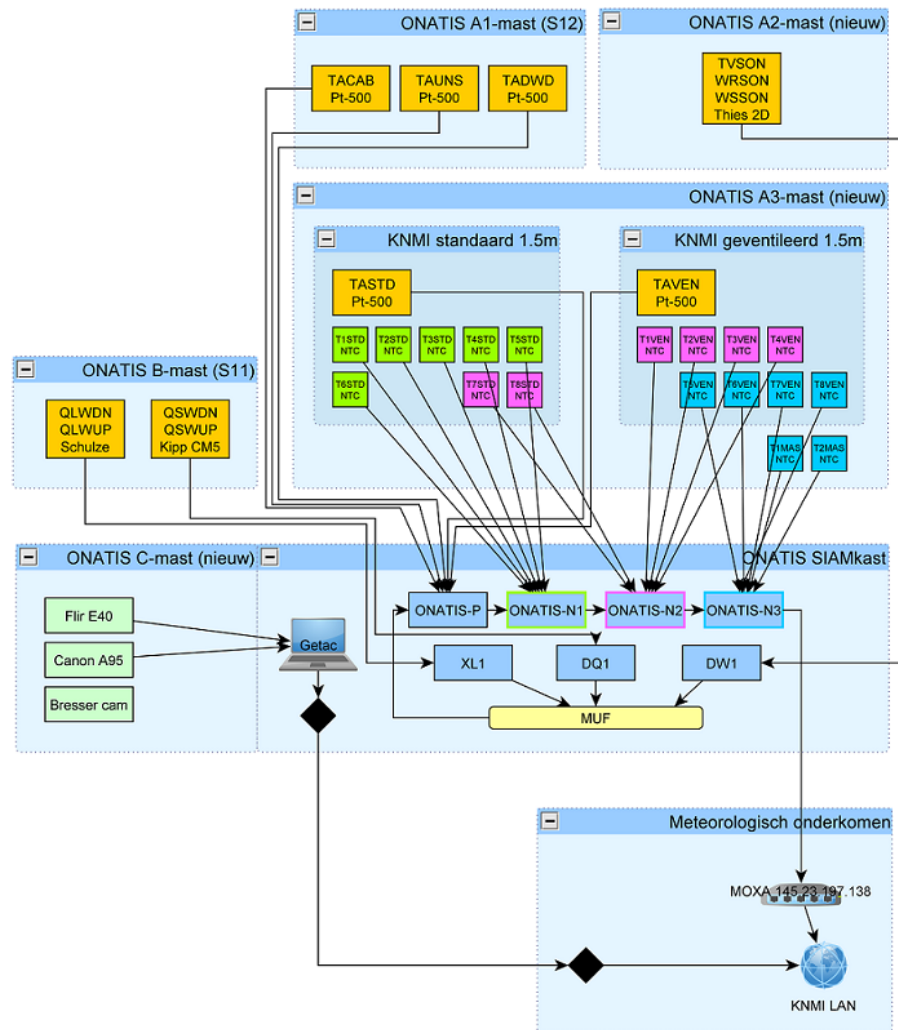
In figuur 40 is goed te zien dat het verschil tussen de gemeten en berekende temperatuur in orde grote is van meetfouten (maximaal $\pm 0,2$ °C) uitgezonderd de dip van de 4^e lamel in de eerste seconden van de meting. Die is nog niet te verklaren. Alleen in figuur 43 zijn de verschillen groter. In figuur 35 is te zien dat lamel 1 en 7 een kleiner verschil geven dan in figuur 43, maar de 4^e lamel geeft juist grotere verschillen.

Conclusie

De conclusie van dit experiment is dat er met de gebruikte meetmethodiek geen eenduidige tijdconstante voor de KNMI stralingshut te bepalen is. In feite heeft iedere lamel van de hut heeft zijn eigen tijdconstante. Deze is in eerste instantie afhankelijk van de windsnelheid. Bij windstille condities komt dit doordat de onderste lamel significant meer contact heeft met de lucht in vergelijking met de bovenste lamel die door de twee toplamellen goed wordt geïsoleerd. De verschillen tussen de lamellen bij 2 en 5 m/s windsnelheid zijn niet goed te verklaren. De meetonzekerheid is in ieder geval klein genoeg en kan hier niet de oorzaak zijn. Een eerste indicatie van de waarde van de tijdconstante is wel te geven, nl. bij een windsnelheid van 5 m/s ligt deze tussen 68 en 94 s (een verschil van 38%), bij een windsnelheid van 2 m/s ligt de tijdconstante tussen 133 en 182 s (een verschil van 37%) en in windstille condities ligt deze tussen 303 en 1035 s (een verschil van 241%).

Hoofdstuk 4: Data inzameling

De data inzameling van de sensoren in het veld gaat m.b.v. SIAM's, een MUF en 2 LabVIEW programma's. De SIAM's worden gebruikt om de data van de sensor te kunnen lezen en een MUF zet deze berichten achter elkaar. Eén LabVIEW programma (MUFRead, bestaand programma) zet deze berichten allemaal met een tijdstempel in een file en het andere LabVIEW programma zet alle berichten achter elkaar met een vast tijdstempel in een CSV file, zodat deze eenvoudig te analyseren is in verwerkingsprogramma's.



In figuur 45 is een overzicht te zien met de data inzameling te op de veld-opstelling aanwezig is. Alle data inzameling en verwerking, met uitzondering van het omzetten naar een CSV file, gebeurt bij de veldopstelling zelf.

De volgende SIAM's worden gebruikt:

- ONATIS_P: deze SIAM wordt gebruikt voor het uitlezen van de Pt500 elementen.
- ONATIS_N: voor het uitlezen van alle thermistoren, deze SIAM wordt in drievoud gebruikt.

Figuur 45: Overzicht van de data inzameling

- XL1: XL1 wordt gebruikt voor het uitlezen van de Schulze.
- DQ1: deze SIAM is voor het uitlezen van de Kipp CM5.
- DW1: deze SIAM leest de sonic uit.

In bijlage C staat voor iedere SIAM beschreven wat zijn output is, in welke nauwkeurigheid en zijn grootheid.

De FLIR E40 en Canon A95 zijn op de laptop aangesloten die in de SIAM kast staat. De beelden van beide camera's worden lokaal op de laptop opgeslagen. De Bresser camera maakt foto's en slaat ze op, op een SD-kaart, deze moet om de maand worden weg geschreven worden op de netwerkschijf.

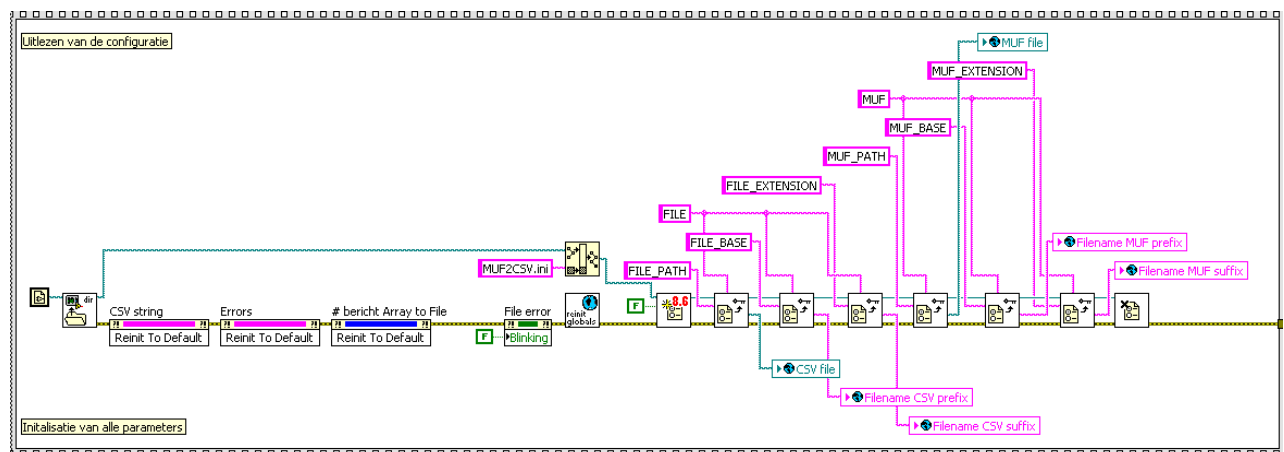
§ 4.1 MUF2CSV LabVIEW programma

Om alle data die van de veldopstelling komt goed te kunnen is een programma ontworpen dat de SIAM berichten interpreteert en alleen de nuttige data in een bericht zet met een vast tijdstempel. Binnen 12 seconden komen zeven verschillende SIAM berichten binnen op willekeurige tijdstippen, maar deze zullen in de CSV file hetzelfde tijdstempel hebben. Hierdoor wordt een maximale fout van 12 s gemaakt. Voor de fenomenen die worden onderzocht is deze fout acceptabel. Nu alle data die van de veldopstelling komt hetzelfde tijdstempel heeft kan er gemakkelijker een analyse worden gemaakt. Naast dat alle data hetzelfde tijdstempel heeft, staat alle data van de veldopstelling met hetzelfde tijdstempel achter elkaar in een CSV file, hierdoor kan er ook snel data met elkaar worden vergeleken. Het programma is in drie delen opgesplitst:

- Initialisatie
- Proces
- User Interface

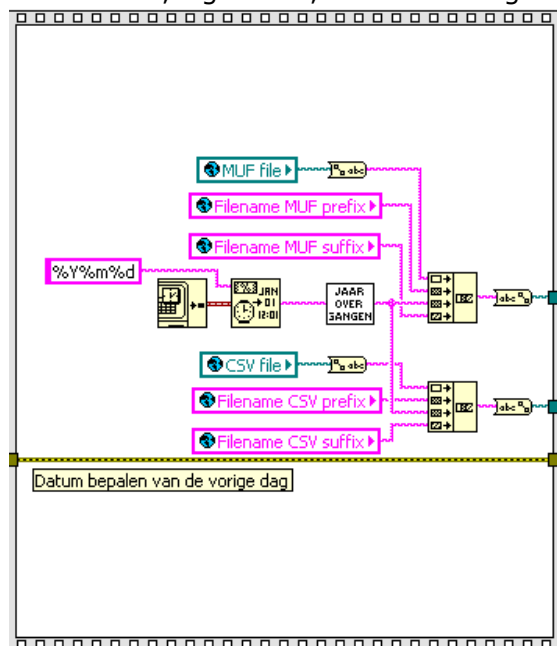
Initialisatie

Het initialisatie deel bestaat uit twee delen, zoals te zien is in de figuren 46 en 47. In het



Figuur 46: Initialisatie van de globale variabelen

eerste deel, figuur 46, worden alle globale variabelen teruggezet naar default stand en

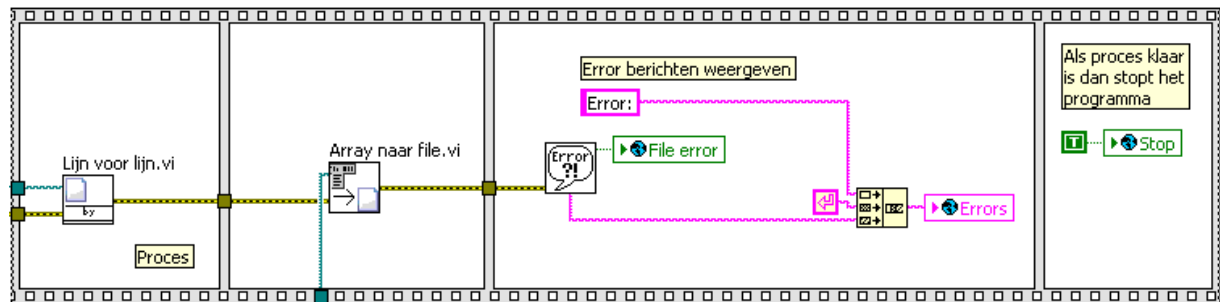


Figuur 47: Bepalen van de datum van de vorige dag

worden de parameters die in de initialisatie file staan beschreven. In de initialisatie file staat er beschreven waar de MUF file te vinden is en waar het programma de CSV file naar toe weg moet schrijven. Met deze file naam alleen kan de file niet gevonden worden, want in de MUF file staat ook nog de datum. Omdat er met dagfiles gewerkt wordt en het programma 1x per dag gaat lopen moet de datum bepaald worden van de vorige dag en deze dag moet juist in de filenaam geplaatst worden, dit gebeurt in figuur 47. Als de datum van de vorige dag bepaald is, wordt deze samen gevoegd met de andere variabelen die bepaald zijn in het eerste deel van de initialisatie als deze variabelen in de juiste volgorde worden samengevoegd en om wordt gezet van een string naar een path. Dan is de initialisatie voltooid en gaat het programma verder naar het proces.

Proces

Het volgende deel van het programma is het proces, het proces loopt parallel met de User Interface, dat deel wordt na het proces behandeld. Het proces bestaat uit 2 subVI's en



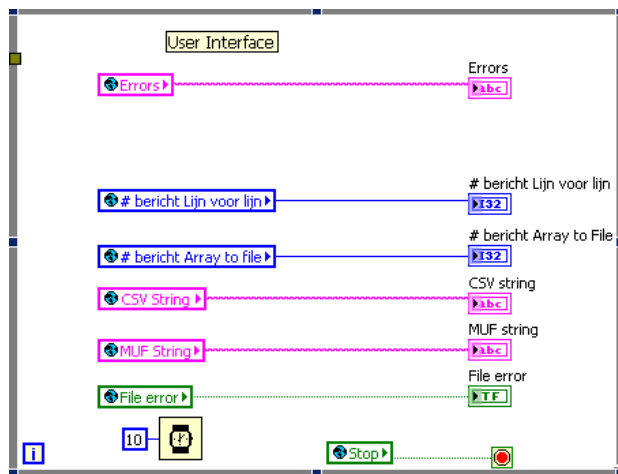
Figuur 48: Het proces

uit een error handling, zoals te zien is in figuur 48. Nadat de error handling gedaan is geeft het proces een "True" waarmee het programma stopt.

In de SubVI 'Lijn voor lijn' wordt de MUF file van de vorige dag geopend en per regel uitgelezen. Bij elke regel kijkt het programma van welke SIAM het bericht afkomt en bij welke tijd het hoort. Als deze 2 variabelen bekend zijn zet het programma de string weg in een array speciaal voor die SIAM en op de index bij behorend van het tijdstempel die het bericht heeft. Als de hele file is uitgelezen en weggezet in array's dan gaat het programma verder naar de SubVI 'Array naar file'. In deze VI worden de array's naast elkaar gezet, omdat ze in de eerste VI een vast tijdstempel mee krijgen hebben ze ook dezelfde lengte van 7200 regels. En worden ze een voor een uitgelezen uit de array. Na het uitlezen wordt de data omgezet om als CSV file weggeschreven te kunnen worden. De punten worden vervangen door komma's, er komen komma's om zo de cellen te kunnen scheiden. Op plekken waar geen data van de SIAM is binnengekomen (in 12 sec) zal de SIAM //// geven. De //// worden in dit programma omgezet naar meetwaarde 99999 en voor de statusinformatie wordt in dat geval een 9 gebruikt. Status waarde 9 komt bij de SIAM niet voor (zie bijlage C), daarom wordt deze gebruikt. Onder normale omstandigheden geeft de SIAM status 0. Nadat alle data omgezet is naar een CSV format kan het weggeschreven worden naar een file. Als alle regels zijn uitgelezen, omgezet en weggeschreven in de file, wordt de file gesloten en gaat het proces door naar de Error handling. Als dit is afgesloten geeft het programma een 'True', waarmee het programma gestopt wordt.

User Interface

Parallel aan het proces loopt de User Interface, zoals te zien in figuur 49. De Interface wordt om de 50 milliseconde ververst. De volgende variabelen zijn op de interface te zien:



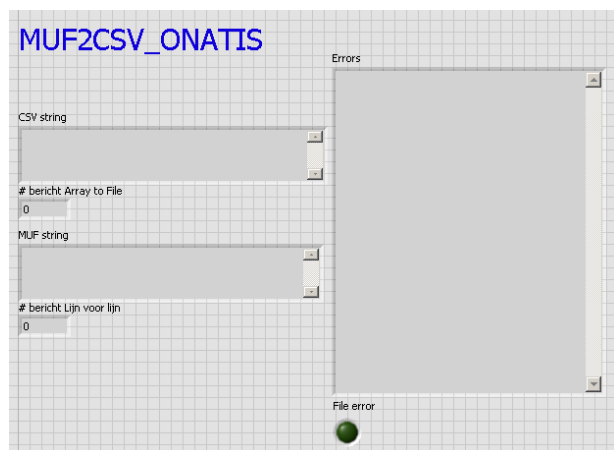
Figuur 49: User Interface

- Errors
- Voortgang VI 'Lijn voor lijn'
- Voortgang VI 'Array to File'
- Welke CSV file in behandeling is in VI 'Array to File'
- Welke MUF file in behandeling is in VI 'Lijn voor lijn'
- File error, brandt pas als er errors zijn

De User Interface stopt als het proces een true door geeft aan de globale variabele 'stop'.

Op het Front Panel, zie figuur 50 van dit programma zijn al deze variabelen te zien. Op het front panel kunnen er geen variabelen worden veranderd, dit kan alleen in de initialisatie file.

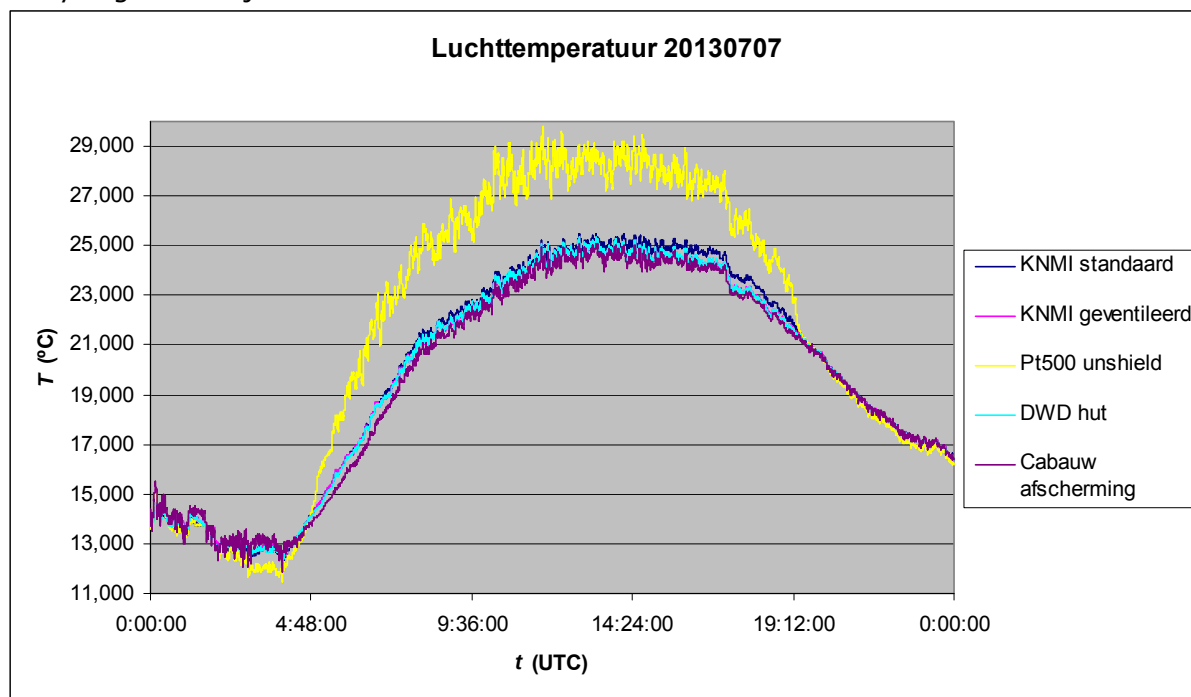
De specificaties van dit programma zijn te vinden in bijlage D.



Figuur 50: Front panel

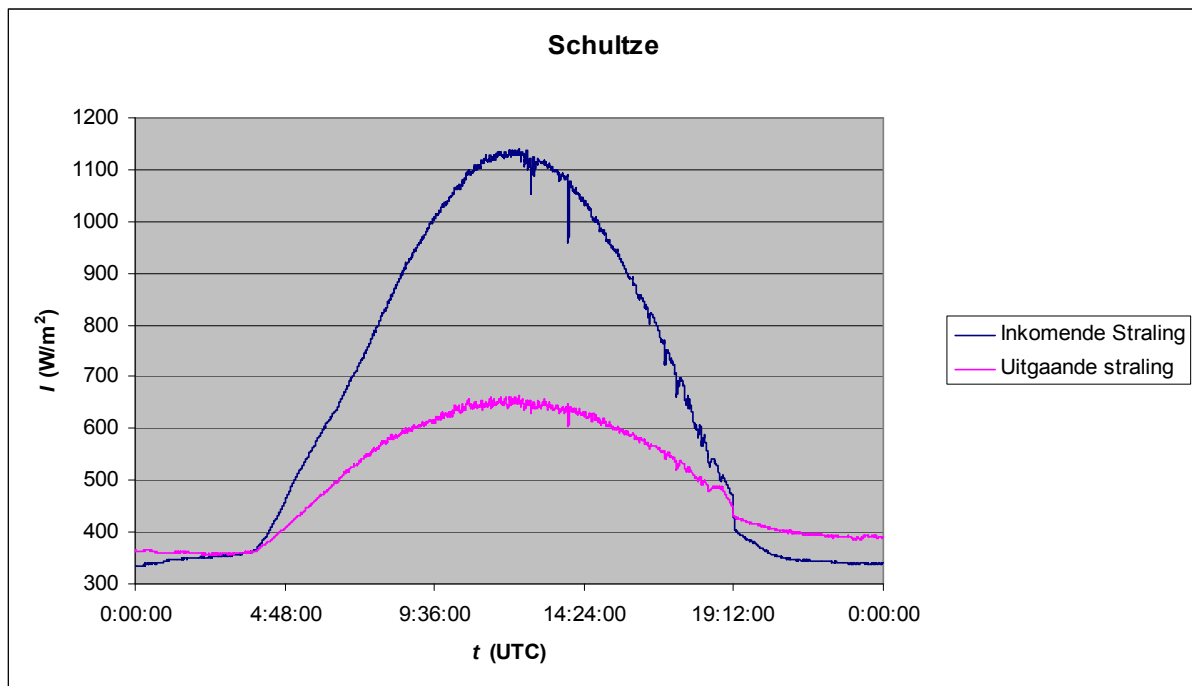
Hoofdstuk 5: Eerste meetgegevens

Sinds 1 juli 2013 komen de meetgegevens van de ONATIS veldopstelling in De Bilt binnen en worden deze opgeslagen en gearhiveerd voor het onderzoek. In dit hoofdstuk worden er één dag uitgelicht en geanalyseerd, nl. zondag 7 juli 2013. De rest van de analyse gebeurt tijdens ONATIS fase II.



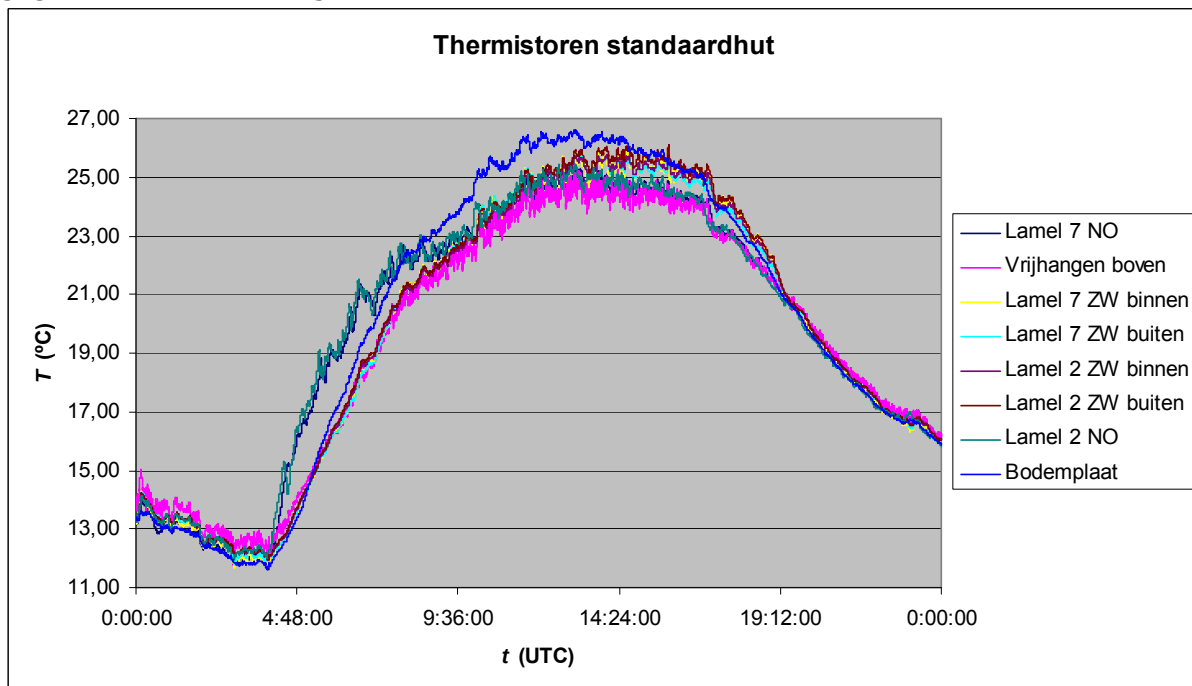
Figuur 51: Luchttemperatuur van 07/07/2013

In figuur 51 staat de tijd van de dag uitgezet tegen de gemeten luchttemperatuur door de vijf Pt500 elementen in de veldopstelling. In deze grafiek komt duidelijk naar voren dat de onafgeschermdde Pt500 veel invloed ondervindt van instraling door de zon op deze dag en hier door ook een te hoge temperatuur geeft. Het verschil ten opzichte van de KNMI standaard hut bedraagt ongeveer 3 graden. De grote invloed van de zon op deze dag kan worden bevestigd door de Schultze, deze meet de totale straling die op de sensor valt, dit is te zien in figuur 52. Op het moment met de meeste instraling, rond twee uur 's middags, bedraagt deze ongeveer 1100 W/m^2 .

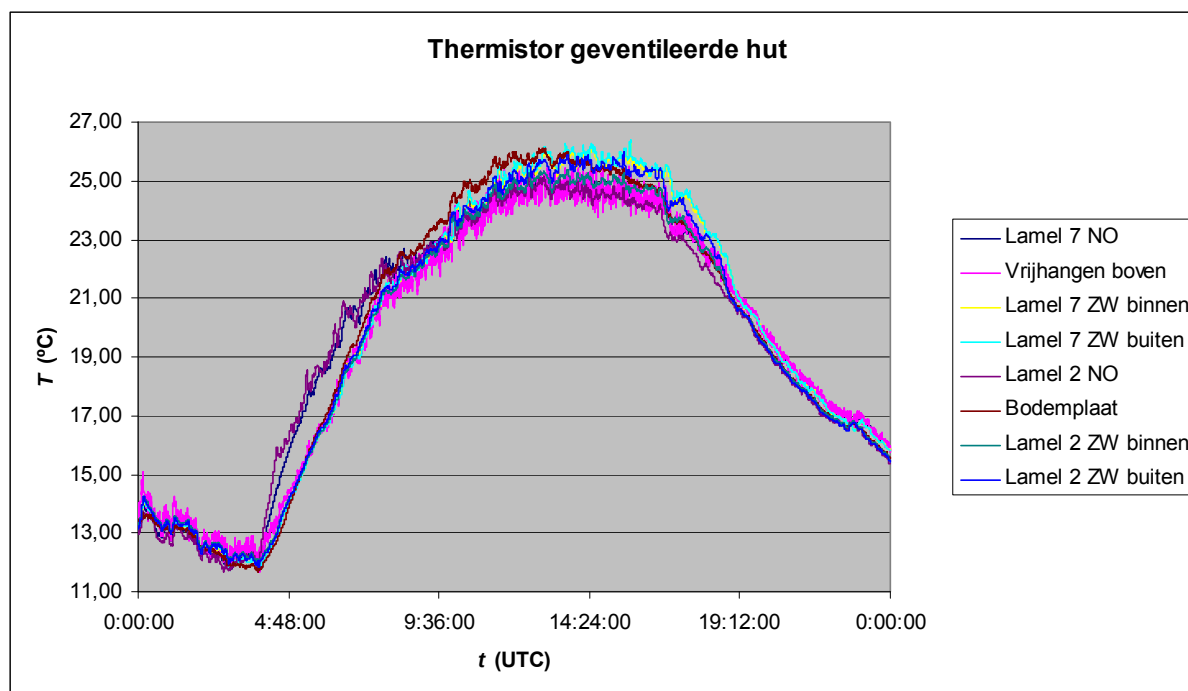


Figuur 52: totale straling

Verder is in figuur 52 goed te zien dat het een bewolkingsloze dag was. Als er bewolking op een dag is zal er veel ruis in de grafiek zitten, omdat de bewolking veel straling tegenhoudt die niet op de sensor terecht zal komen. Op een zomerse dag, zoals zondag 7 juli 2013 komt er maximaal 1133 W/m^2 binnen. De aarde zendt zelf ook straling uit, overdag loopt deze waarde op tot maximaal 650 W/m^2 . Naast het meten van straling en luchttemperatuur, worden er ook metingen gedaan aan de temperatuur van de lamellen van de KNMI standaard hut en de KNMI geventileerde hut. De uitkomst van deze gegevens staan in de figuren 53 en 54.

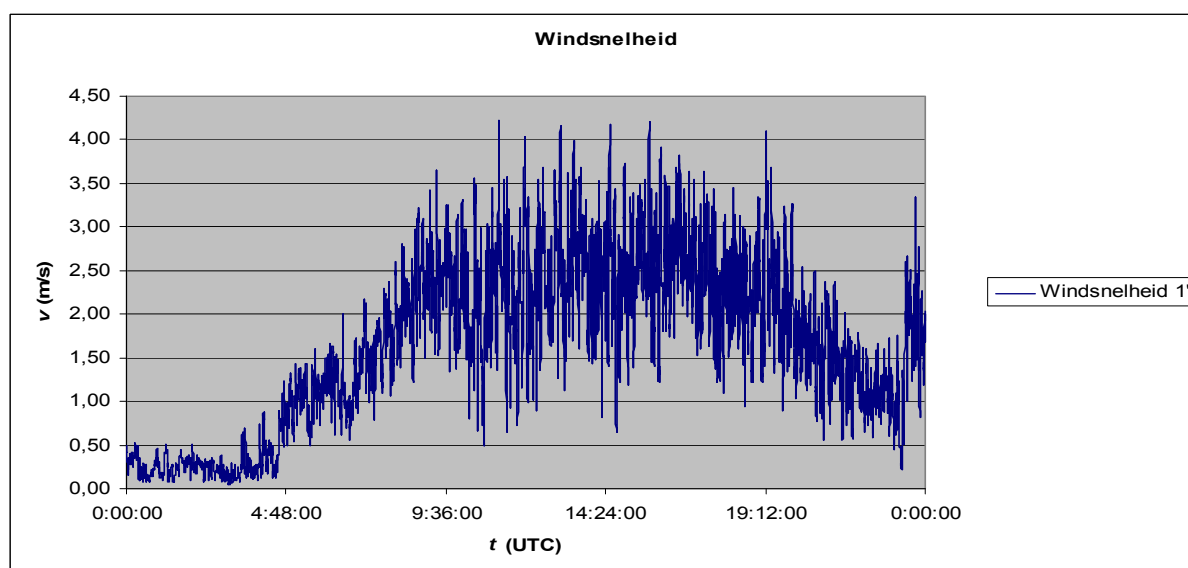


Figuur 53: Thermistor temperaturen aan de KNMI standaard hut



Figuur 54: Thermistor temperaturen van de KNMI geventileerde hut

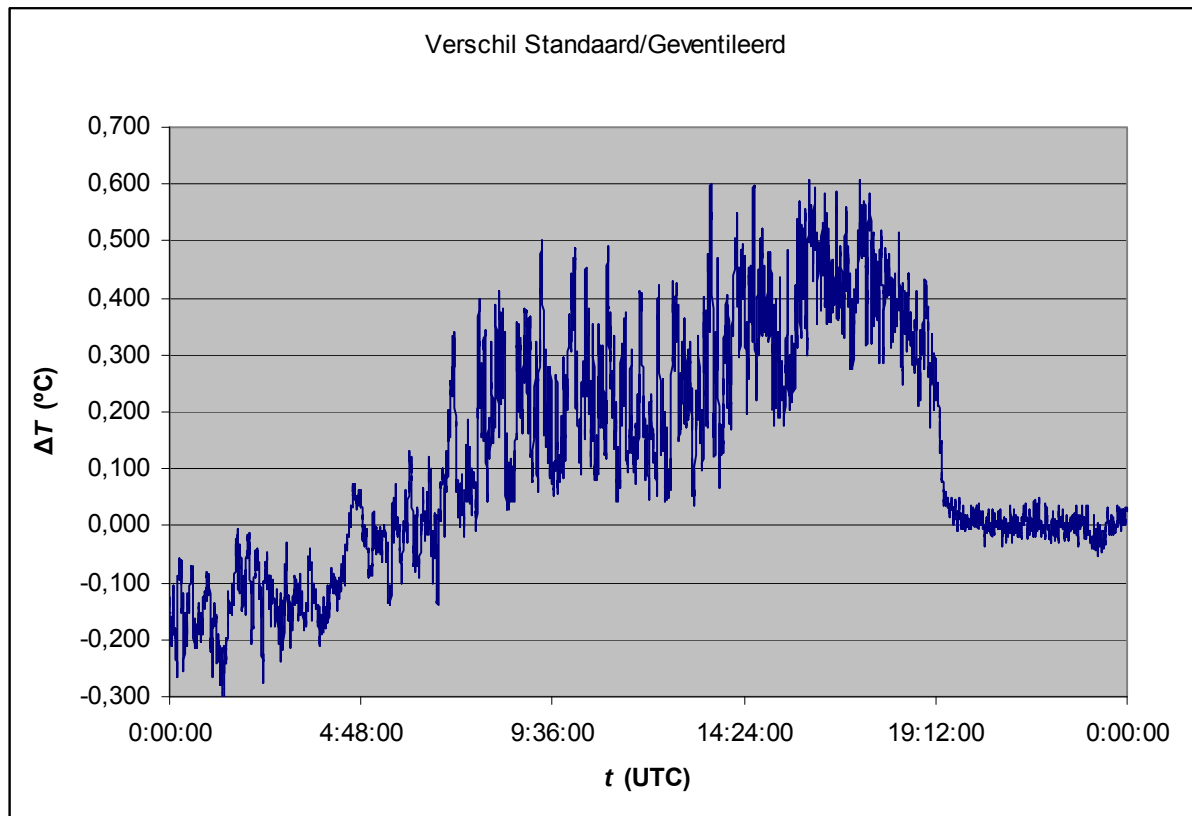
In de figuren 53 en 54 is goed te zien dat in de nachtelijke condities en bij zonsopkomst en -ondergang de temperatuur van alle lamellen ongeveer gelijk zijn. Overdag zijn de verschillen groter, omdat sommige thermistoren in de schaduw zitten, terwijl andere thermistoren direct beschenen worden door de zon. Vooral de bodemplaat van de standaard hut wordt erg warm. Dit heeft meerdere oorzaken, op deze dag was er weinig wind aanwezig, zie figuur 55 hierdoor is er minder ventilatie dan in de geventileerde hut. Hierdoor kan de bodemplaat minder goed zijn warmte kwijt. Verder is de bodemplaat aan de onderkant zwart, hierdoor wordt de straling die wordt opgevangen door de bodemplaat geabsorbeerd en zal de bodemplaat opwarmen. Dit zijn de twee grootste oorzaken van het opwarmen van de bodemplaat. Naast de opwarming van de bodemplaat bij de standaard hut is er ook te zien dat de thermistoren aan de noordoost kant van de hut bij zonsopkomst snel opwarmen. In de zomer komt de zon vrij noordelijk op, hierdoor worden de beide thermistoren die naar het noordoosten staan direct beschenen.



Figuur 55: 1' gemiddelde windsnelheid

In figuur 55 staat de windsnelheid v in m/s uit tegen de tijd t in UTC. Overdag bedraagt de gemiddelde windsnelheid ongeveer 2,5 m/s. Deze windsnelheid is niet gelijk aan de luchtstroming bij de sensor, dit komt vanwege zijn blokkeringsfactor, zie § 3.3. De luchtstroming ter plaatse is dus naar schatting ongeveer 1.4 m/s. Deze luchtstroming is nog groot genoeg om goed de artefacten te kunnen zien.

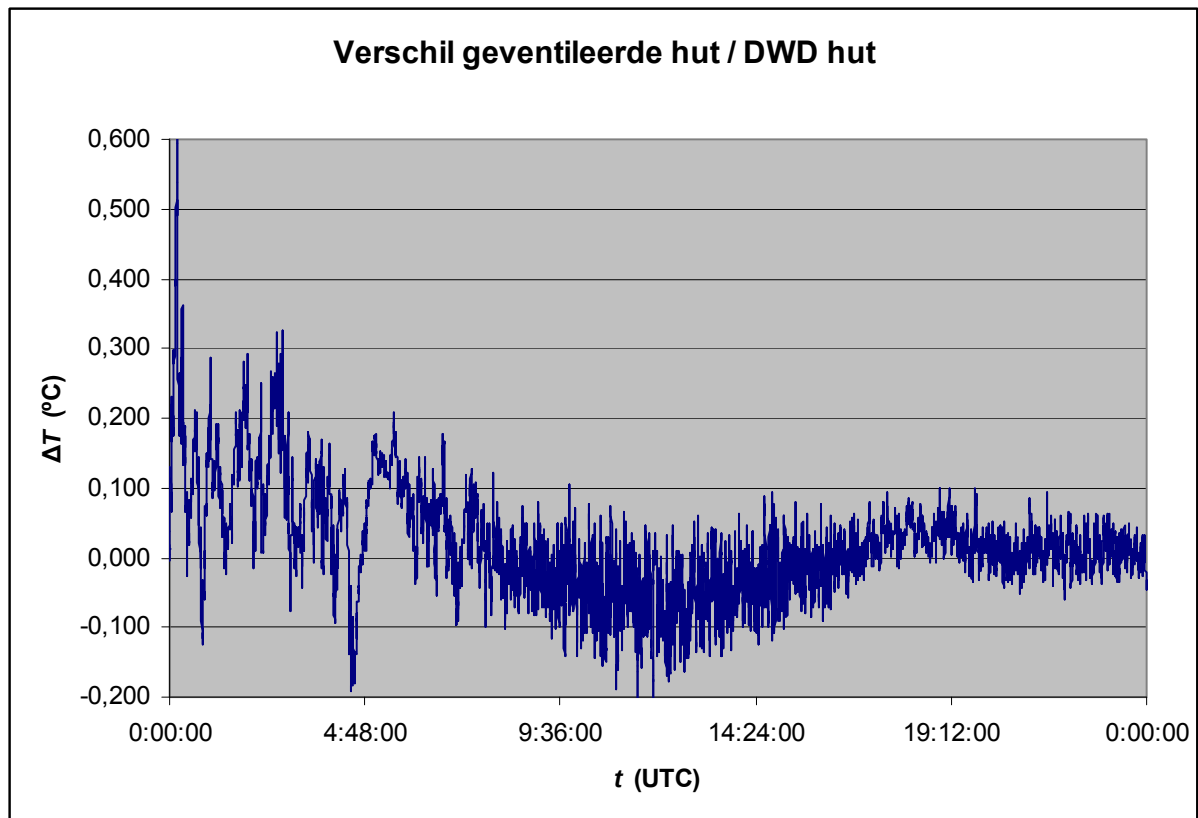
Nu de metingen voor deze dag geanalyseerd zijn, kan worden gekeken naar de onderlinge verschillen tussen verschillende hutten. Zo wordt er gekeken naar het verschil tussen de standaard KNMI hut en de geventileerde KNMI hut. Dat is te zien als functie van de tijd in de grafiek in figuur 56. Ook wordt er naar het verschil gekeken tussen de DWD hut en de standaard KNMI en geventileerde KNMI hut.



Figuur 56: Verschil in luchttemperatuur tussen KNMI standaard en geventileerde hut

In figuur 56 is goed te zien dat naar mate de dag vordert hoe groter het verschil wordt tussen de standaard KNMI hut en de geventileerde KNMI hut. Tussen 06:00:00 (UTC) en 13:00:00 (UTC) is het verschil tussen de standaard KNMI hut en de geventileerde hut 0,25°C. Later op de dag tussen 13:00:00 (UTC) en 18:00:00 (UTC) is het verschil zelfs opgelopen tot gemiddeld 0,45°C met uitschieters naar 0,60°C. De verschillen tussen deze twee hutten kunnen nog verder lopen, want zoals te zien is in figuur 55 was nog genoeg luchtstroming door de KNMI standaard hut. Als de windsnelheid richting 1,0 m/s zakt zullen de verschillen nog groter zijn.

Nu bekend is dat de geventileerde KNMI hut op dagen met hoge instraling en weinig wind grote verschillen op levert met de KNMI standaard hut is het ook interessant om het verschil tussen de KNMI geventileerde hut en de DWD hut te bekijken, dit verschil staat in figuur 57.



Figuur 57: Verschil tussen KNMI geventileerde hut en de DWD hut

In figuur 57 is goed te zien dat in de nachtelijke condities er nog veel fluctuaties zijn tussen de beide hutten, maar overdag is het verschil tussen de DWD hut en de KNMI geventileerde hut gemiddeld 0,1°C. Gemiddeld is de temperatuur gemeten in de geventileerde KNMI hut op deze dag dus iets lager dan in de DWD hut. De voorlopige conclusie kan dus getrokken worden dat de ventilator aangebracht in de KNMI hut voldoende luchtverversing verzorgt om de temperatuurmeting dichterbij de DWD opstelling te brengen dan in het geval van de standaard KNMI hut zonder ventilatie. Om deze conclusie te verifiëren moet er langer aan de opstelling gemeten worden.

Hoofdstuk 6: Conclusies

Het project ONATIS is er om de artefacten te onderzoeken die bij temperatuurmetingen voorkomen in stralingafschermingen. Het doel van fase I van het onderzoek is een werkende veldopstelling op het testveld te hebben staan. Met deze veldopstelling moet de invloed van de artefacten op de temperatuurmetingen in en rond de KNMI schotelhut te kunnen kwantificeren. Naast het realiseren van een veldopstelling worden er ook labexperimenten gedaan om de eigenschappen van de hut te kunnen kwantificeren.

Op de veldopstelling worden de volgende metingen verricht:

- Meten van 4 temperaturen in 4 verschillende stralingafschermingen
- Het meten van de 16 lameltemperaturen op de KNMI stralingafschermingen
- Kortgolvlige en langgolvlige straling
- Windrichting en windsnelheid
- Warmtebeelden

Deze veldopstelling is in de stage gerealiseerd en de eerste meetgegevens zien er veelbelovend uit. De eerste data kwam binnen op 01/07/2013 en voor ONATIS fase II wordt er een jaar doorgemeten aan de veldopstelling, zodat er data van elk seizoen aanwezig is.

Naast het realiseren van de veldopstelling zijn ook labexperimenten gedaan en daar zijn de volgende resultaten uitgekomen. De DWD hut wordt op sensorhoogte geventileerd met een luchtstroom snelheid van $0,24 \pm 0,02$ m/s tegen over de KNMI geventileerde hut met een luchtstroom snelheid van $0,50 \pm 0,01$ m/s deze luchtstroming is groter dan de luchtstroming in de DWD hut. Naast luchtstromingexperiment is de blokkeringfactor van beide hutten ook gemeten, hier kwam naar voren dat de DWD hut met een blokkeringfactor van 0,37 aërodynamische is dan de KNMI hut, deze heeft een blokkeringfactor van 0,45. Verder kwam in dit experiment ook naar voren dat bij een windsnelheid lager dan 1,5 m/s zeker geventileerd moet worden om een microklimaat in de hut te kunnen voorkomen. Het laatste labexperiment waar ook resultaten van zijn, is het experiment waar de tijdresponsie bepaalt was. Dit experiment werd alleen gedaan met de KNMI hut en hier kwam uit dat de tijdresponsie van een hut niet te bepalen was, voor elke verschillende hoogte op de hut was een verschillende tijdresponsie gemeten. Er zijn verschillen gemeten tussen de onderste en bovenste lamel van meer dan 240%.

Het doel van de stage is behaald, dat was het realiseren van de veldopstelling. Daarnaast zijn de eigenschappen van de KNMI stralingsafscherming tijdens de stage ook gekwantificeerd. Niet alle eigenschappen zijn gekwantificeerd, omdat er te veel eigenschappen zijn en daar geen tijd voor was. Tijdens het onderzoek zijn de belangrijkste eigenschappen, voor dit onderzoek, gekwantificeerd.

Hoofdstuk 7: Literatuurlijst

- (1) Handboek Waarnemingen, KNMI; versie april 2005
- (2) <http://www.omega.com/prodinfo/thermistor.html>
- (3) http://assets.newport.com/webDocuments-EN/images/AN04_Thermistor_Calibration_IX.PDF
- (4) Bijma, J.R. – *Nauwkeurigheid van operationele temperatuurmetingen*, KNMI, Technisch Rapport TR-328 (2012)
- (5) Schuitemaker, A. – *Klimaatkamertest van de Gill R3 sonische anemometer/thermometer en de Licor 7500 H₂O/CO₂ sensor*, KNMI, Technisch Rapport TR-305 (2009)
- (6) World Meteorological Organization – *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations* (WMO-No. 8, 6^e editie, WMO. Genève) (1996)
- (7) <http://www.knmi.nl/~bosveld/experiments/documentation/>
- (8) Velds, C.A. – *Zonnestraling in Nederland*, KNMI, De Bilt
- (9) <http://www.klimaatatlas.nl/klimaatatlas.php?wel=zon&ws=kaart&wom=Gemiddelde%20globale%20straling>
- (10) <http://www.knmi.nl/cms/content/73377/inleiding>
- (11) http://www.knmi.nl/cms/content/100425/energiebalans_van_de_aarde
- (12) <http://www.knmi.nl/klimatologie/weeramateurs/UHI/>
- (13) <http://www.knmi.nl/cms/content/32598/verdamping>
- (14) http://www.dbnl.org/tekst/minn004natu02_01/minn004natu02_01_0004.php
- (15) Beaney, G. Stapf, T. Sheppard, B – *Variability of the Measurement of Temperature in the Canadian Surface Weather and Reference Climate Networks*, Meteorological Service of Canada
- (16) Lacombe, M. – *Results of the WMO intercomparison of thermometer screens / shields and hygrometers in hot dessert conditions*, Météo-France
- (17) Lanzinger, E. Langmack, H. – *Measuring Air Temperature by using an Ultrasonic Anemometer*, Deutscher Wetterdienst, Hamburg
- (18) Albright, L.D. – *Environment Control for Animals and Plants*, The American Society of Agricultural Engineers (1990)
- (19) Lacombe, M., Bousri, D., Leroy, M., Mezred, M. – *WMO field intercomparison of thermometer screens/shields and humidity measuring instruments*, WMO (2009)
- (20) Van der Meulen, J.P., Brandsma, T. – *Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences*, KNMI, De Bilt (2007)
- (21) <http://www.technik.dhbw-ravensburg.de/~lau/lam630-nachbau-5.jpg>
- (22) Lin, X., Hubbard, K.G., Walter-Shea, E.A., Brandle, J.R., Meyer, G.E. – *Some Perspectives on Recent In Situ Air Temperature Observations: Modeling the Microclimate inside the Radiation Shields*, University of Nebraska, Lincoln (2000)
- (23) <http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=41959>

Bijlagen

Bijlage A Vereiste waarneemfrequentie

1' gemiddelden

Volgens de richtlijnen van de WMO dient de berichtgeving gebaseerd te zijn op 1' gemiddelde waarde. Deze gemiddelden betreffen steeds het rekenkundige van de continue waarnemingen van de afgesloten periode, in dit geval de minuut. Voor data werving via de digitale systemen, zoals bij de SIAM, waarbij 5 achtereenvolgende 12" samples worden genomen, is dit voldoende nauwkeurig. Door dit gemiddelde te nemen worden soms grote en zeer lokale natuurlijke temperatuurfluctuaties uitgedempt. Door deze methode toe te passen zijn de metingen ook representatiever.

Voorbeeld: de 1' waarde op het tijdstip 15u39'00" is het gemiddelde op de momentane waarden op de tijdstippen 15u38'12", 15u38'24", 15u38'36", 15u38'48" en 15u39'00".

10' waarden

Hoewel uurlijkse en halfuurlijkse berichtgeving nog gebruikelijk is, is er een internationale ontwikkeling gaande in het presenteren van temperatuur met een resolutie van 10 minuten. Om hieraan te kunnen voldoen is de generatie van 10' gemiddelden en de bij behorende standaard deviaties wenselijk. Daarbij zijn deze parameters een goed hulpmiddel voor de validatie van de metingen zelf. Voor het bepalen van de standaard deviatie, gemeten met digitale instrumenten, zoals de SIAM, dient de sample frequentie voldoende hoog te zijn. Voor temperatuurmetingen zijn 12" samples goed geschikt.

Extremen: maxima en minima

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

Bijlage B Functies TN'ers bij KNMI en omzet realisatie

Als Technisch Natuurkundige komt men bij het KNMI snel aan een baan. Het KNMI is een organisatie met professionals die beschikken over een grote mate van deskundigheid over klimatologie, meteorologie, oceanografie en seismologie. Mogelijke functies voor Technisch Natuurkundige binnen het KNMI zijn onderzoeker, meteoroloog en functies gericht op techniek.

Voor studenten die hun studie net hebben afgerond is het KNMI de organisatie om hun kennis verder te ontwikkelen en te vergroten. De mogelijkheden hiervan zijn in de richting van operationele meteorologie in de functie van meteoroloog, en voor de toegepaste onderzoek en het meer fundamentele onderzoek in de functie van onderzoeker. Voor de functie van meteoroloog wordt een interne opleiding gegeven.

De kennis en kwaliteit zijn voor het KNMI belangrijke factoren in de organisatie en als gevolg hiervan wordt de nadruk gelegd op scholing in verschillende vormen zoals met interne opleidingen, cursussen en trainingen, maar ook het bezoeken van (internationale) conferenties en de bereidheid om enige tijd in het buitenland te verblijven om kennis op te doen.

Naast het werven van goed personeel/onderzoekers moet het KNMI ook omzet realiseren. Omdat het KNMI een overheidsorganisatie is komt 2/3 deel van de omzet vanuit Den Haag waar het moederdepartement zit, het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. 1/3 deel van de omzet komt van derden, hierbij moet gedacht worden aan de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL). Het LVNL neemt zo'n 50% in van het bedrag van derden. Het andere deel van derden komt vooral van subsidie voor innovatie en onderzoek van de Nederlandse overheid en de Europese Unie.

Bijlage C SIAM specificatie

Zoals genoemd in hoofdstuk 4 worden er 7 SIAM gebruikt. In deze bijlage wordt er uitgelegd wat de output van deze SIAM's zijn en in welke nauwkeurigheid.

ONATIS_P: geeft 6 temperaturen met een resolutie van 0,001°C.

ONATIS_N: geeft 6 temperaturen met een resolutie van 0,01°C.

DQ1: geeft 2 stralingswaarden (globale straling en gereflecteerde straling) met een resolutie van 1 W/m².

DW1: geeft windrichting met een resolutie van 0,1°. Geeft windsnelheid met een resolutie van 0,01 m/s. En de SIAM geeft virtuele temperatuur in 0,1°C.

XL1: geeft 2 stralingswaarden (inkomende en uitgaande straling) met een resolutie van 1 W/m² en verder geeft hij ook zijn huistemperatuur met een resolutie van 0,1°C.

Bijlage D MUF2CSV specificatie

Voor het project ONATIS staat op het testveld 261 te De Bilt een testopstelling. M.b.v. SIAM's en een MUF wordt de data binnengehaald en door het programma MUFREAD in LabVIEW wordt het weggezet in dagfiles. Deze dagfiles moeten omgezet worden naar csv files waardoor de analyse makkelijker te maken is.

1. De MUF2CSV conversietool

In een MUFREAD file is de meetdata asynchroon beschikbaar. Daar wordt mee bedoeld dat de SIAM berichten op verschillende tijdstippen binnenkomen; in de file staat het ene bericht bv. om 00:00:02 en het andere bericht om 00:00:08 enz. Om de analyse zo goed mogelijk te kunnen uitvoeren is het prettig als alle berichten gesynchroniseerd worden op standaard tijdstempels.

Om de 12 s leest de SIAM de sensor uit. De SIAM geeft dit door aan het MUFREAD programma en zet dit in een dagfile. Het programma wat gemaakt wordt (MUF2CSV) zal deze data samenvoegen en schrijft het weg per 12 s. MUF2CSV genereert CSV dagbestanden met de volgende eigenschappen:

- Het dagbestand bevat $5 \times 60 \times 24 = 7200$ regels met comma separated waarden.
- De sensorwaarden worden voorafgegaan door een datum/tijdstempel bepaald door de PC met de volgende conventie: yyyy-mm-dd,hh:mm:ss, Daarin is yyyy-mm-dd (jaar-maand-dag) de datum en hh:mm:ss (uren-minuten-seconden) de UTC tijd.
- De data wordt gesynchroniseerd op vijf vaste tijdstempels per minuut: hhmm00,hhmm12,hhmm24,hhmm36 en hhmm48.
Als bijvoorbeeld van twee verschillende sensoren om 00:00:08 en om 00:00:11 data binnen komt zal er op de csv file te zien zijn dat de data staat op 00:00:12.
- Als er van de file binnen de 12 s twee keer data van dezelfde SIAM beschikbaar is zal de meest recente data uitgegeven worden in de csv file.
- Bij de laatste samples van de dag worden wegeschreven op dezelfde dag, deze krijgt alleen geen 12 s waarde (00-12-24-36-48), maar 23:59:48. Omdat er gewerkt wordt met dagfiles, is het zeer moeilijk om de data van een dag naar een andere dag te plaatsen.
- In dit programma zal de SIAM data worden omgezet naar fixed point notaties van grootheden in de standaard eenheden, zodat de data goed te analyseren is. De uitvoer van de SIAM is namelijk niet direct geschikt voor analyse, soms missen er decimale punten etc.
- De MUF2CSV tool wordt 1x per dag gedraaid op de MUFRead uitvoer van de dag van gisteren. Default is dus de datum van het invoerbestand yyyyymmdd – 1.
- De specificatie (inhoud, conventies, voorbeeld) van de MUF2CSV uitvoerfiles staan beschreven in sectie 3.

Error handling

De volgende kwaliteitscontroles worden uitgevoerd op de data:

- SIAM status data wordt doorgegeven in de CSV uitvoer.
- Als er binnen 12 s van een SIAM geen data binnenkomt, wordt de waarde van de betreffende variabelen ingevuld als 99999.3
- Als de SIAM andere data geeft dan verwacht, komt op deze plek 99999 te staan. Met de status info.

User Interface

Test

- Door tekstvakken kan de naamconventie van de file veranderd worden.
- Een string indicator geeft aan welke SIAM string op dit moment verwerkt wordt.
- Error berichten zullen worden weergegeven in een terminal window.
- Het aantal verwerkte berichten weergegeven hierbij wordt ook de tijd aangegeven van het bericht.

- Het aantal weggeschreven regels in het uitvoerbestand (max: 7200) wordt weergegeven.
- Als het programma loopt zal er een lampje branden 'run'.
- Als er een fout zit in de file zal er een lampje branden 'file error'. Het lampje zal uitgaan als de error verholpen is.

2. MUFRead file specificatie (invoer)

De volgende SIAM's worden gebruikt:

- ONATIS_N (3x)
- ONATIS_P
- XL1
- DQ1
- DW1

Bij deze SIAM's horen de volgende specificaties:

ONATIS_N:

N 0 ** +12.34 +12.34 +12.34 +12.34 +12.34 +12.34

De SIAM geeft 6 temperaturen met een decimale punt en twee decimalen.

ONATIS_P:

P 0 ** +12345 +12345 +12345 +12345 +12345 +12345

Ook deze SIAM geeft 6 temperaturen. De resolutie is 0,001°C, de temperatuur in dit voorbeeld is dus +12,345°C.

XL1:

X** IB12EB3Bth64 IB 0 1 **0001** 0001 0001 0001 0001 0000 00 EB Z 1 //// //// //// ////
//// //// // th Z 1 //// //// //// //// //// //// //

IB = inkomende straling in W/m²

EB = uitgaande straling in W/m²

Th = huistemperatuur in 0,1°C

Bij deze SIAM wordt alleen naar de 12"-sample waarde gekeken (vet gedrukt). In het programma zal de rest van de data niet worden opgenomen in de csv file.

DQ1:

X** QG12QD3BQF64 QG 0 1 0001 0001 0001 0001 0001 0000 00 QD Z 1 //// //// ////
//// //// //// // QF Z 1 //// //// //// //// //// //// //

QG = globale straling in W/m²

QD = normaliter de directe straling, maar in het project ONATIS wordt deze gebruikt als gereflecteerde straling in W/m²

QF = diffuse straling, wordt in dit project niet gebruikt

Ook uit deze SIAM wordt alleen gebruik gemaakt van de 12"-sample waarde.

DW1:

X** WR12WS3BTV64 WR 0 0 **2072 1823** 2152 1322 1692 0162 00 WS 0 0 0200 0150
0216 0092 0140 0020 00 TV 0 0 0200 0150 0216 0092 0140 0020 00

WR = windrichting in 0,1°

WS = windsnelheid in 0,01 m/s

TV = virtuele temperatuur in 0,1°C

De MUF files gegenereerd uit de MUFRead tool worden weggeschreven op de netwerkllocatie \\bens01\sensordata\ONATIS\MUF.
De naamconventie is MUF_ONATIS_yyyymmdd.txt

In de csv file zal het volgende weggeschreven worden:

Tijd: uu:mm:ss

SIAM	Resolutie	Waarde	Aantal waarde	Opmerking
ONATIS_P	0,001°C	12"-sample	6	Pt500
ONATIS_N	0,01°C	12"-sample	18	Thermistor
XL1	1 W/m ²	12"-sample	2	Straling
	0,1°C	12"-sample	1	Huistemp.
DQ1	1 W/m ²	12"-sample	2	Straling
DW1	0,1°	12"-sample + 1'- gemiddelde	2	Windrichting
	0,01 m/s	12"-sample + 1'- gemiddelde	2	Windsnelheid
	0,1°C	12"-sample + 1'- gemiddelde	2	Virtuele temperatuur

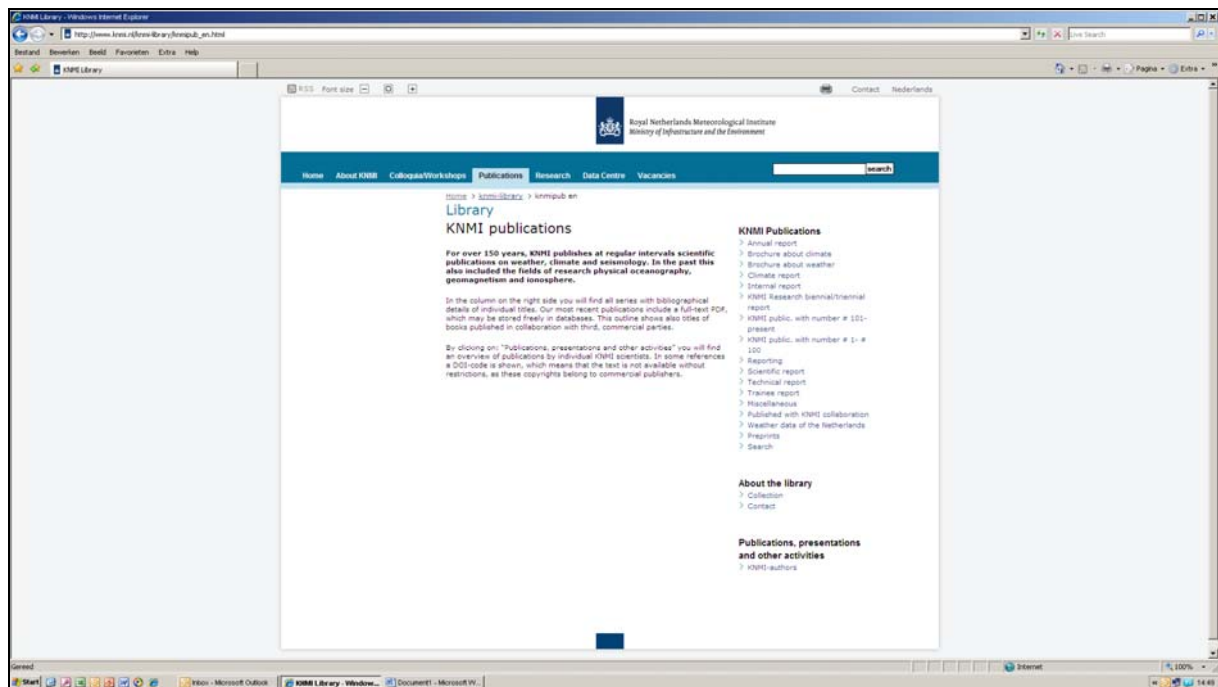
2013-02-20;15:12:12; +12,345 0;+12,345 0;+12,345 0;+12,345 0;+12,345 0;+12,34
0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;
+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34 0;+12,34
0;1234 0;1234 0;123.4 0;1234 0;1234 0;123,4 0;123,4 0;12,34 0;12,34 0;123,4 0;
123,4 0;

Bij ontbrekende data zal de statuswaarde 9 zijn.

61

A complete list of all KNMI-publications (1854 – present) can be found on our website

www.knmi.nl/knmi-library/knmipub_en.html



The most recent reports are available as a PDF on this site.