



# VELO module prototype duurtest

Nikhef number: <b>39300-MT-00608</b>	Item number: <b>AA9138</b>	Date: 08-04-2015 Status: In Work	Page: <b>1 of 51</b> Revision: A.1
Project: <b>LHCb- upgrade VELO</b>			
Department: <b>Mechanical Technology</b>		Top folder: <b>LHCb-upgrade VELO</b>	



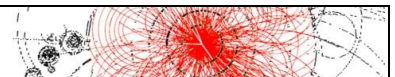
*Created by:*  
K. de Roo

*Checked by:*

*Approved by:*

*Written by:*

*Wouter van Hulsbergen , Eddy Jans, Boudenwijn van der Kroon, Martijn van Overbeek,  
Erno Roeland, Krista de Roo*

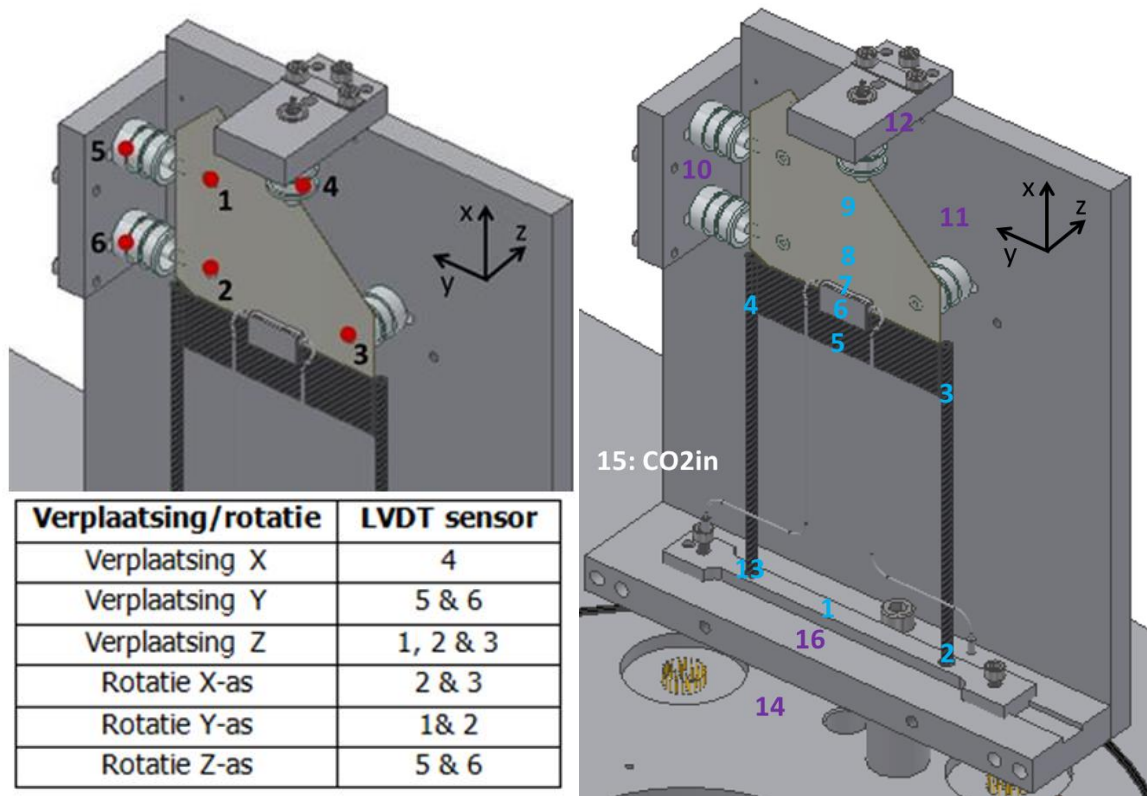


## 1 Inhoud

2	Meetopstelling .....	3
3	Specificaties VELO module prototype .....	5
4	Kalibratie temperatuur sensoren .....	6
5	Meetnauwkeurigheid LVDT sensoren.....	7
6	$\Delta L$ als gevolg van de thermische uitzettingscoëfficiënt.....	9
7	Resultaten Stapsgewijze koeltest 1 .....	11
8	Resultaten stapsgewijze koeltest 2.....	13
9	Vergelijking stapsgewijze koeltesten .....	15
10	Resultaten snelle koeltest 1 .....	16
11	Resultaten snelle koeltest 2 .....	17
12	Resultaten snelle koeltest 3 .....	18
13	Resultaten snelle koeltest 4 .....	19
14	Resultaten snelle koeltest 5 .....	20
15	Resultaten snelle koeltest 6 .....	21
16	Vergelijking snelle koeltesten.....	22
17	Resultaten eerste duurttest met start datum 8 januari 2015 .....	23
18	Resultaten tweede duurttest met start datum 12 januari 2015.....	25
19	Resultaten duurttest vanaf 14 Januari .....	27
20	Conclusie duurttesten.....	28
21	Aanpassingen meetopstelling.....	29
22	Verplaatsing meting in stabiele omgeving.....	32
23	Lineariteit bepalen van de verplaatsing als gevolg van temperatuur .....	35
24	Temperatuur profiel module .....	39
25	Evacuatie en beluchten systeem .....	40
26	Conclusie en vooruitblik.....	43
	Bijlage 1: Araldite AY 103-1/ HY 991 .....	44
	Bijlage 2: Carbon pipe.....	48
	Bijlage 3: Carbon midplate.....	49
	Bijlage 4: Informatie voor stralingslengte berekeningen .....	50

## 2 Meetopstelling

De zes vrijheidsgraden van de VELO module worden vastgelegd met behulp van LVDT sensoren. De beweging van de module in de z-richting en de rotatie om de x- en y-as wordt vastgelegd met LVDT sensoren 1, 2 en 3 op het vlak van het silicium. De beweging in de y-richting en de rotatie om de z-as wordt vastgelegd met LVDT sensoren 5 en 6 op de linkerzijde van het silicium. De beweging in de x-richting wordt vastgelegd met LVDT sensor 4 op de bovenzijde van het silicium.



**Figuur 1: Locatie LVDT en temperatuur sensoren**

De temperatuur van de module wordt op verschillende plaatsen op de module en het frame gemeten. De temperatuur van het frame moet constant blijven zodat de verplaatsingsmeting met de LVDT's niet beïnvloedt wordt.

Er zal als gevolg van koeling een temperatuurgradiënt ontstaan over de verschillende delen van de module, daarom zijn er sensoren geplaatst onder en boven op de poten van de module. Op de baseplate, midplate, het koelblok en op verschillende plaatsen op het silicium. De temperatuur van de koelvloeistof, vlak voor deze de module in gaat, wordt gemeten met temperatuur sensor 15.

De module met het frame wordt in z'n geheel in een vacuüm klok geplaatst om warmteoverdracht via convectie uit te kunnen sluiten. Met een draaischuifpomp en een turbopomp wordt het systeem geëvacueerd tot een vacuümdruk beter dan  $10^{-4}$  mbar.



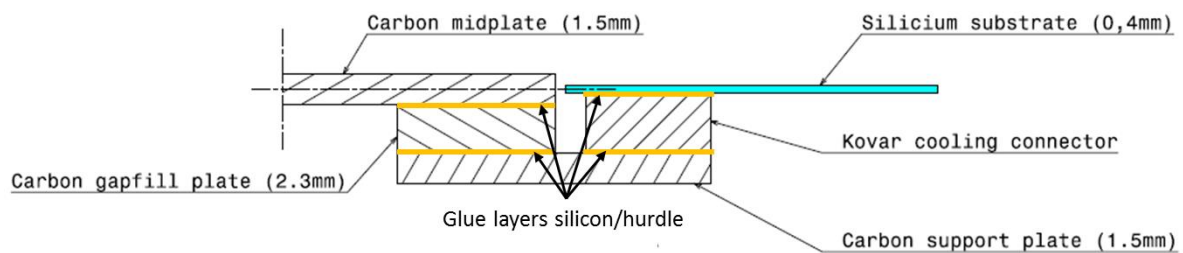
**Figuur 2: Meetopstelling**

Gedurende de metingen bleek dat de temperatuur van het systeem niet stabiel was als gevolg van de omgevingstemperatuur. Om deze reden is er een heater op het frame aangebracht, met een PID regeling wordt het frame op een bepaalde temperatuur boven de omgevingstemperatuur gehouden.

### 3 Specificaties VELO module prototype

Voor deze VELO module prototype is het koelblokje op het silicium gelijmd. Voor het uiteindelijke ontwerp is het de bedoeling dat deze aan het silicium gesoldeerd wordt.

Op de horde is een carbon gapfill plate geplakt waar bovenop de carbon support plate wordt gelijmd. Het Kovar koelblokje wordt aan de ene kant op het silicium gelijmd en aan de andere kant op de carbon support plate. De carbon support plate is dus de verbinding tussen het silicium en de horde. De gemiddelde lijmdikte van de lijmlagen is 0.1 mm.



**Figuur 3: Lijmlagen tussen horde en silicium**

Araldite 103 met harder 991 is de lijm die is gebruikt om alle te verlijmen onderdelen te fixeren. De horde onderdelen zijn gelijmd de dezelfde lijm waaraan glasparsels van 70-130  $\mu\text{m}$  zijn toegevoegd.

#### 4 Kalibratie temperatuur sensoren

Voor de temperatuur uitlezing zijn PT100 sensoren gebruikt. De sensoren zijn vanaf de TempScan, de uitleesmodule, naar de vacuümdoorvoer zijn vierdraads aangesloten. Binnen de vacuümklok zijn de PT100 tweedraads aangesloten, omdat de draden niet exact even lang zijn kan dit enige variatie geven in de absolute temperatuur. Om de variatie in temperatuur tussen de sensoren te bepalen is de temperatuur genoteerd wanneer de sensoren zich in een vacuümomgeving bevinden en zijn gestabiliseerd. Uit Tabel 1 volgt dat het maximale verschil tussen de sensoren 0.3 °C bedraagt.

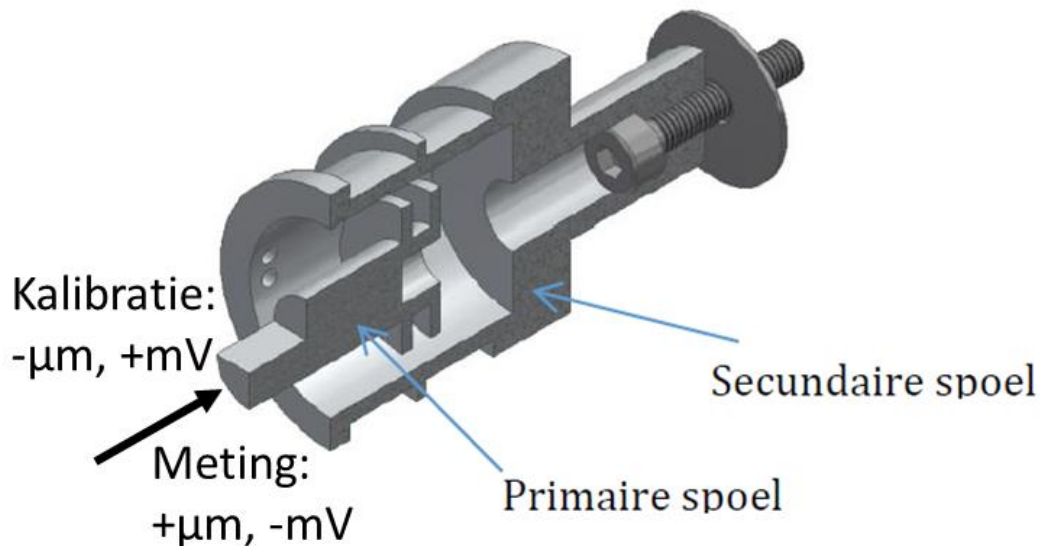
**Tabel 1: Temperatuur indicatie temperatuursensoren**

Sensor	T(°C)
T1	23.5
T2	23.5
T3	23.6
T4	23.8
T5	23.7
T6	23.6
T7	23.5
T8	23.7
T9	23.6
T10	23.5
T11	23.5
T12	23.6
T13	23.5
T14	23.7
T15	23.5
T16	23.5
$\Delta T$	0.3

## 5 Meetnauwkeurigheid LVDT sensoren

Figuur 4 geeft de doorsnede van een LVDT sensor weer. De secundaire spoel wordt gemonteerd op het frame waarin de VELO module wordt geplaatst en de primaire spoel wordt op de module gelijmd.

Voor de kalibratie metingen van de LVDT's is een negatieve verplaatsing van de primaire spoel een beweging naar het montage punt van de secundaire spoel op het frame, dit geeft een positief signaal in mV.



Figuur 4: Weergave van een LVDT sensor met richting aanduiding voor de kalibratie metingen

Voor de VELO module metingen is de negatieve verplaatsing de andere kant op gekozen. In Labview is hiermee rekening gehouden, zie Tabel 2 voor de omrekenformules per LVDT.

Tabel 2: LVDT signaal van mV naar  $\mu\text{m}$  (bron: Validatie Rapport, Jelle Boon)

LVDT	Omreken formule
1	$x = 0.176258 \cdot U$
2	$x = 0.181741 \cdot U$
3	$x = 0.174134 \cdot U$
4	$x = 0.167859 \cdot U$
5	$x = 0.175453 \cdot U$
6	$x = 0.171505 \cdot U$

### Kalibratie

De kalibratiemeting is uitgevoerd met de aluminiumachterwand. Voor de kalibratie meting is de primaire spoel vanaf het middelpunt, ongeveer 0, naar +1600  $\mu\text{m}$  bewogen. Vervolgens is de primaire spoel terug naar het middelpunt bewogen om de meting te vervolgen naar -1600  $\mu\text{m}$ .

Met LINEST functie in Excel zijn de richtingscoëfficiënten berekend in een bereik van -1600 en +1600  $\mu\text{m}$ . De spreiding tussen de richtingscoëfficiënten per meting is een maat van de nauwkeurigheid van de meting.

**Tabel 3: Meetnauwkeurigheid bepaling van de LVDT sensoren**

	<b>LVDT1</b>	<b>LVDT2</b>	<b>LVDT3</b>	<b>LVDT4</b>	<b>LVDT5</b>	<b>LVDT6</b>
<b>R.C. meting 1</b>	-0.1761	-0.1818	-0.1738	-0.1674	-0.1751	-0.1713
<b>R.C. meting 2</b>	-0.1759	-0.1818	-0.1742	-0.1676	-0.1750	-0.1713
<b>R.C. meting 3</b>	-0.1764	-0.1816	-0.1741	-0.1674	-0.1752	-0.1713
<b>R.C. gemiddelde</b>	-0.1762	-0.1814	-0.1741	-0.1679	-0.1755	-0.1715
<b>Spreiding (mV)</b>	0.0005	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.00005
<b>Spreiding (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	$9 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$

De meting van de invloed van een aluminium of POM achterwand is eerst gemeten, vervolgens is er een versterking op het signaal aangebracht zodat er een maximaal signaal verkregen wordt bij de grootst verwachte verplaatsing.

### **Invloed LVDT's op LVDT signaal**

De invloed van het aan of uitzetten van bepaalde LVDT's op het LVDT signaal is gemeten. Eerst zijn alle zijn alle LVDT's tegelijkertijd aangezet als referentie waarde. In de onderstaande tabel wordt er een waarde weergegeven wanneer de LVDT sensor aan stond.

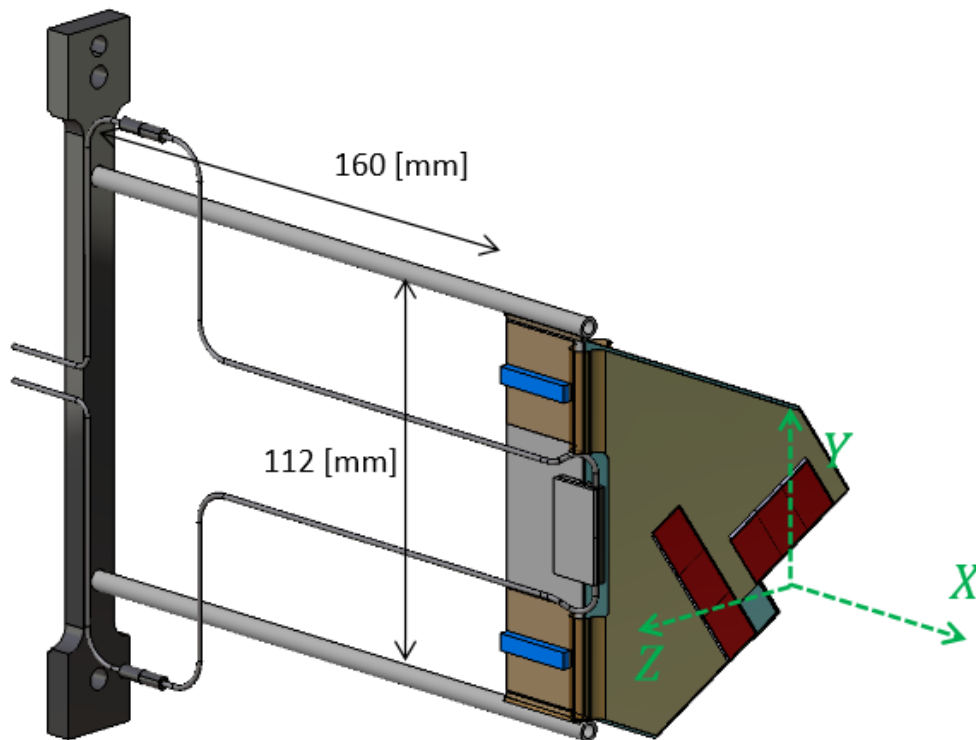
**Tabel 4: Invloed van LVDT's op LVDT signaal**

<b>LVDT1</b>	<b>LVDT2</b>	<b>LVDT3</b>	<b>LVDT4</b>	<b>LVDT5</b>	<b>LVDT 6</b>
1028	951	923	841	-422	-594
1065					
	915				
		941			
			885		
				-448	
					-615
1053	952				
1060	952	923			
			855	-438	
				-451	-630
					-615
1027	951	923	841	-422	-594
1031	952	923	841	-422	
1059	952	923	841		
1027	951	923	841	-422	-594

Er is duidelijk een verschil te zien in het LVDT signaal wanneer er maar 1 LVDT tegelijkertijd aanstaat. Omdat de bij alle metingen alle LVDT sensoren aanstaan en er relatief gemeten wordt heeft dit effect geen invloed op de meetresultaten.



## 6 $\Delta L$ als gevolg van de thermische uitzettingscoëfficiënt



Figuur 5: Assenkruis definitie (bron: Validatie Rapport, Jelle Boon)

Bij een constante uitzettingscoëfficiënt geldt:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

### Carbon fiber

Thermische uitzettingscoëfficiënt van carbonfiber

Richting fiberstructuur	$\alpha$ ( $10^{-6} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
Langs richting	-0.76 tot 4.02
Dwarsrichting	35.96 tot 56.50

De lengte verandering van de carbonfiber poten bij een temperatuur verandering van 20 °C naar -20 °C wordt hieronder uitgerekend:

Lengte van de carbonfiber poten:

$$\text{X-richting: } \Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 4.02 \cdot 10^{-6} \cdot 160 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 293) = -25.7 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Diameter van een carbonfiber poot:

$$\text{Y en Z-richting: } \Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 56.50 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 293) = -2.3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Dat geeft een totale lengte verandering in de Y en Z-richting van  $-4.6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

De lengte verandering van de carbonfiber midplate bij een temperatuur verandering van 20 °C naar -20 °C wordt hieronder uitgerekend:

$$\text{X-richting: } \Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 56.50 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 293) = -67.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Y-richting: } \Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 4.02 \cdot 10^{-6} \cdot 112 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 293) = -18.0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Z-richting: } \Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 56.50 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot (253 - 293) = -3.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

### Lijm

Een schatting van de lengte verandering ten gevolge van de lijm is berekend met behulp van de gemiddelde krimp van hars, welke ongeveer 8% is. Er wordt vanuit gegaan dat de lijmdikte 150 μm is en dat de lijm een thermische uitzettingscoëfficiënt van  $65 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  heeft. De lengte verandering ten gevolge van een temperatuur verandering van 20 °C naar -20 °C wordt dan:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 65 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot (253 - 293) = -0.39 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

### Aluminium

Het frame waarop de LVDT's zijn bevestigd is uit aluminium vervaardigd. De thermische uitzettingscoëfficiënt van is aluminium  $23 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

**Tabel 5: Lengte verandering ten gevolge van 1 graad Kelvin verandering in temperatuur**

	x-richting ( $10^{-6}$ m)	y-richting ( $10^{-6}$ m)	z-richting ( $10^{-6}$ m)
Carbonfiber poot	0.6	0.06	0.06
Carbonfiber midplate	1.7	0.5	0.08
Lijm	0.1	0.1	0.1
Front plate 323 x 270 x 15	7.4	6.2	n.v.t
Base plate 20 x 270 x 1/2(58)	0.5	n.v.t	0.7

De lengteverandering in de beugels voor de LVDT sensoren dragen niet bij aan de lengteverandering in het frame.

Wanneer de omgevingstemperatuur afneemt zal het aluminium frame korter worden waardoor het lijkt dat de module langer wordt en andersom.

### RVS

De koelpijpjes zijn gemaakt van RVS, dit heeft een uitzettingscoëfficiënt van  $16 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Voor koelpijpjes met een lengte van 70 cm geldt de volgende lengte verandering als gevolg van afkoeling tot -20 °C.

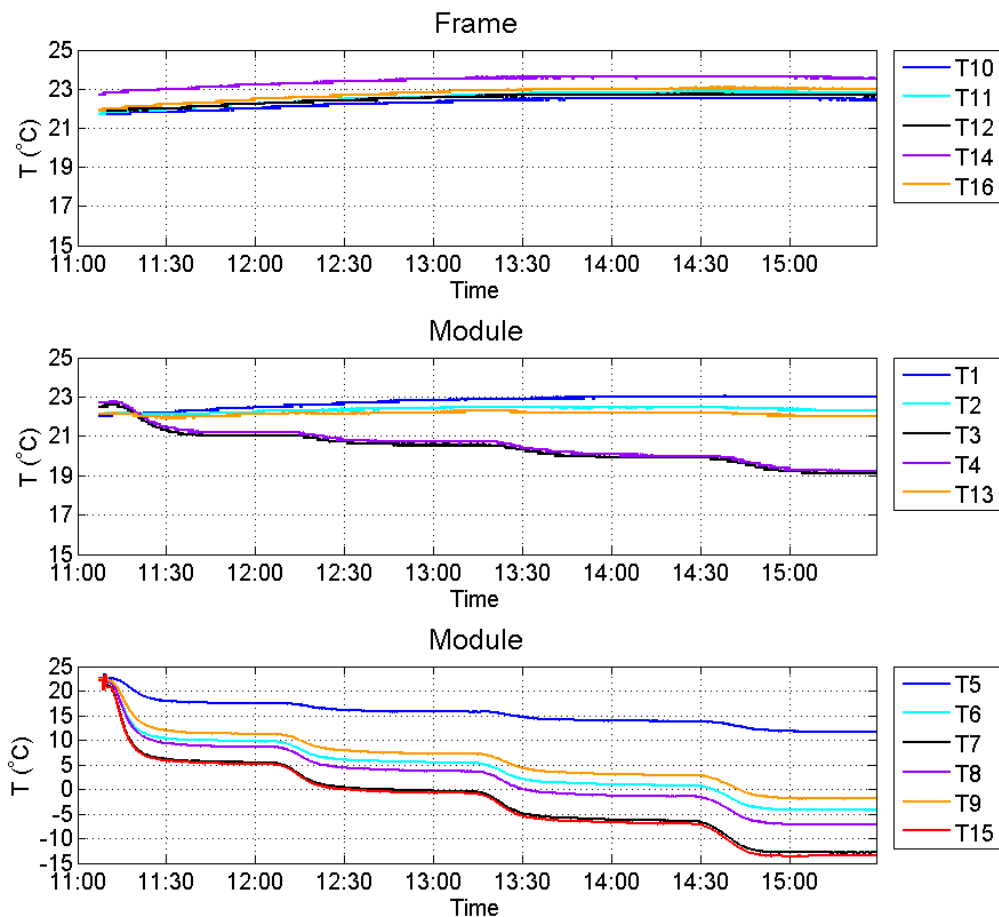
$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 16 \cdot 10^{-6} \cdot 0.7 \cdot (253 - 293) = 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

## 7 Resultaten Stapsgewijze koeltest 1

De eerste koeltest is uitgevoerd op 10 december 2014 van 11:07 tot ongeveer 16:30. De primaire koeling is eerst op  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  gezet en vervolgens in stappen van  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  verder gekoeld naar  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

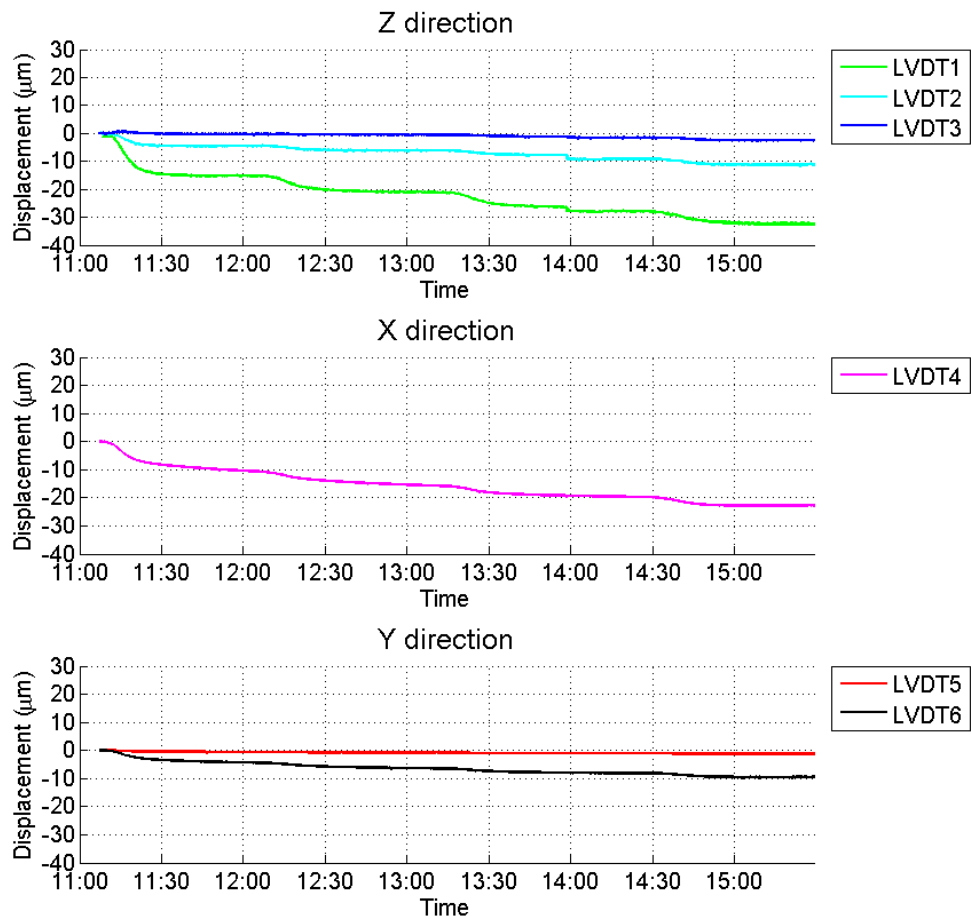
CO<sub>2</sub> koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur =  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Massastroom systeem =  $3\text{ g/s}$
- Massastroom module =  $2\text{ g/s}$



**Figuur 6: Temperatuur versus de tijd voor de eerste stapsgewijze koeltest**

Uit de temperatuur meting in Figuur 6 volgt dat de temperatuur van de module nog niet geheel stabiel is voordat de koeltemperatuur van het CO<sub>2</sub> gewijzigd wordt. Bovendien heeft de omgevingstemperatuur ook enige invloed op de temperatuur van het frame.



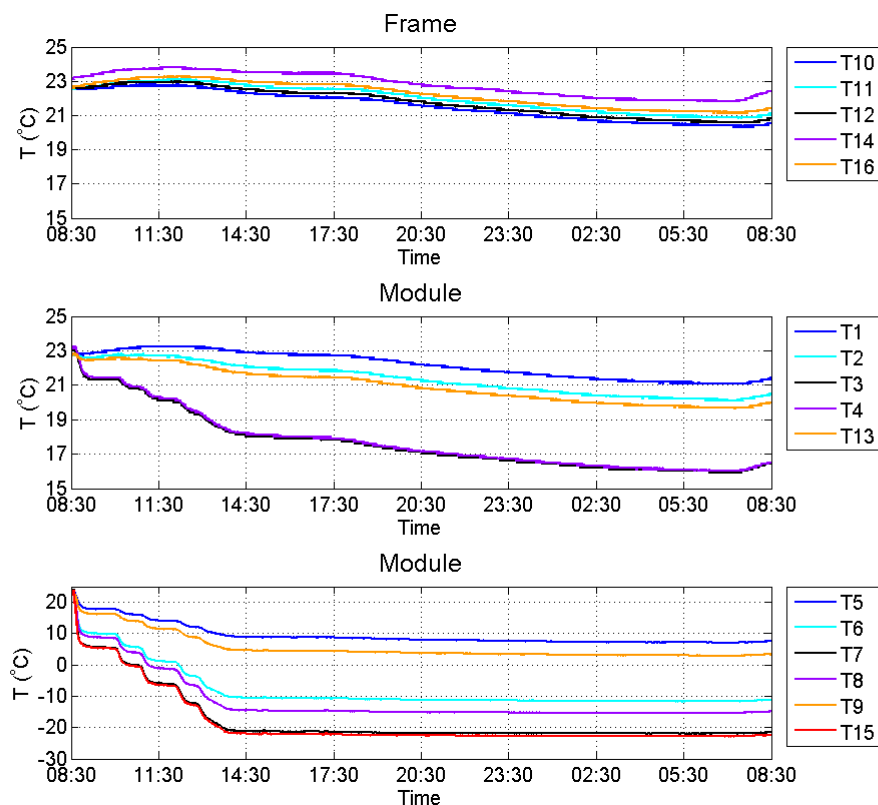
**Figuur 7: Signaal LVDT versus de tijd voor de eerste stapsgewijze koeltest**

## 8 Resultaten stapsgewijze koeltest 2

De tweede koeltest is uitgevoerd op 11 december 2014 van 8:32 tot ongeveer 12 december 8:30. De primaire koeling is eerst op  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  gezet en vervolgens in stappen van ongeveer  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  verder gekoeld naar  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

CO<sub>2</sub> koeling instellingen:

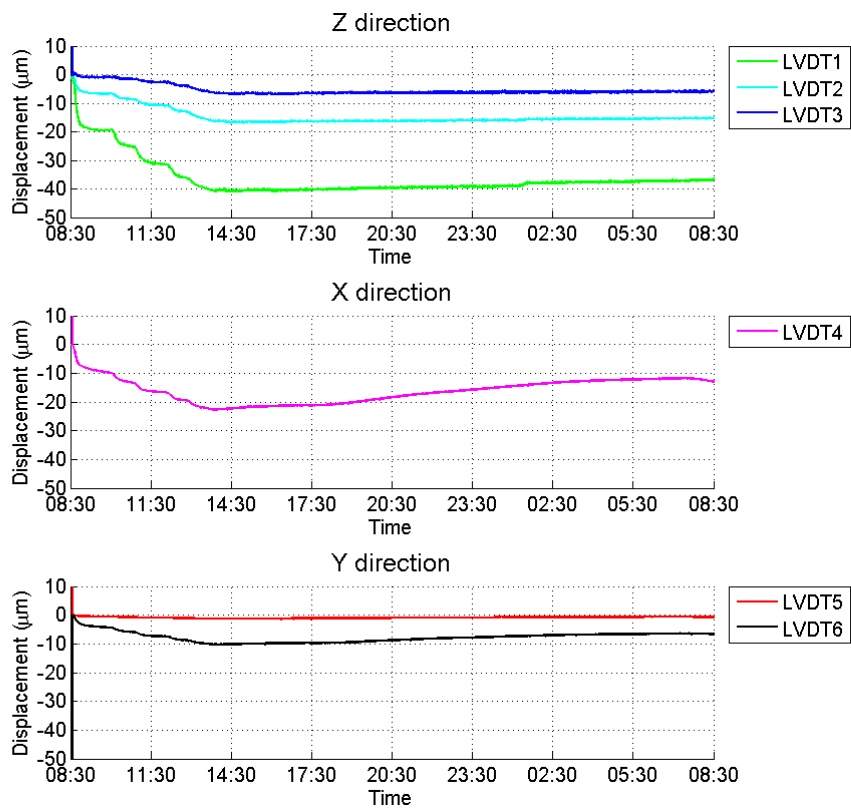
- Accumulator temperatuur =  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Massastroom systeem =  $3\text{ g/s}$
- Massastroom module =  $2\text{ g/s}$



**Figuur 8: Temperatuur versus de tijd voor de tweede stapsgewijze koeltest**

Uit de temperatuur meting in Figuur 8 volgt dat de omgevingstemperatuur behoorlijke invloed heeft op de temperatuur van het frame en de module. Vanaf 14:30 is de koeltemperatuur van het CO<sub>2</sub> gelijk gehouden, de verwarming van de ruimte gaat rond 18:00 uit en dat is ook duidelijk te zien in de bovenste twee grafieken.

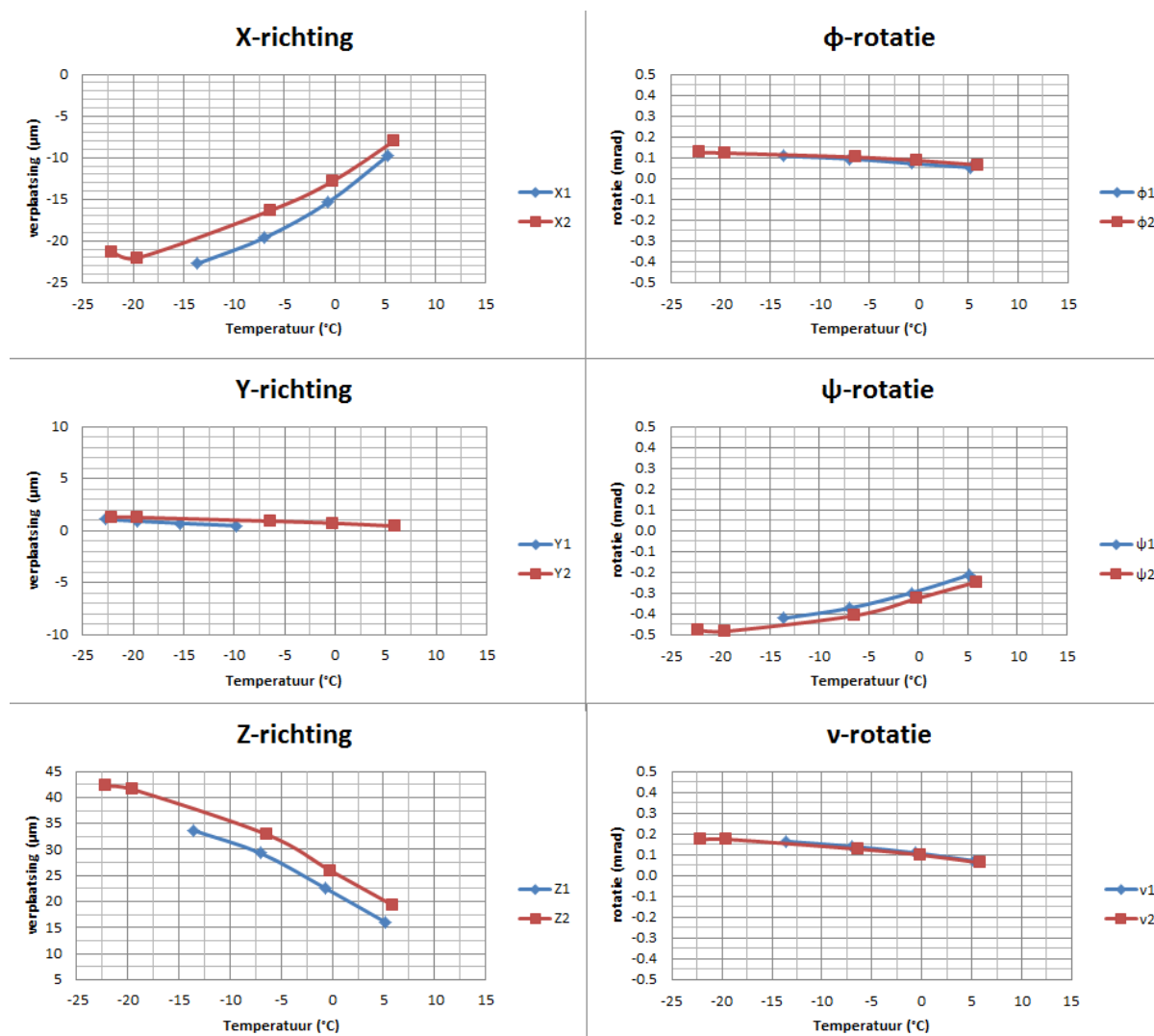
Het signaal van de LVDT's laat een soortgelijke verandering zien, Naarmate het kouder wordt, neemt de verplaatsing in de X, Y en Z-richting af.



**Figuur 9: Signaal LVDT versus de tijd voor de tweede stapsgewijze koeltest**

## 9 Vergelijking stapsgewijze koeltesten

In de figuren hieronder zijn de verplaatsing in de x, y en z-richting en de  $\phi$ ,  $\psi$  en  $\nu$  rotatie ten opzichte van de koeltemperatuur T15 weergegeven voor de stapsgewijze koeltesten 1 en 2. De aangegeven meetpunten zijn gekozen vlak voordat er een nieuwe koeltemperatuur ingesteld werd. Als nulpunt is de omgevingstemperatuur gebruikt.



**Figuur 10: Vergelijking tussen de resultaten van de stapsgewijze koeltesten 1 en 2**

Het verschil tussen de twee metingen kan verklaard worden door de korte stabilisatie periode. Omdat de temperatuur nog niet geheel stabiel is voordat de koeltemperatuur gewijzigd wordt, zijn de metingen geen exacte herhalingen van elkaar. Bovendien lijkt de omgevingstemperatuur een behoorlijke invloed op de opstelling te hebben, de meetomstandigheden zijn daardoor ook niet gelijk.

Voor de Z-richting blijkt dat er in de translatiematrix een teken is omgekeerd waardoor de resultaten in de bovenstaande grafiek ook omgekeerd zijn.

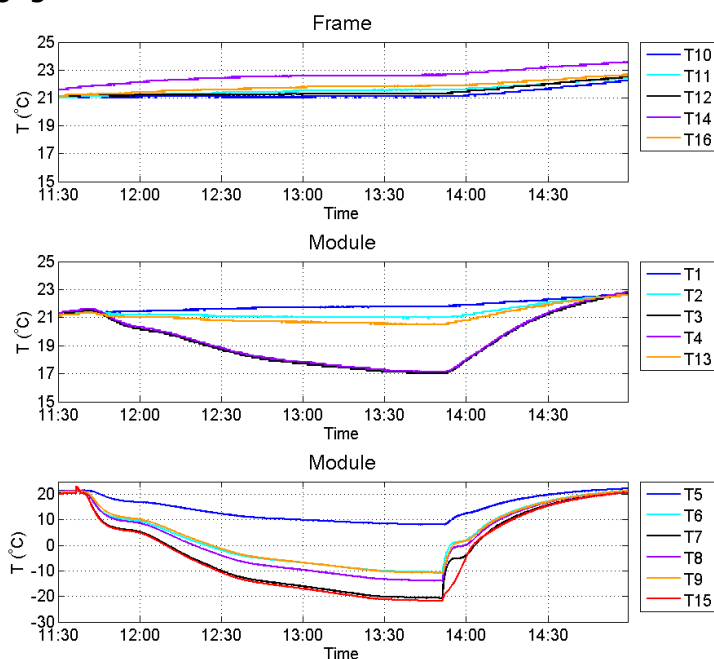
## 10 Resultaten snelle koeltest 1

Deze meting is gestart op 16 december 2014 vanaf 11:37 met opwarming vanaf 13:50 door de by-pass in de CO2 koeler open te zetten zodat de koelvloeistof niet langer langs de module stroomt.

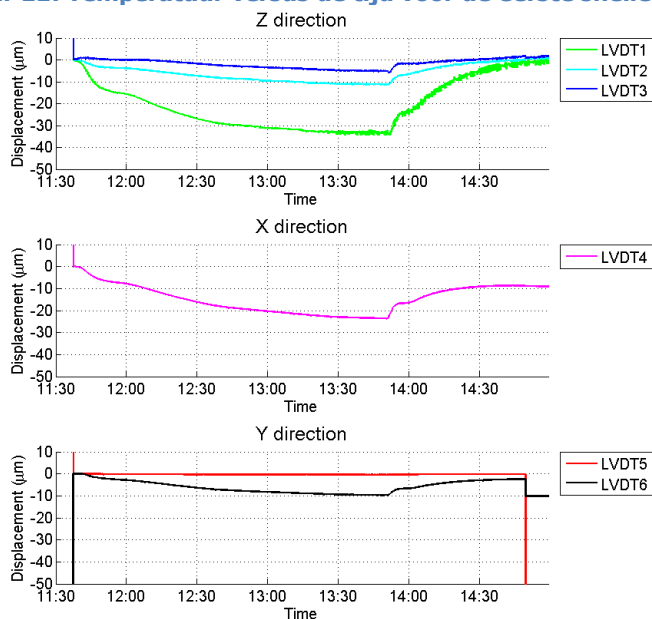
CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s

Het LVDT signaal van sensor 5 is exact 0 en blijft gedurende het grootste gedeelte van de meting ook zo, dit doet vermoeden dat het signaal van deze sensor niet goed doorgegeven wordt. Het is bekend dat sensor 5 of 6 af en toe slecht contact maakt.



Figuur 11: Temperatuur versus de tijd voor de eerste snelle koeltest



Figuur 12: Signaal LVDT versus de tijd voor de eerste snelle koeltest

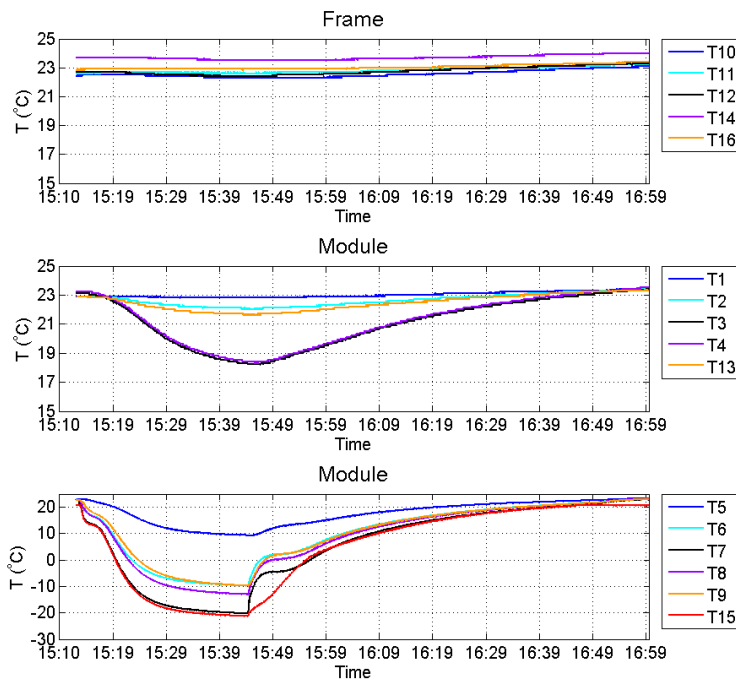


## 11 Resultaten snelle koeltest 2

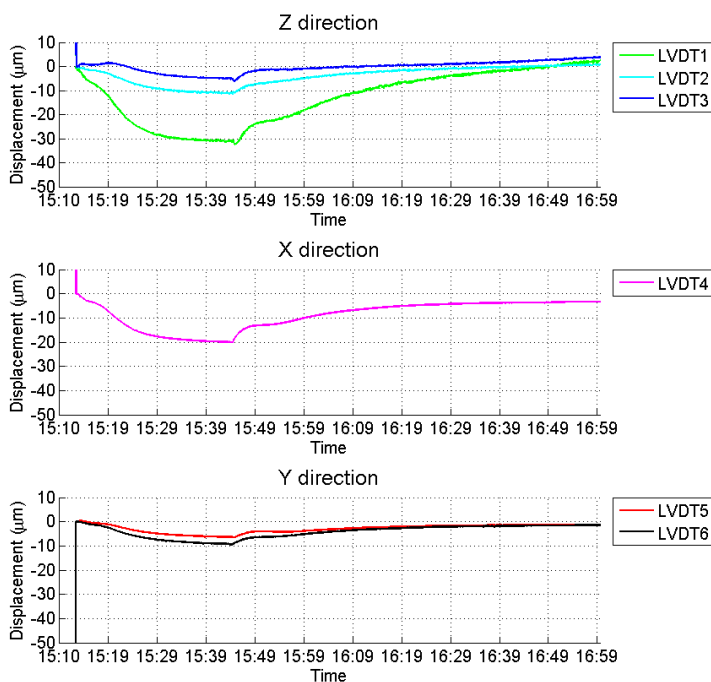
Deze meting is gestart op 16 december 2014 vanaf 15:13 met opwarming vanaf 15:45 door de by-pass in de CO2 koeler open te zetten zodat de koelvloeistof niet langer langs de module stroomt.

CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s



Figuur 13: Temperatuur versus de tijd voor de eerste tweede koeltest



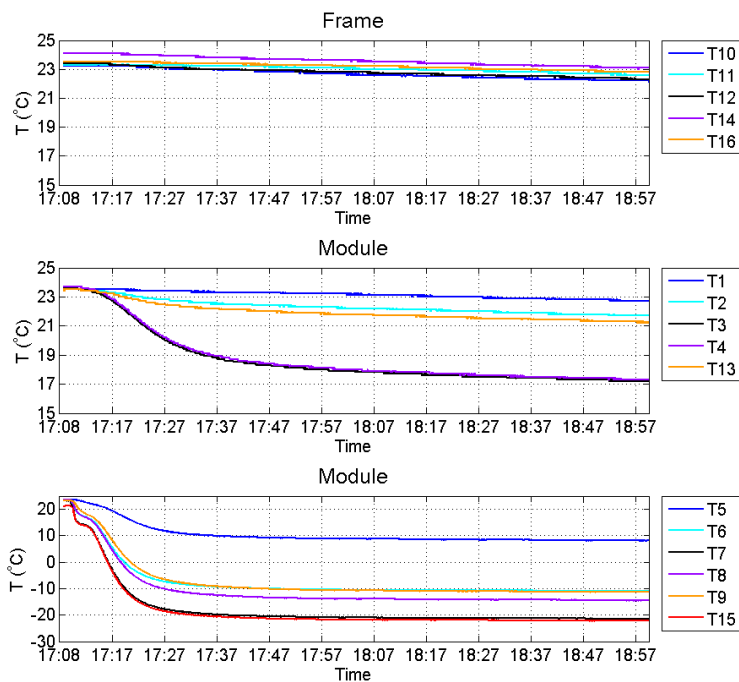
Figuur 14: Signaal LVDT versus de tijd voor de eerste tweede koeltest

## 12 Resultaten snelle koeltest 3

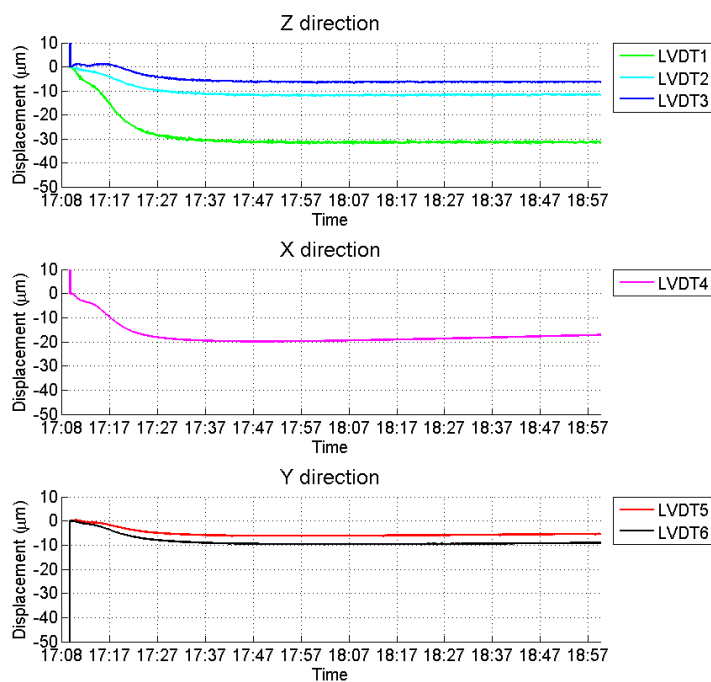
Deze meting is gestart op 16 december 2014 vanaf 17:08 met een duurttest tot 17 december 9:00.

CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s



Figuur 15: Temperatuur versus de tijd voor de derde snelle koeltest



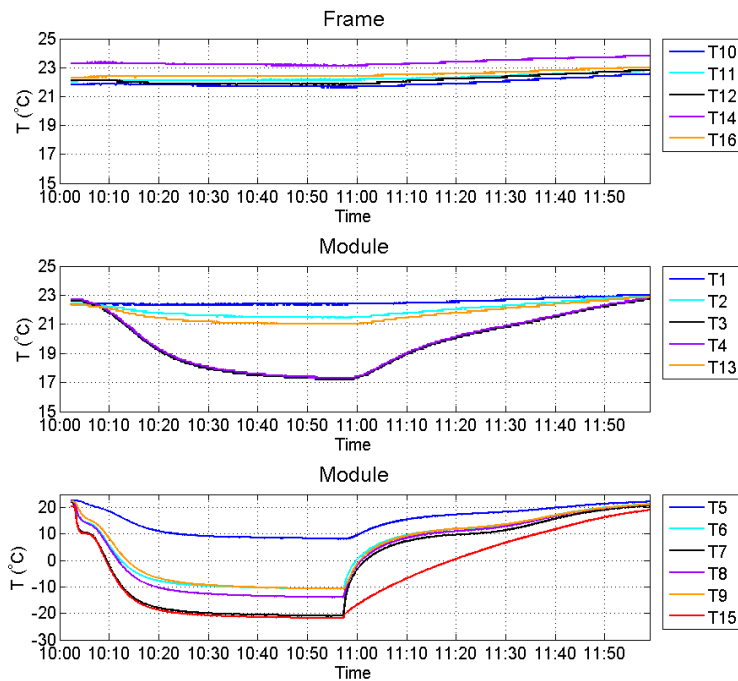
Figuur 16: Signaal LVDT versus de tijd voor de derde snelle koeltest

### 13 Resultaten snelle koeltest 4

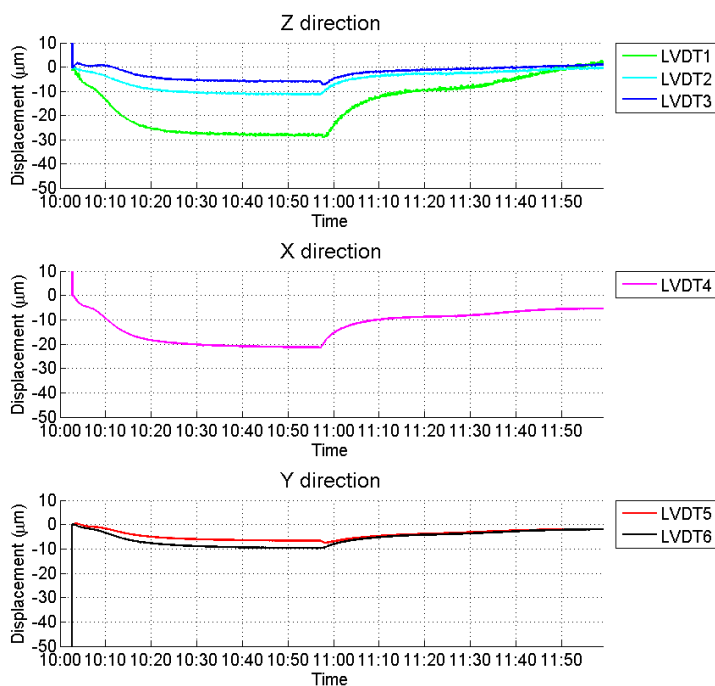
Deze meting is gestart op 17 december 2014 10:00 met opwarming vanaf 11:00 door de by-pass in de CO2 koeler open te zetten zodat de koelvloeistof niet langer langs de module stroomt.

CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s



Figuur 17: Temperatuur versus de tijd voor de vierde snelle koeltest



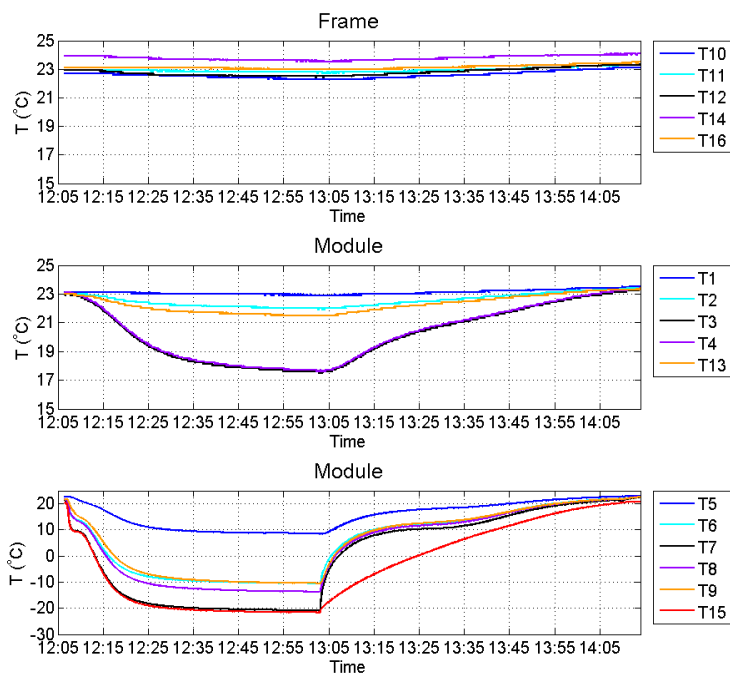
Figuur 18: Signaal LVDT versus de tijd voor de vierde snelle koeltest

## 14 Resultaten snelle koeltest 5

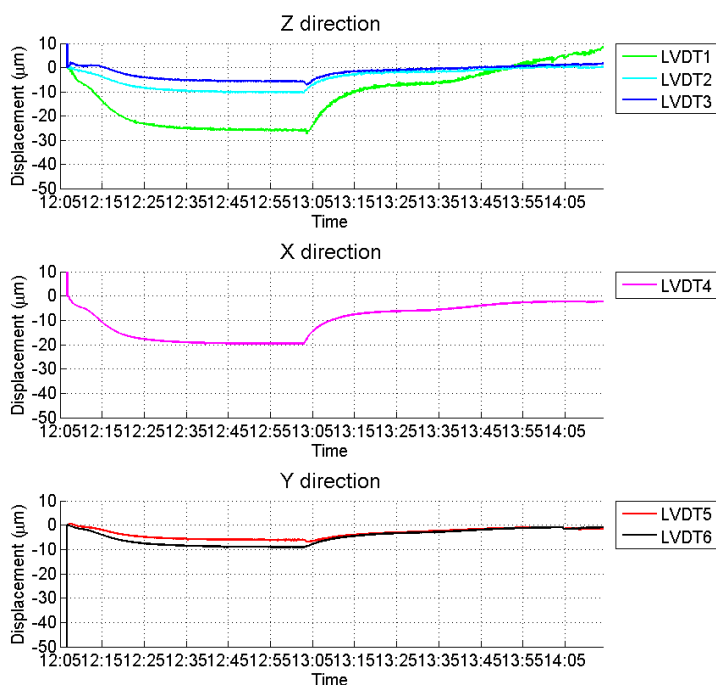
Deze meting is gestart op 17 december 2014 12:05 met opwarming vanaf 13:00 door de by-pass in de CO2 koeler open te zetten zodat de koelvloeistof niet langer langs de module stroomt.

CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s



Figuur 19: Temperatuur versus de tijd voor de vijfde snelle koeltest



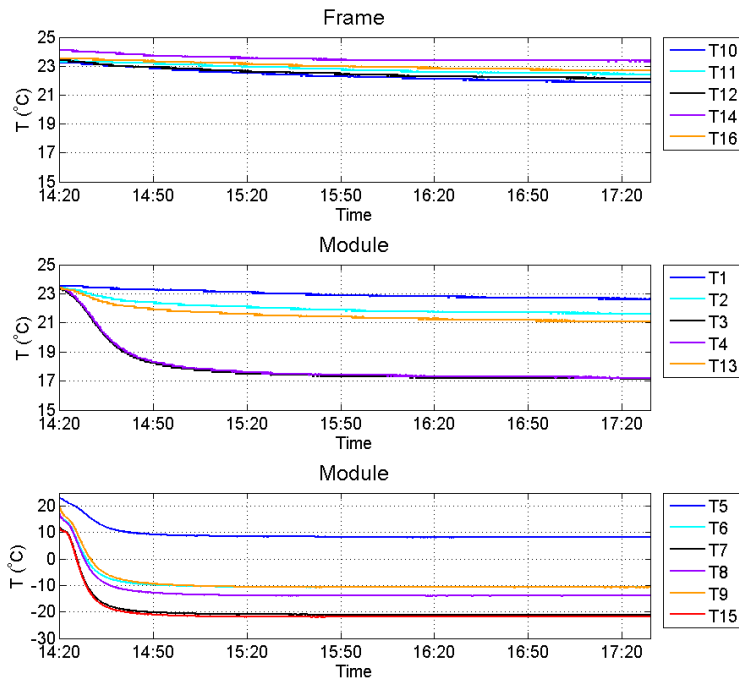
Figuur 20: Signaal LVDT versus de tijd voor de vijfde snelle koeltest

## 15 Resultaten snelle koeltest 6

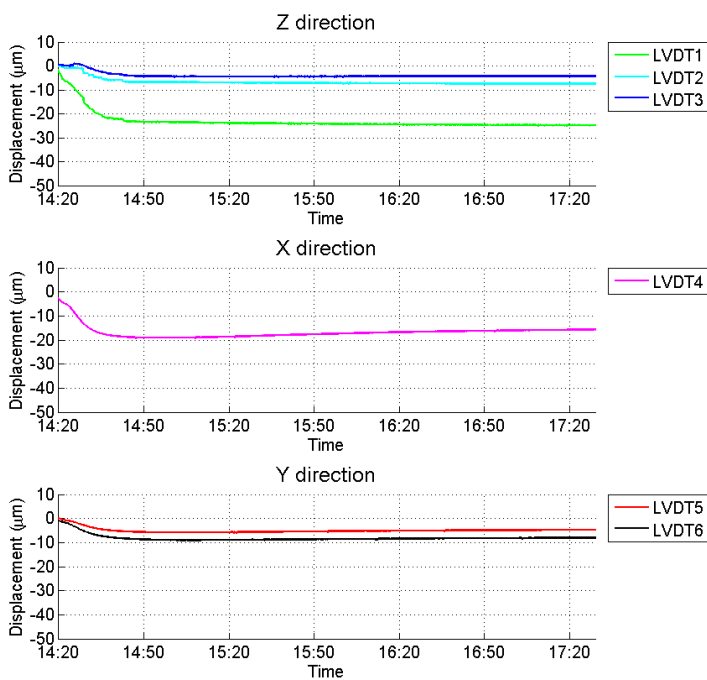
Deze meting is gestart op 17 december 2014 14:18.

CO2 koeling instellingen:

- Accumulator temperatuur = 20 °C
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module= 3 g/s



Figuur 21: Temperatuur versus de tijd voor de zesde snelle koeltest

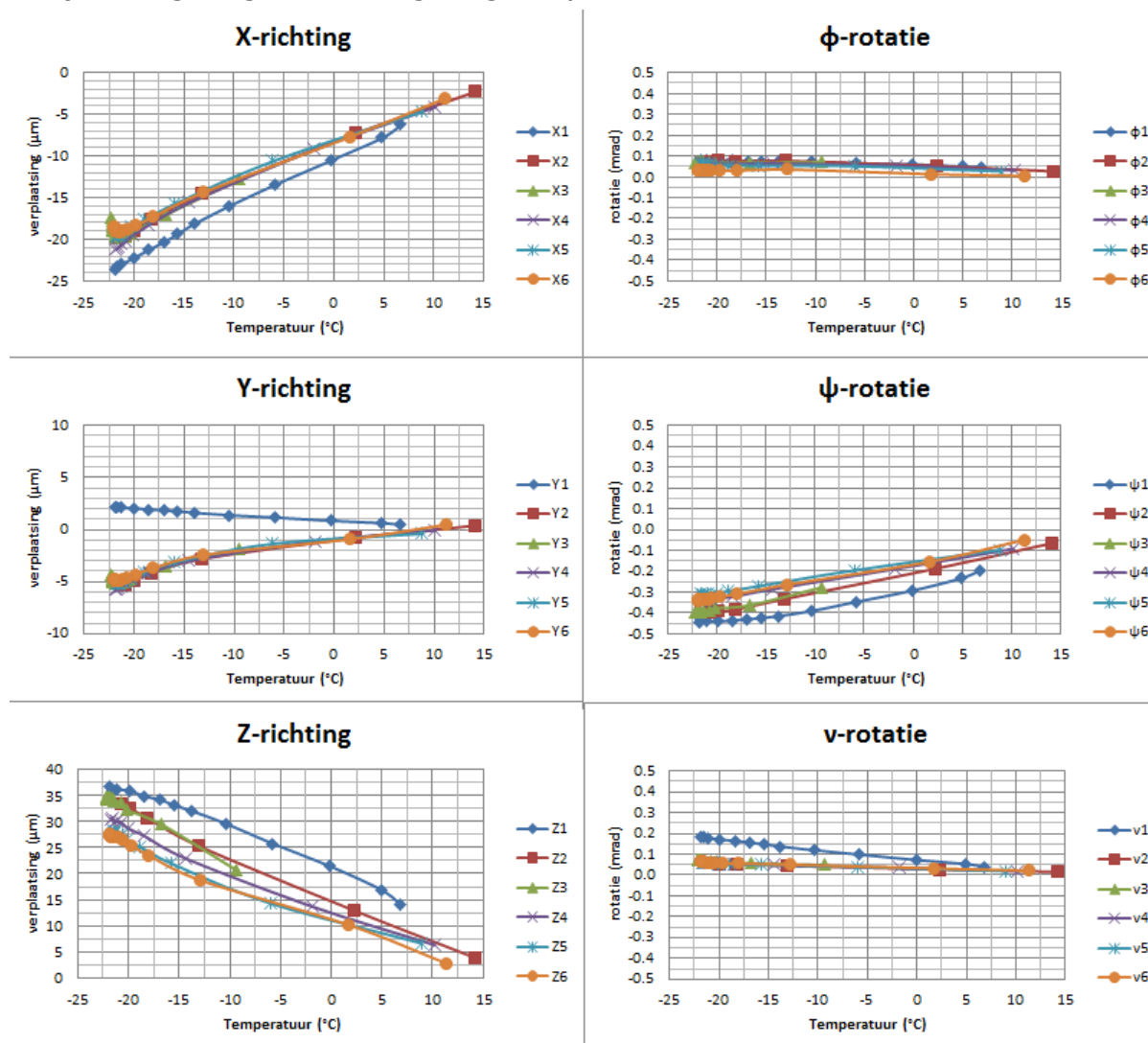


Figuur 22: Signaal LVDT versus de tijd voor de zesde snelle koeltest

## 16 Vergelijking snelle koeltesten

In het onderstaande figuur zijn de translaties voor alle metingen snelle afkoeling metingen weergegeven. Het resultaat van de eerste meting wijkt sterk af van de andere metingen. Dit wordt veroorzaakt door LVDT 5 dat geen signaal doorgaf tijdens de meting.

Uit meting 6 blijkt dat het systeem niet geheel stabiel is op de laagste temperatuur, dit lijkt een gevolg van de omgevingstemperatuur.



**Figuur 23: Vergelijking translaties voor alle snelle afkoeling metingen**

Voor de Z-richting blijkt dat er in de translatiematrix een teken is omgekeerd waardoor de resultaten in de bovenstaande grafiek ook omgekeerd zijn.

De maximaal gemeten verplaatsing en hoekverdraaiing bij een afkoeling van een temperatuur van 20 °C naar -23 °C is weergegeven in de onderstaande tabel.

**Tabel 6: Verplaatsing en hoekverdraaiing bij afkoeling tot -23 °C**

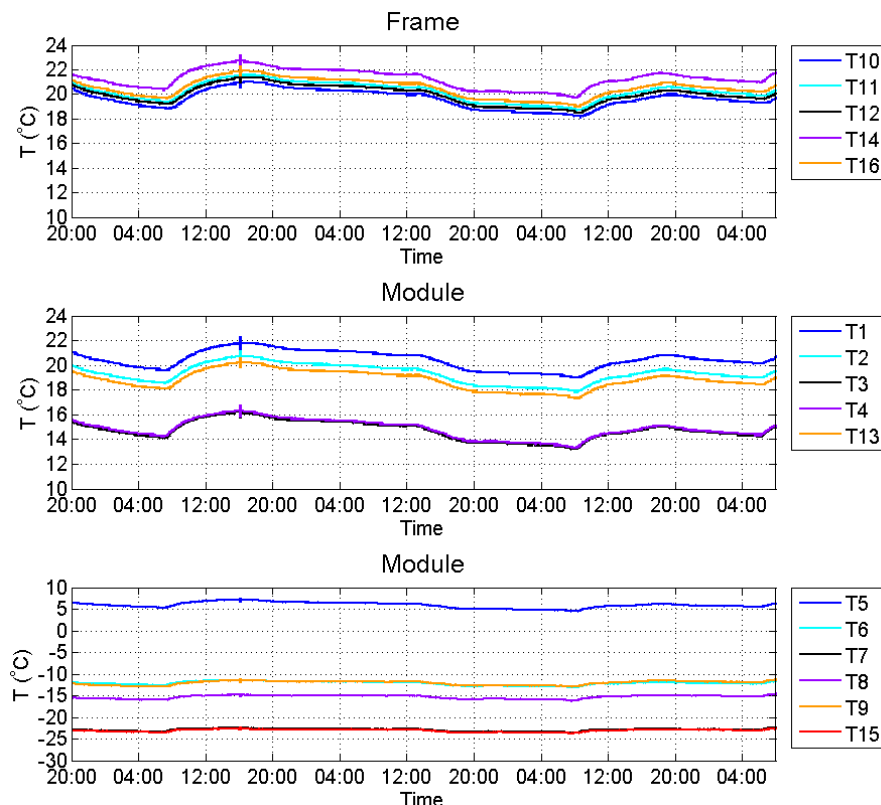
X-richting (μm)	Y-richting (μm)	Z-richting (μm)	$\Phi$ -rotatie (mrad)	$\Psi$ -rotatie (mrad)	v-rotatie (mrad)
-21	-5	-35	0.1	-0.4	0.1

## 17 Resultaten eerste duurtest met start datum 8 januari 2015

Rond 13:30 is de vacuüm klok gesloten en het vacuümsysteem aangezet, om 15:15 zijn de signalen van de LVDT's op 0 gezet. Vervolgens is om 15:20 de route van de koelvloeistof naar de module open gezet. Rond 16:30 is de primaire koeling van  $-5^{\circ}\text{C}$  naar  $-50^{\circ}\text{C}$  gezet zodat de vloeibare  $\text{CO}_2$  verder afkoelt naar een temperatuur van ongeveer  $-23^{\circ}\text{C}$  bij de ingang van de module. Een klein overzicht van de instellingen van de  $\text{CO}_2$  koeling staat hieronder.

- Primaire koeling =  $-50^{\circ}\text{C}$
- Accumulator temperatuur =  $15^{\circ}\text{C}$
- Koeltemperatuur  $\text{CO}_2$  =  $-23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Massastroom systeem =  $5 \text{ g/s}$
- Massastroom module =  $2 \text{ g/s}$

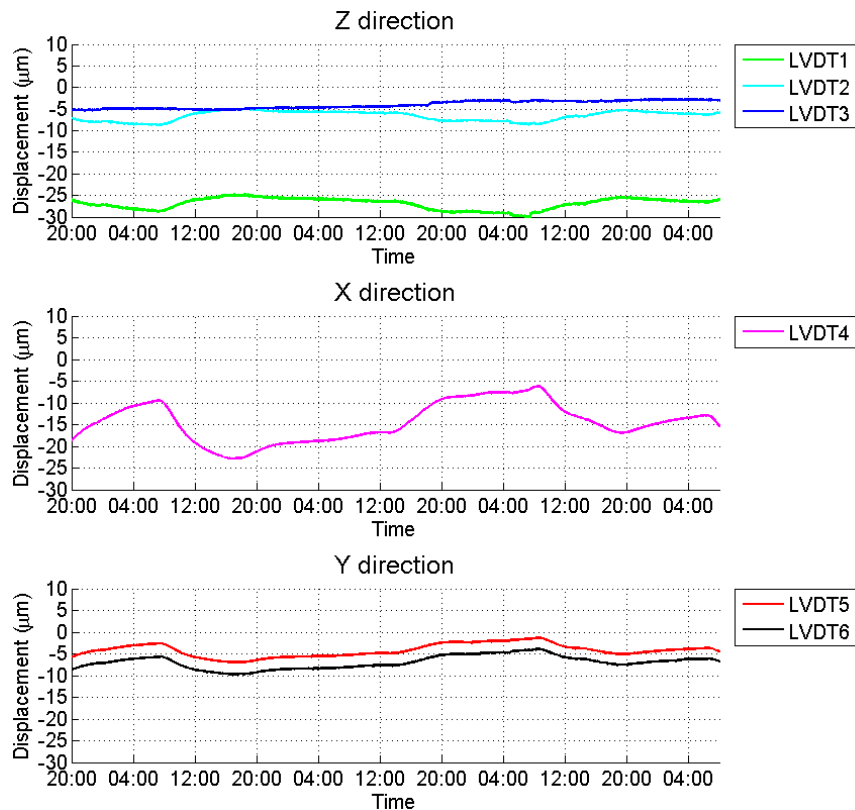
Voor de onderstaande figuren is de data weergegeven waarbij de minimale koeltemperatuur, met deze instellingen voor de  $\text{CO}_2$  koeling, is bereikt. De temperatuur van het frame varieert ongeveer  $1.5^{\circ}\text{C}$  over de tijd. De temperatuur van het systeem daalt elke dag rond 18:00 uur en stijgt weer rond 7:00 uur met uitzondering van zaterdag 10 januari.



**Figuur 24: Temperatuur versus tijd voor de duurtest vanaf 8 januari**

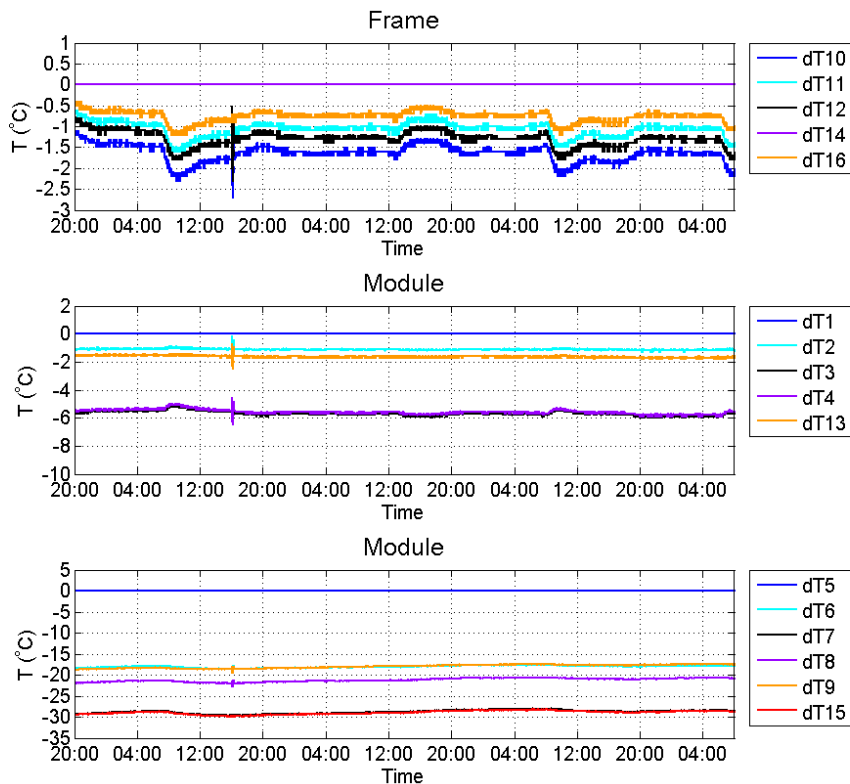
Voor de verplaatsing in de x- en y-richting is te zien dat de LVDT-signalen op dezelfde tijden pieken en dalen vertonen. Voor LVDT1 en LVDT2 geldt dat op deze tijden ook een dalen of pieken te zien zijn, maar dan in tegengestelde richting.

LVDT3 geeft geen duidelijke pieken of dalen, alleen een lichte verplaatsing naar de toe.



Figuur 25: Signaal LVDT versus de tijd voor de duurttest vanaf 8 januari

Figuur 26 geeft de temperatuur verschillen aan ten opzichte van T14 voor het frame, T1 voor de warme temperaturen van de module en T5 voor de koude temperaturen van de module.



Figuur 26: Temperatuurverschil versus tijd voor de duurttest vanaf 8 januari



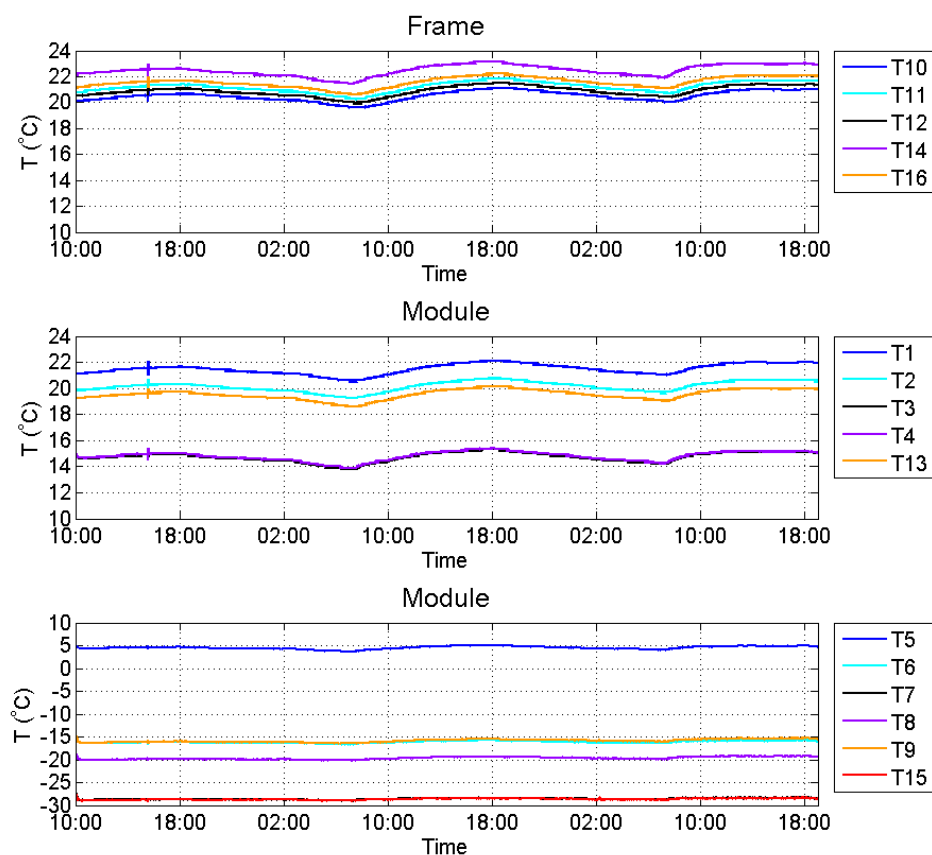
## 18 Resultaten tweede duurtest met start datum 12 januari 2015

De massastroom van het koelsysteem naar de module is rond 8:30 omhoog gezet, van 2 g/s naar 3 g/s, zodat de warmte toevoer vanaf de omgeving iets kleiner wordt. Het gevolg is dat de minimale temperatuur daalt naar ongeveer  $-28^{\circ}\text{C}$ . De meting is gestopt op woensdag 14 januari om 19:00.

Een klein overzicht van de instellingen van de  $\text{CO}_2$  koeling staat hieronder.

- Primaire koeling =  $-50^{\circ}\text{C}$
- Accumulator temperatuur =  $15^{\circ}\text{C}$
- Koeltemperatuur  $\text{CO}_2$  =  $-28.5 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module = 3 g/s

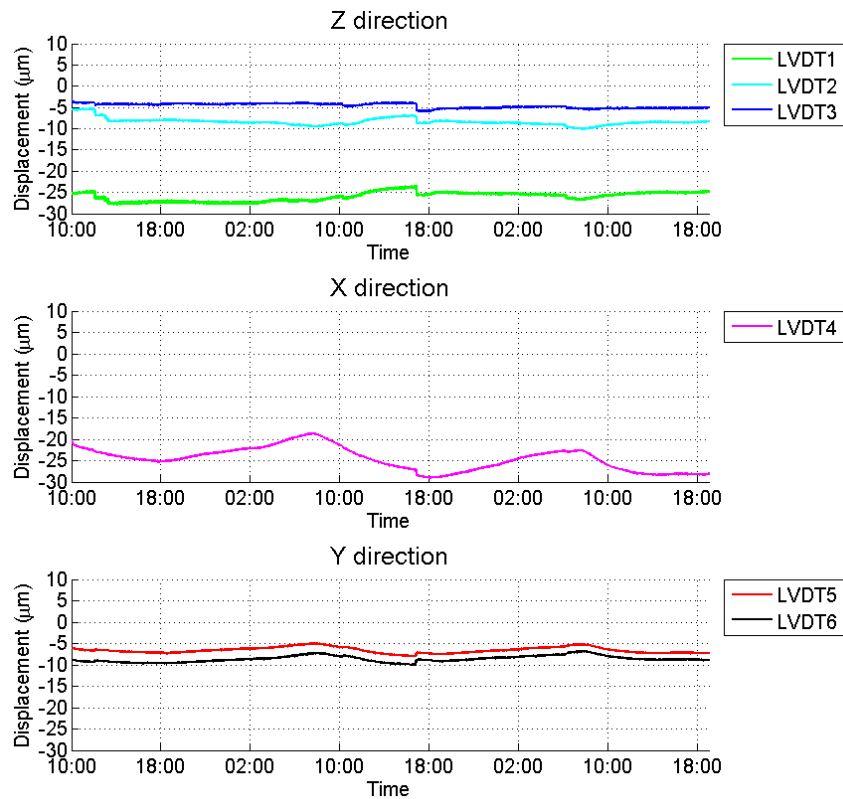
Voor de onderstaande figuren is de data weergegeven waarbij de massastroom door de module 3 g/s is en waarbij de minimale koeltemperatuur, met deze instellingen voor de  $\text{CO}_2$  koeling, is bereikt. De temperatuur van het frame varieert ongeveer  $1^{\circ}\text{C}$  over de tijd. De temperatuur van het systeem daalt elke werkdag rond 18:00 uur en stijgt weer rond 7:00 uur.



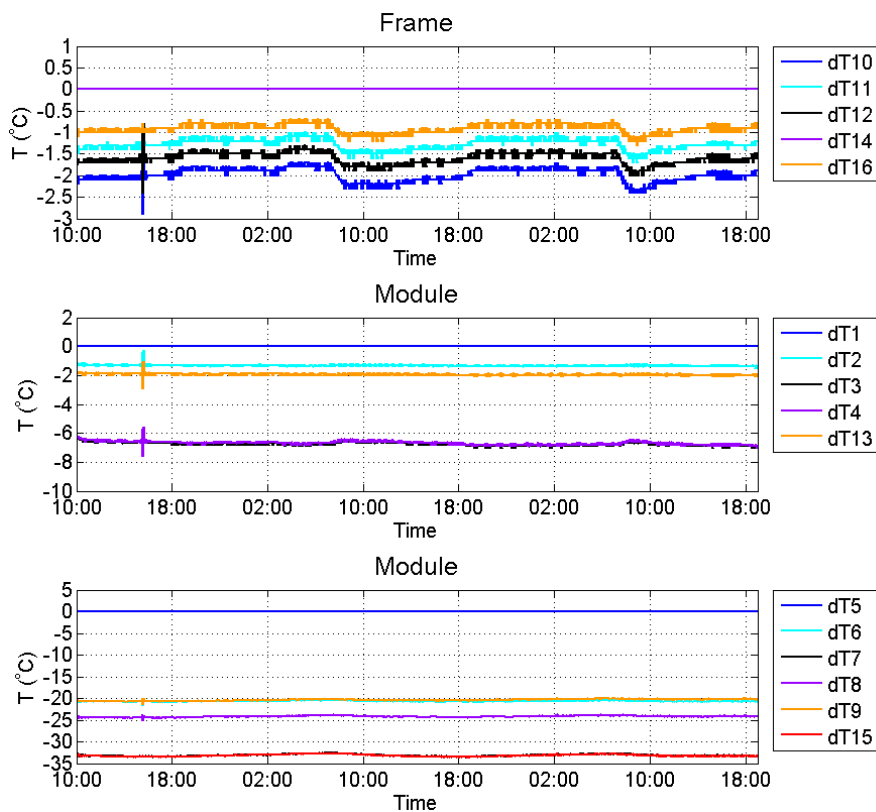
**Figuur 27: Temperatuur versus tijd voor de duurtest vanaf 12 januari**

Voor de verplaatsing in de x- en y-richting is te zien dat de LVDT-signalen op dezelfde tijden pieken en dalen vertonen.

De temperatuur vertoont vanaf 13 januari geleidelijke opwarming wat de verplaatsing in alle LVDT sensoren rond 10:00 kan veroorzaken, de oorzaak van de plotselinge verplaatsing van 1 tot 2 $\mu$ m rond 16:45 is onbekend.



**Figuur 28: Signaal LVDT versus de tijd voor de duurtest vanaf 12 januari**



**Figuur 29: Temperatuurverschil versus tijd voor de duurtest vanaf 12 januari**

## 19 Resultaten duurtest vanaf 14 Januari

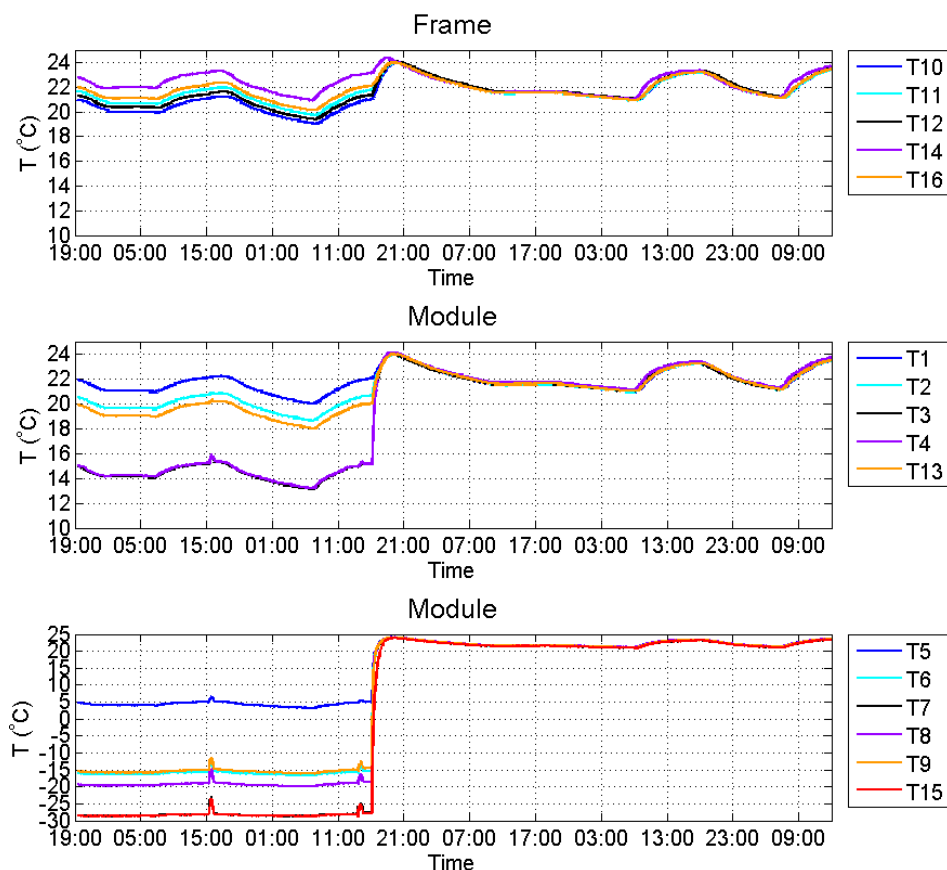
Start meting 14 januari 2015 met de volgende instellingen:

- Primaire koeling =  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Accumulator temperatuur =  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Koeltemperatuur CO<sub>2</sub> =  $-28.5 \pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Massastroom systeem = 5 g/s
- Massastroom module = 3 g/s

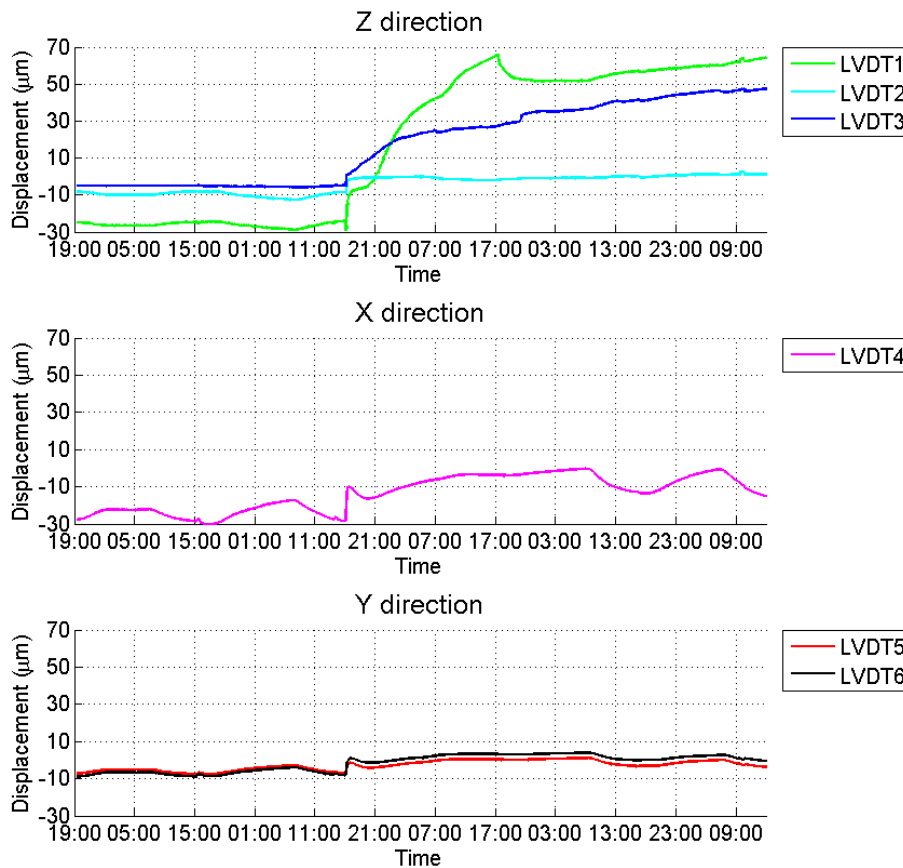
Op 15 januari rond 15:00 is de accumulator temperatuur verlaagd naar  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  zodat er 2-fase koeling ontstaat in de module. Er is een klein piekje van  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in T15, CO<sub>2</sub> inlaat, te zien rond 16:00 en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de druk/temperatuur regeling van de koeling.

Het koudste punt van  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$  in het frame van de module is gemeten op 16 januari rond 7:00.

Op 16 januari rond 14:00 is de massastroom gevarieerd om te zien of het mogelijk is om nog lagere temperatuur te bereiken in de module, dit blijkt niet haalbaar te zijn met de huidige opstelling. Rond 16:00 is de koeling uitgezet.



Figuur 30: Temperatuur versus tijd voor de duurtest vanaf 14 januari



**Figuur 31: Signaal LVDT versus de tijd voor de duurttest vanaf 14 januari**

## 20 Conclusie duurttesten

Uit de duurttest met en zonder koeling blijkt dat de omgevingstemperatuur sterk invloed heeft op de meetopstelling. Doordat het frame in temperatuur varieert zullen de dimensies van het frame ook variëren. De dimensie veranderingen ten op zichten van de VELO module wordt ook door de LVDT sensoren gemeten waardoor het onduidelijk is welke verplaatsing alleen veroorzaakt wordt door de VELO module.

De grootte van de massastroom heeft geen meetbare invloed op de verplaatsing van de VELO module. De massastroom verhouding door het systeem en het experiment is belangrijk voor de haalbare koeltemperatuur. De best haalbare koeltemperatuur ligt op ongeveer  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  met een massastroom door het systeem van ongeveer 5 g/s en 2 g/s door het experiment.

2-fase koeling heeft geen meetbare invloed op de verplaatsing van de VELO module. De koeltemperatuur kan iets stabielere zijn omdat de omgevingstemperatuur geen invloed heeft op de temperatuur van de koelvloeistof. Wanneer het warmer wordt zal er meer  $\text{CO}_2$  verdampen terwijl de temperatuur constant blijft.

## 21 Aanpassingen meetopstelling

Om de invloed van de omgevingstemperatuur te verminderen zijn er een aantal aanpassingen gemaakt aan de meetopstelling. Er is een heater geplaatst op het frame van de module, de heater wordt aangestuurd met een controller waarin een PID regeling kan worden ingesteld.

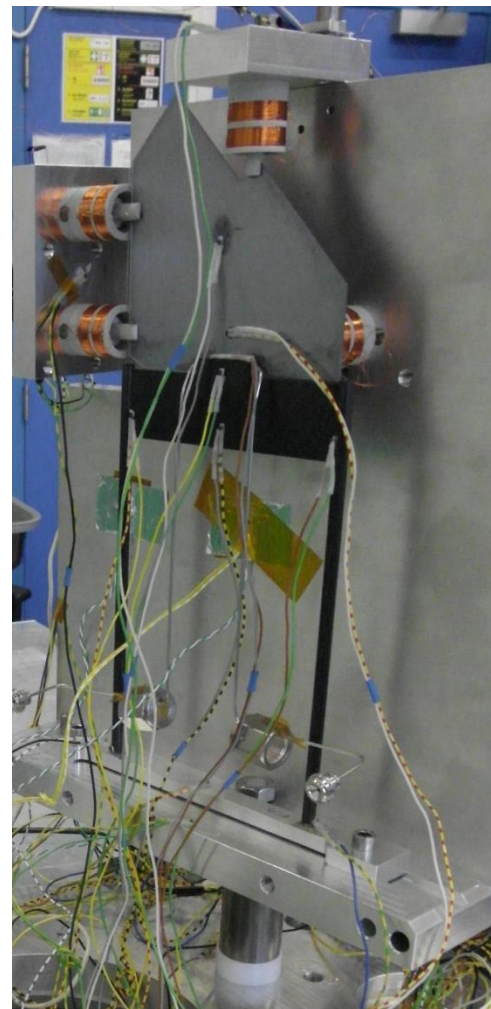
Daarnaast is de steun waarop het frame is geplaatst uiteindelijk vervangen door een dunwandig RVS pijp met een delrin (POM) aan de frame zijde, dit alles is bevestigd met een verjongde RVS draadstang. Er is ook gemeten met een dunwandig RVS pijp tussen twee delrin ringen en een delrin draadstang, echter in de resultaten van de LVDT's was een zaagtandvormig signaal te zien. Door de delrin draadstang te vervangen door de RVS draadstang is dit probleem verholpen.

Voordat de oorzaak van de zaagtand werd gevonden is er gekeken of de koelleidingen invloed hebben op de trillingen, daarom is er ook gemeten zonder dat de koelleidingen waren aangesloten. Uit die meting bleek dat de koelleidingen de zaagtand zelfs dempten en dat de oorzaak van de zaagtand in de steun moest zitten.

Om de omgevingstemperatuur over 24 uur stabiel te krijgen is het raam, waardoor de uitlaat van de vacuümpomp loopt, van ruimte N021 afgeplakt met bubbelpastic.

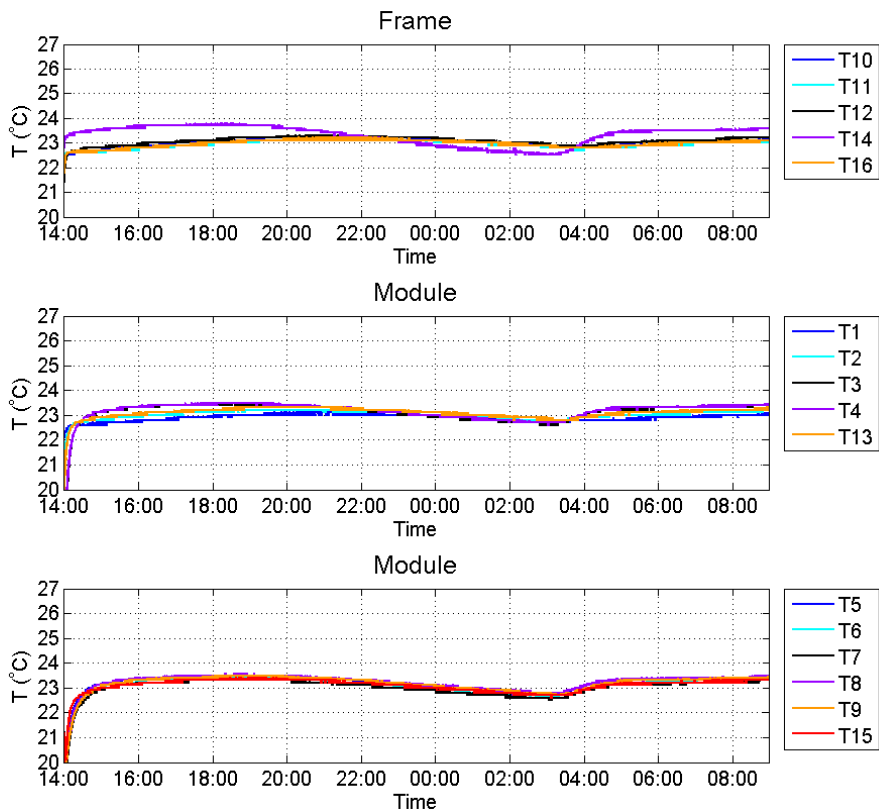
Omdat het signaal van LVDT 1 en 3 sterk verlopen wanneer de vacuümklok wordt geëvacueerd, zijn alle LVDT sensoren op signaal gecontroleerd. Alle sensoren lijken te werken naar behoren, wel zat het blok waarop LVDT 5 en 6 zijn gefixeerd los. Daarom zijn alle bouten aangevuld met veerringen en weer vastgedraaid.

Om de trillingen van het contragewicht uit te kunnen sluiten wordt het contragewicht nu gedragen, dit heeft als voordeel dat de staaldraad nu zonder spanning aan de vacuümklok hangt.

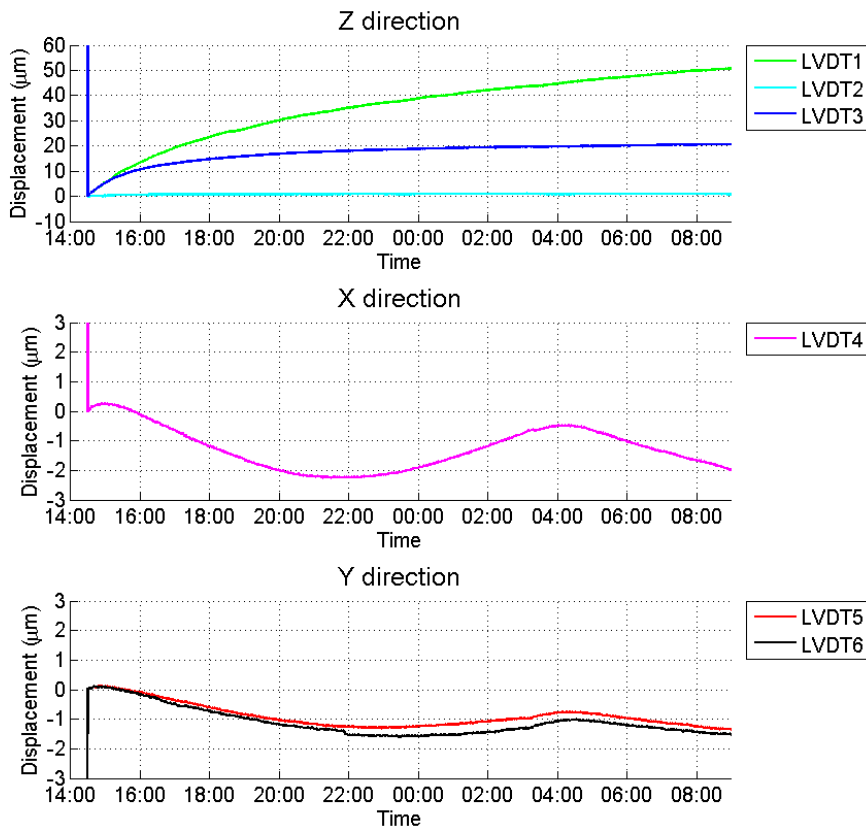


**Figuur 32: Koppelingen zoveel mogelijk onder de module geplaatst**

De onderstaand resultaten zijn van een meting met de steun van dunwandig RVS buis, met een delrin ring en de verjongde RVS draadstang. De vacuüm klok is geëvacueerd en het raam van ruimte N021 is afgeplakt.

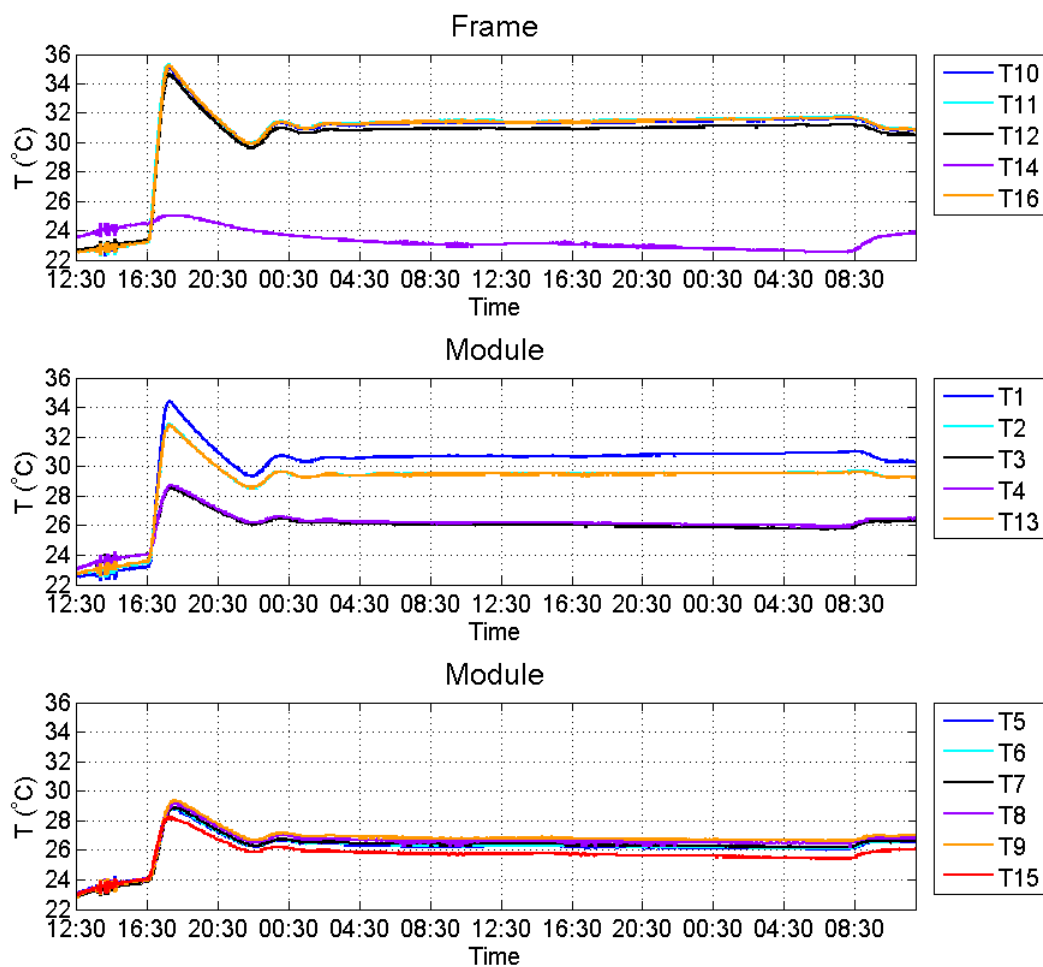


**Figuur 33: Temperatuur versus tijd voor de meetopstelling test**



**Figuur 34: Signaal LVDT versus de tijd voor de meetopstelling test**

De onderstaande resultaten zijn van een meting waarbij de heater regeling op een gegeven moment is aangezet.



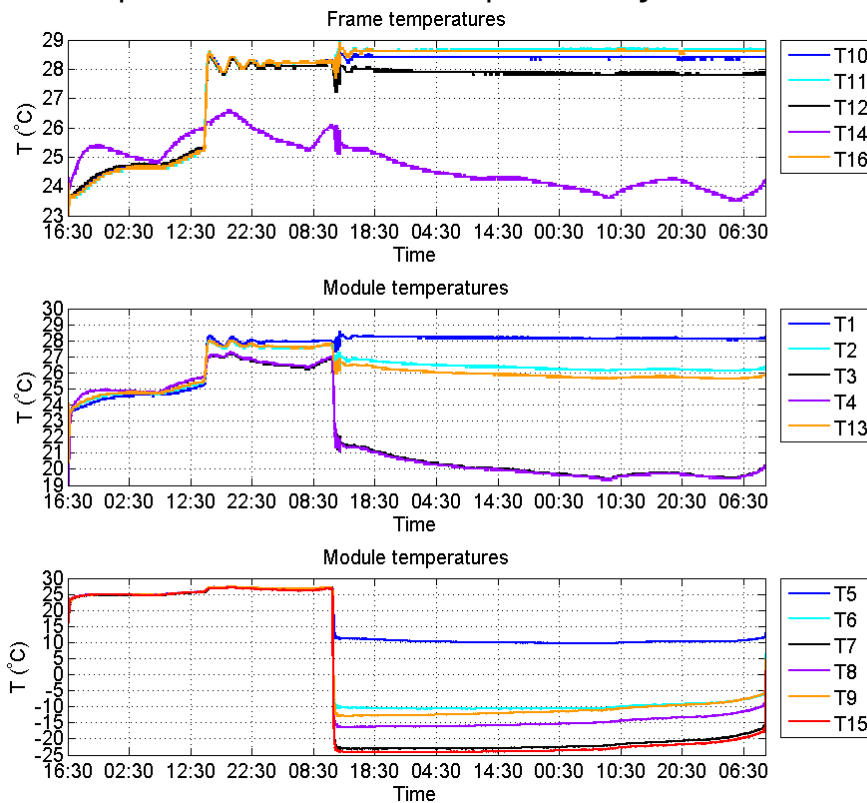
**Figuur 35: Temperatuur verloop voor de heater regeling**

In de temperatuur grafieken is te zien dat wanneer de temperatuur van de omgeving toeneemt, de temperatuur van het frame af neemt. Het blijkt achteraf dat er geen thermokoppel doorvoer naar het vacuüm is gebruikt, waardoor de temperatuur van de doorvoer invloed heeft op de gemeten temperatuur door de heater regeling.

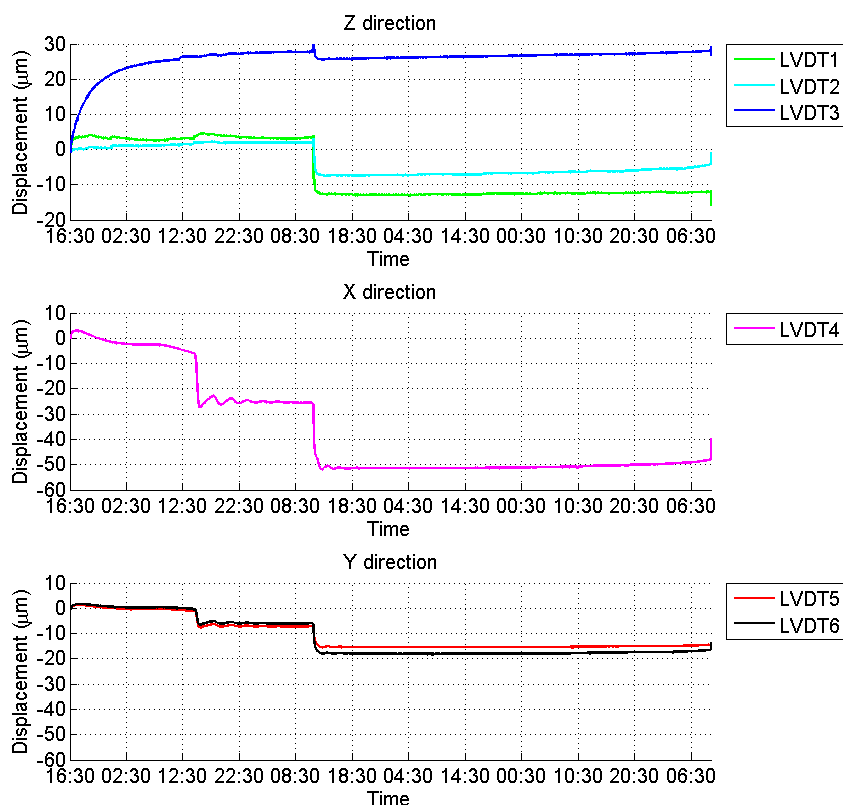
Om dit probleem te verhelpen is de thermokoppel vervangen door een PT100. Omdat de weerstand van thermokoppeldraad behoorlijk hoog is, geeft de heater regeling een temperatuur van ongeveer 52°C aan op kamertemperatuur.

## 22 Verplaatsing meting in stabiele omgeving

Op 11 februari om 16:34 is de meting gestart door het systeem te evacueren. De volgende dag, 12 februari, is om 14:29 de heater regeling aangezet. Op 13 februari om 11:30 is de CO2 koeling aangezet door de kleppen van de koeler naar de VELO module open te zetten. De koeltemperatuur bij de module is ongeveer -24 °C.



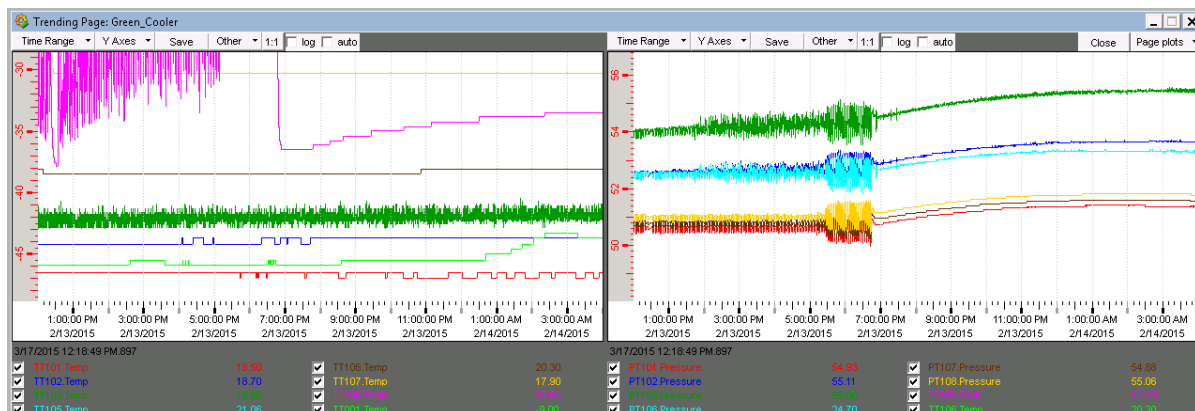
Figuur 36: Temperatuur verloop voor het opstarten van het meetsysteem en een stabiele meting



Figuur 37: LVDT signal voor het opstarten van het meetsysteem en een stabiele meting



De temperatuur toename op 13 februari is een gevolg van het opwarmen van de accumulator van de koelmachine. De heater van de accumulator is te warm geworden als gevolg van te weinig koelcapaciteit van het CO<sub>2</sub>, waardoor de beveiliging heeft ingegrepen en de accumulator regeling van de koelmachine heeft uitgezet.

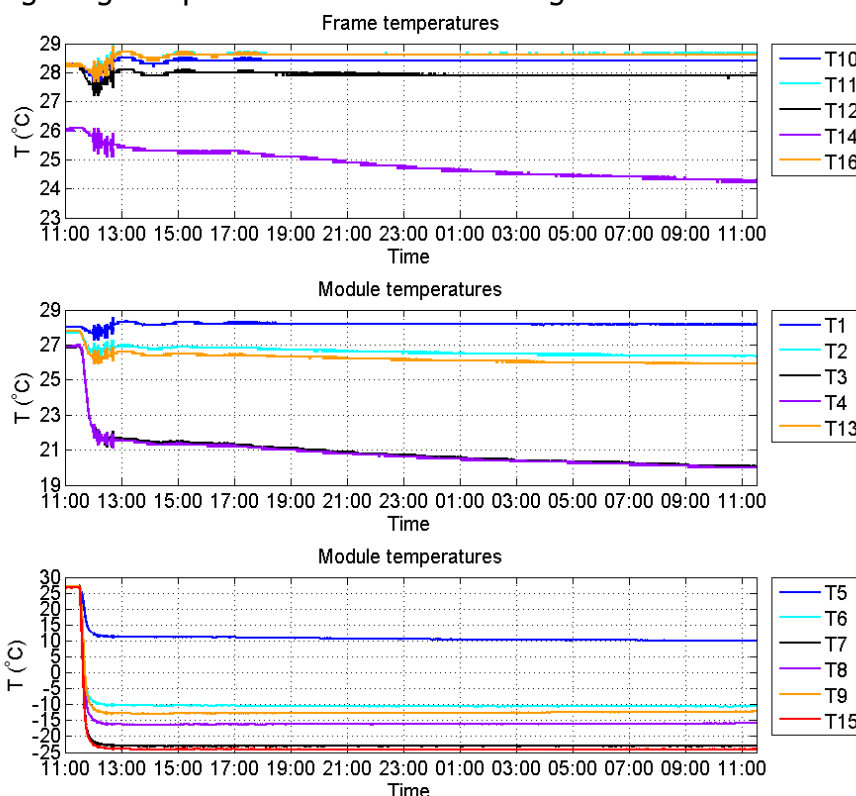


Figuur 38: Temperatuur en druk voor de CO<sub>2</sub> koelmachine

Het uitvallen van de accumulator zorgt voor een lage flow in de primaire koeling en heeft als gevolg dat de temperatuur in de warmtewisselaar omhoog gaat. Hierdoor neemt de temperatuur van de CO<sub>2</sub> vloeistof toe en warmt de module op.

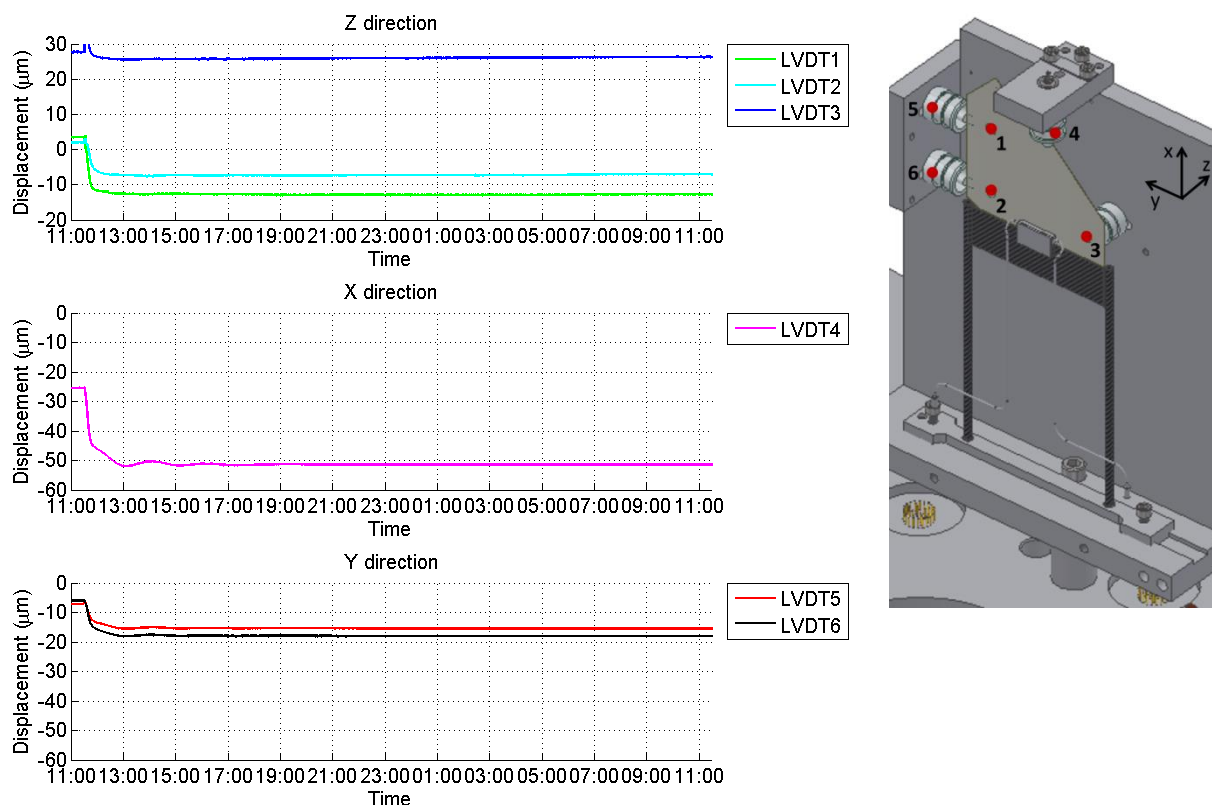
Bij het vullen van de koeler blijkt dat de instellingen van de restricties in de koelmachine onjuist waren wat het de lage flow in primaire koeling verklaard.

De onderstaande figuren geven een ingezoomd beeld van de afkoeling van de VELO module. De temperatuur van het frame stabiel is op 0.7 °C, alleen omgevingstemperatuur T14 ervaart een grotere variatie.



Figuur 39: Temperatuur verloop voor afkoeling VELO module

Het LVDT signaal laat duidelijk zien dat de module beweegt zodra deze gekoeld wordt. Een beweging in de negatieve richting geeft een beweging weer van het frame af.



**Figuur 40: LVDT signaal voor afkoeling VELO module**

De verplaatsing voor de afkoeling van 28 °C naar -24 °C is per LVDT sensor in de volgende tabel weergegeven.

**Tabel 7: Verplaatsing voor afkoeling van 28 °C naar -24 °C**

Sensor	Verplaatsing (µm)
LVDT 1	-16.5
LVDT 2	-9.5
LVDT 3	-2.2
LVDT 4	-26.0
LVDT 5	-8.3
LVDT 6	-12.0

Deze resultaten worden verwerkt met de translatie matrix, hiermee wordt de verplaatsing van het proton-proton interactiepunt berekend.

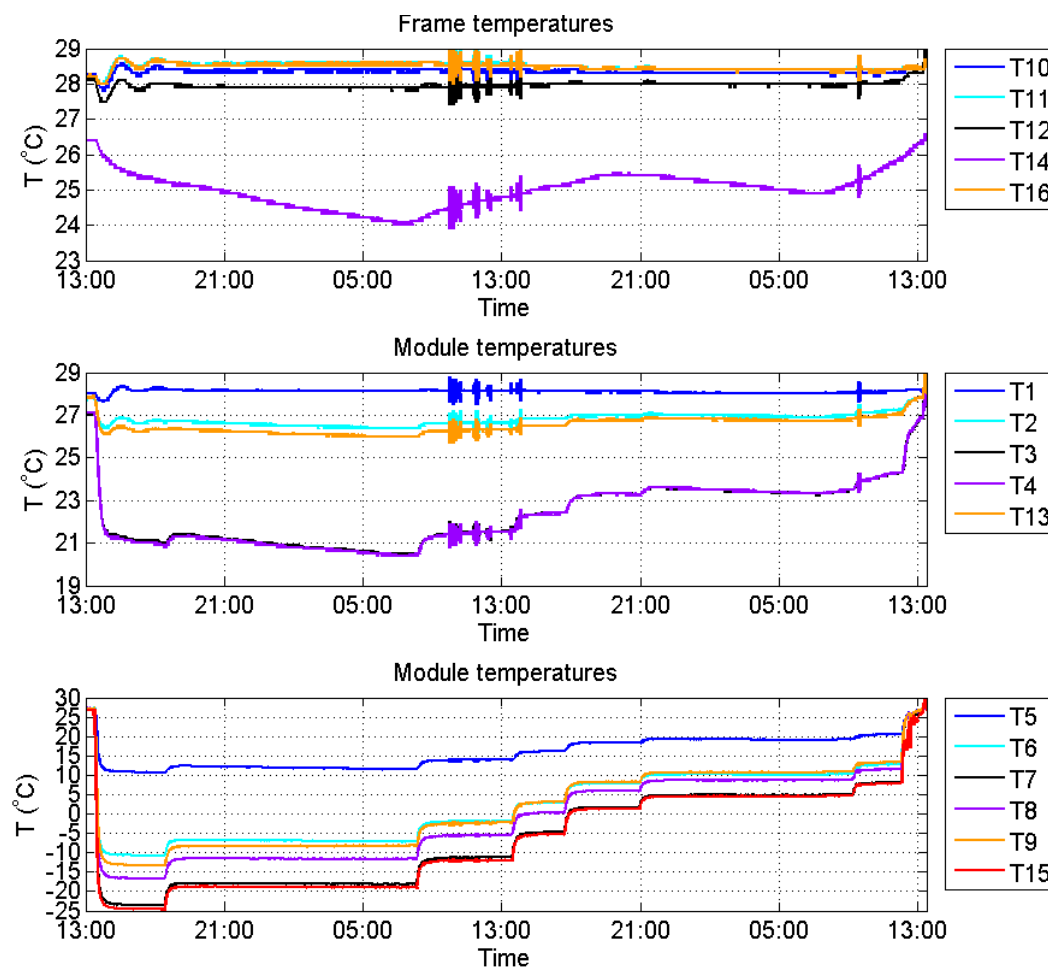
**Tabel 8: Verplaatsing proton-proton interactiepunt voor afkoeling van 28°C naar -24°C**

Verplaatsing X	-26.5 µm	Rotatie X-as	0.09 mrad
Verplaatsing Y	-7.2 µm	Rotatie Y-as	-0.13 mrad
Verplaatsing Z	-14.3 µm	Rotatie Z-as	0.07 mrad

## 23 Lineariteit bepalen van de verplaatsing als gevolg van temperatuur

De volgende meting is gestart wanneer de module zich al enkele dagen in vacuüm condities bevindt. Voordat de module wordt afgekoeld zijn de waarden van de LVDT sensoren op 0 gezet, de grafiek geeft dus de absolute verplaatsing als gevolg van het afkoelen weer.

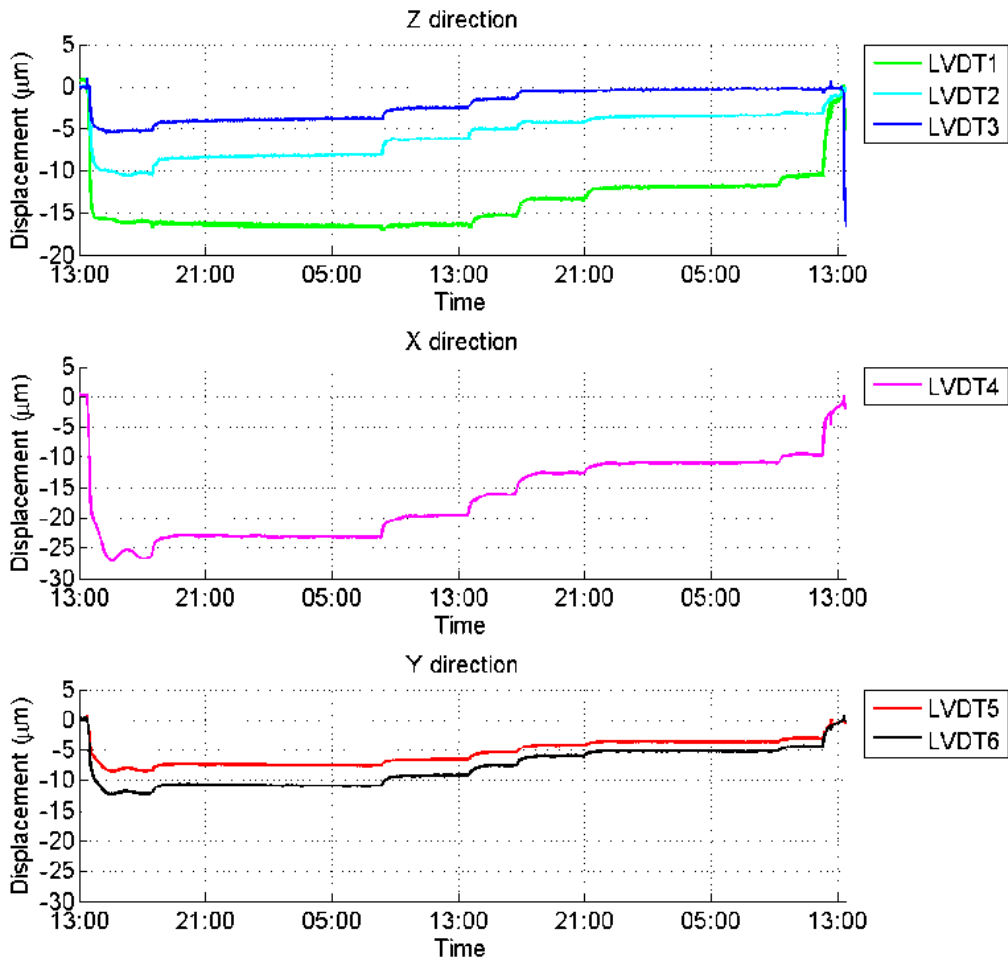
De vloeibare CO<sub>2</sub> is afgekoeld tot een temperatuur van -24°C en vervolgens is de CO<sub>2</sub> in de volgende stappen opgewarmd: -18, -12, -5, 1, 5 en 8 °C. Als laatste is de stroming door de module gestopt om te zien of de module weer in de originele stand terecht komt.



Figuur 41: Temperatuur verloop voor afkoeling en opwarming VELO module

De verplaatsing van per LVDT sensor komt sterk overeen met de voorgaande meting. De meetwaarde van LVDT 3 verschilt ongeveer een factor 2 met de voorgaande meting.

Na opwarming van de module blijken de LVDT signalen weer uit te komen op ongeveer dezelfde waarde als bij de start van de meting.



**Figuur 42: LVDT signaal voor afkoeling en opwarming VELO module**

De verplaatsing voor de afkoeling van 28 °C naar -24 °C is per LVDT sensor in de volgende tabel weergegeven.

**Tabel 9: Verplaatsing voor afkoeling van 28 °C naar -24 °C**

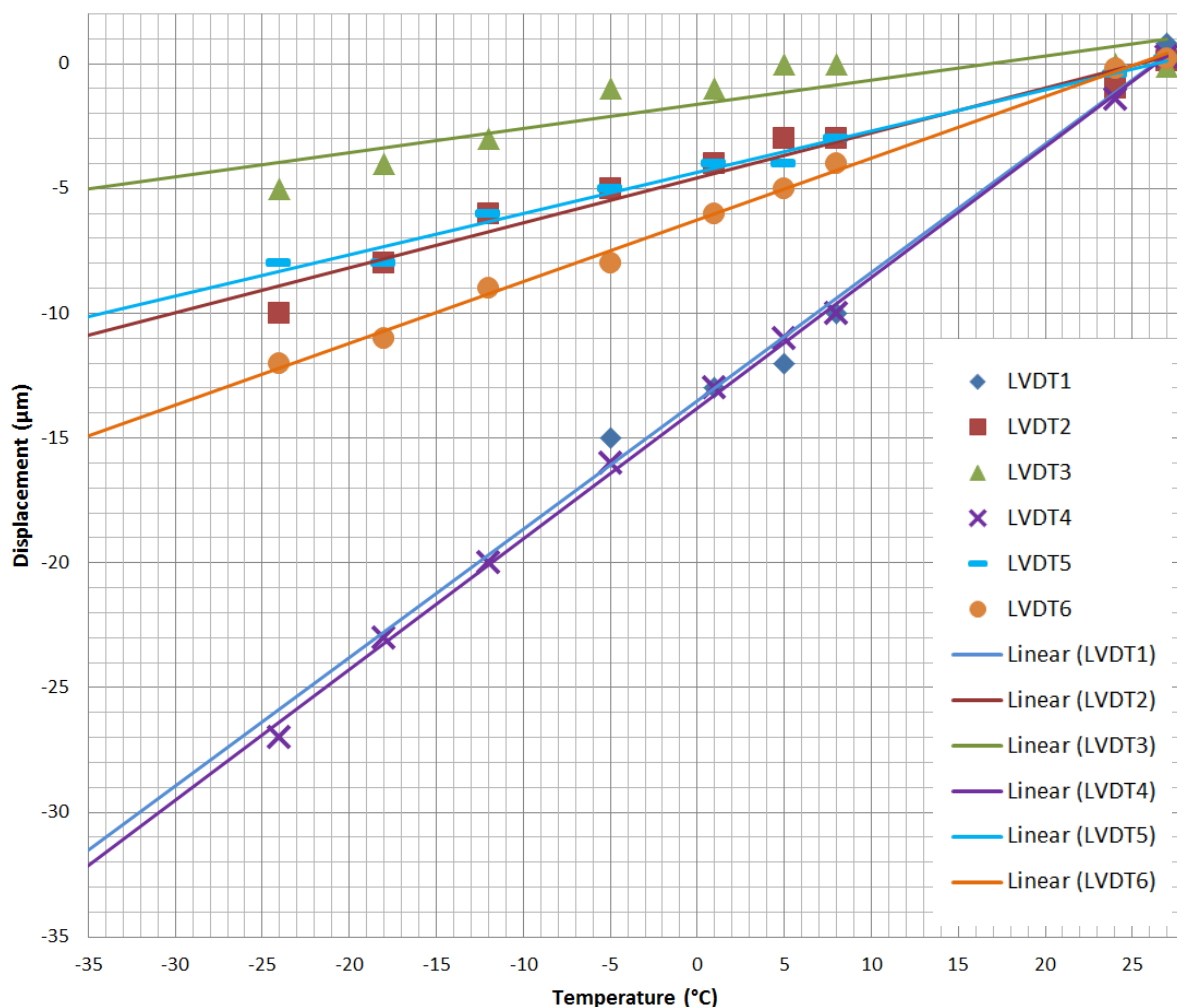
Sensor	Verplaatsing (μm)
LVDT 1	-16.1
LVDT 2	-10.5
LVDT 3	-5.5
LVDT 4	-27.0
LVDT 5	-8.4
LVDT 6	-12.2

Deze resultaten worden verwerkt met de translatie matrix, hiermee wordt de verplaatsing van het proton-proton interactiepunt berekend.

**Tabel 10: Verplaatsing proton-proton interactiepunt voor afkoeling van 28°C naar -24°C**

Verplaatsing X	-27.0 μm	Rotatie X-as	0.06 mrad
Verplaatsing Y	-7.3 μm	Rotatie Y-as	-0.11 mrad
Verplaatsing Z	-15.2 μm	Rotatie Z-as	0.08 mrad

De verplaatsing voor verschillende temperaturen is weergegeven in Figuur 43. Voor de meetpunten voor elke LVDT sensor is een regressielijn gemaakt, wat het mogelijk maakt om te extrapoleren tot een koeltemperatuur van -35 °C.



**Figuur 43: Verplaatsing versus temperatuur voor de VELO module**

De geëxtrapoleerde verplaatsingen bij een temperatuur -35 °C zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 11: Extrapolatie verplaatsing voor afkoeling naar -35 °C**

Sensor	Verplaatsing (µm)
LVDT 1	-33
LVDT 2	-11
LVDT 3	-5
LVDT 4	-33
LVDT 5	-10
LVDT 6	-15

De verplaatsing van het proton-proton interactiepunt is ook voor de geëxtrapoleerde waarden uitgerekend en geeft de volgende resultaten.

**Tabel 12: Verplaatsing proton-proton interactiepunt voor afkoeling van 28°C naar -24°C**

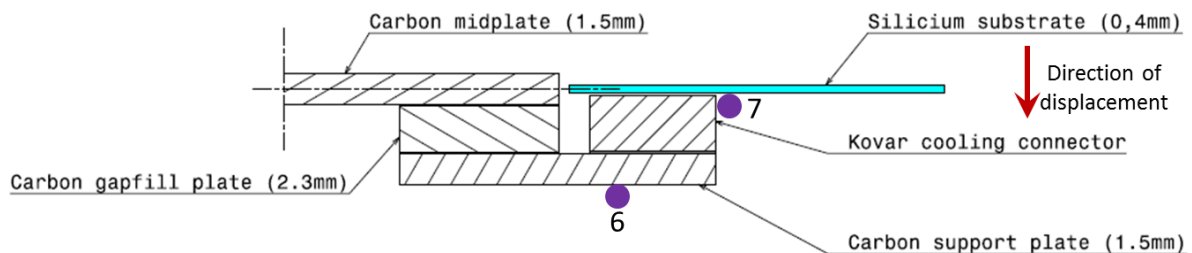
Verplaatsing X	-33 μm	Rotatie X-as	0.08 mrad
Verplaatsing Y	-9 μm	Rotatie Y-as	-0.44 mrad
Verplaatsing Z	-36 μm	Rotatie Z-as	0.10 mrad

De grootste rotatie is om de y-as, het rotatiepunt om deze as kan berekend worden door de verplaatsing in de z-richting te delen door de grootte van de hoekverdraaiing om de y-as.

$$\frac{\Delta z}{\Delta \psi} = \frac{-36 \cdot 10^{-6}}{-0.44 \cdot 10^{-3}} = 82 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 82 \text{ mm}$$

Het rotatiepunt ligt op ongeveer 82 mm onder het interactiepunt P dat komt overeen met de locatie van het koelblokje (≈80 mm) en dus het fixatiepunt van het silicium aan de horde.

Er is een groot temperatuurgradiënt, van ongeveer 10 °C, tussen sensor 6 op het carbon support plate en sensor 7 op de overgang tussen het koelblokje en het silicium.

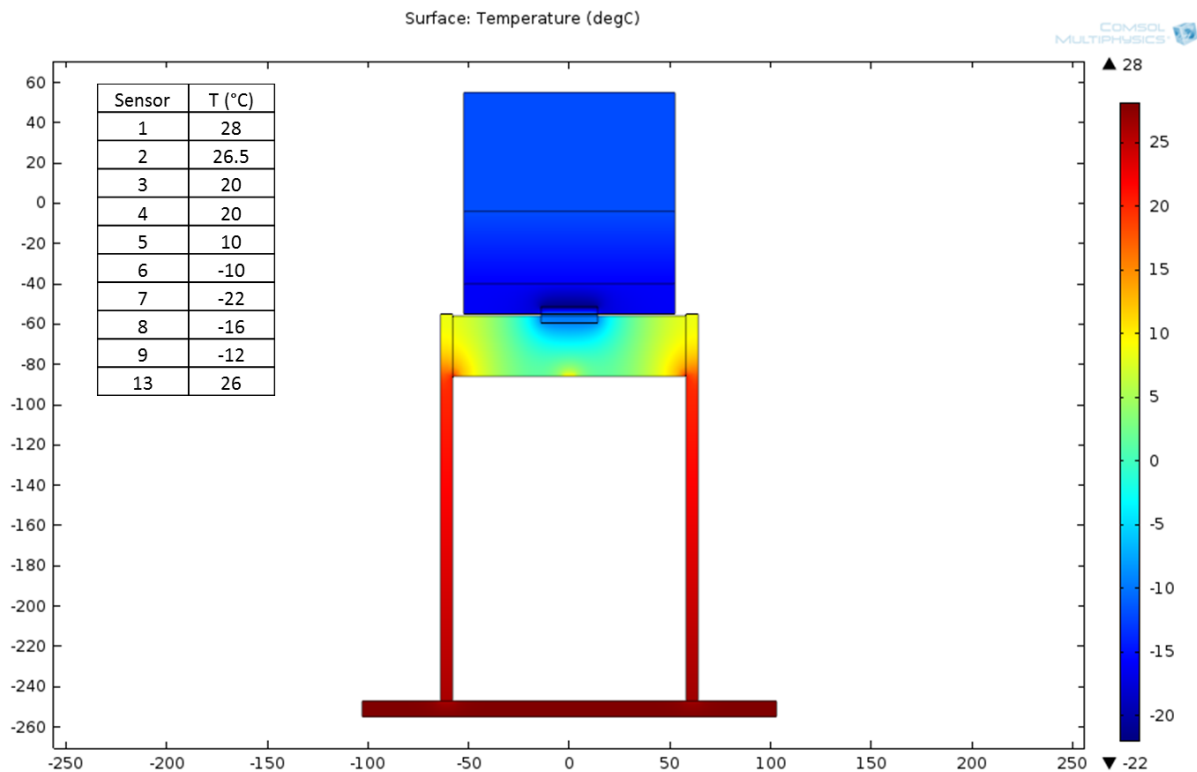


**Figuur 44: Doorsnede van het montage punt van het silicium op de carbon midplate van de horde**

Uit de metingen blijkt dat het silicium, volgens Figuur 44, naar beneden beweegt.

## 24 Temperatuur profiel module

Aan de hand van een van de stabiele metingen met een CO2 temperatuur van -24 °C is een temperatuur profiel van de module gemaakt in COMSOL.



**Figuur 45: Temperatuur profiel VELO module**

De materiaal gegevens die gebruikt zijn voor het profiel zijn hieronder weergegeven:

<b>Materiaal</b>	<b>k (W/(m·K))</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (J/(kg·K))</b>
Silicium	148	2330	710
Carbon/glass fibre vinyl ester	2	1800	1
Invar	13	8000	515
Aluminium	238	2700	900
Kovar	17	8000	460

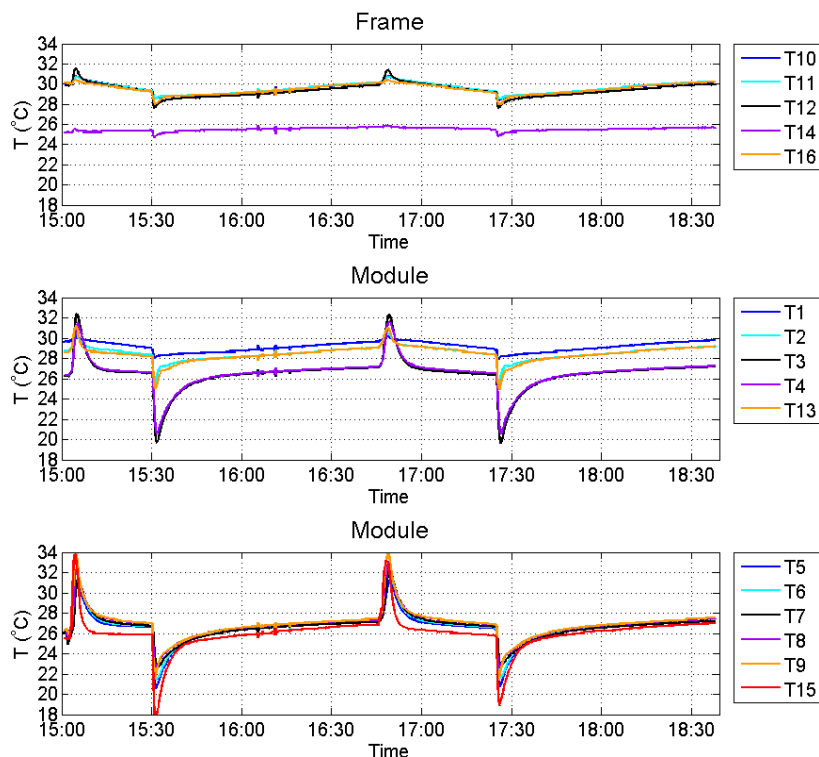
Hier is k de thermische geleidbaarheid,  $\rho$  de dichtheid en C<sub>p</sub> de warmte capaciteit bij constante druk van het materiaal.

De warmte capaciteit voor carbon/glass fibre vinyl ester is 1 gekozen omdat dit geven onbekend is. Een waarde van 1000 geeft geen significant verschil voor de temperatuur verdeling.

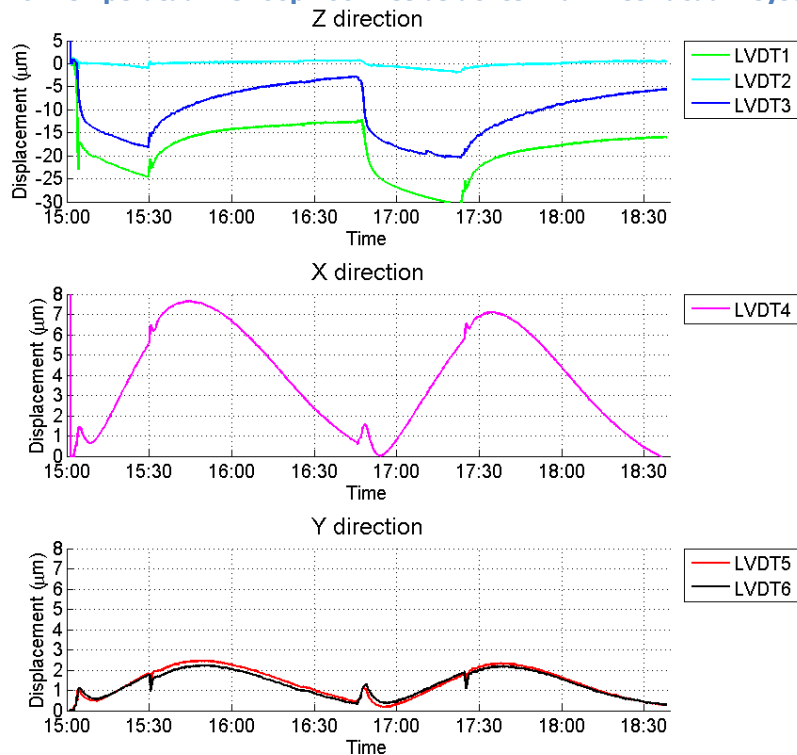
Een temperatuur profiel van de module met een koelblokje van Kovar geeft geen significant verschil, doordat de thermische eigenschappen van de materialen weinig verschillen.

## 25 Evacuatie en beluchten systeem

Om vocht als oorzaak van de uitslag van de LVDT sensoren uit te sluiten is er een meting gedaan waarbij het systeem eerst met lucht is belucht (15:02) en vervolgens weer is geëvacueerd (15:30). Daarna is het systeem belucht met stikstof (16:45) en weer geëvacueerd (17:25).



**Figuur 46: Temperatuur verloop voor het beluchten van het vacuüm systeem met lucht en stikstof**

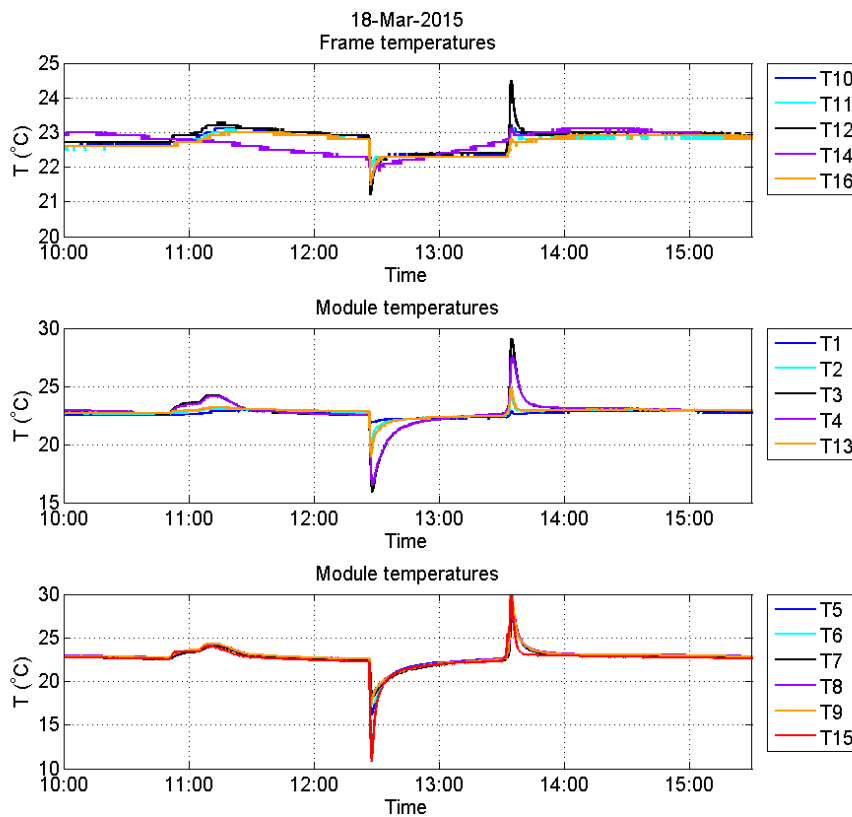


**Figuur 47: LVDT signaal voor het beluchten van het vacuüm systeem met lucht en stikstof**

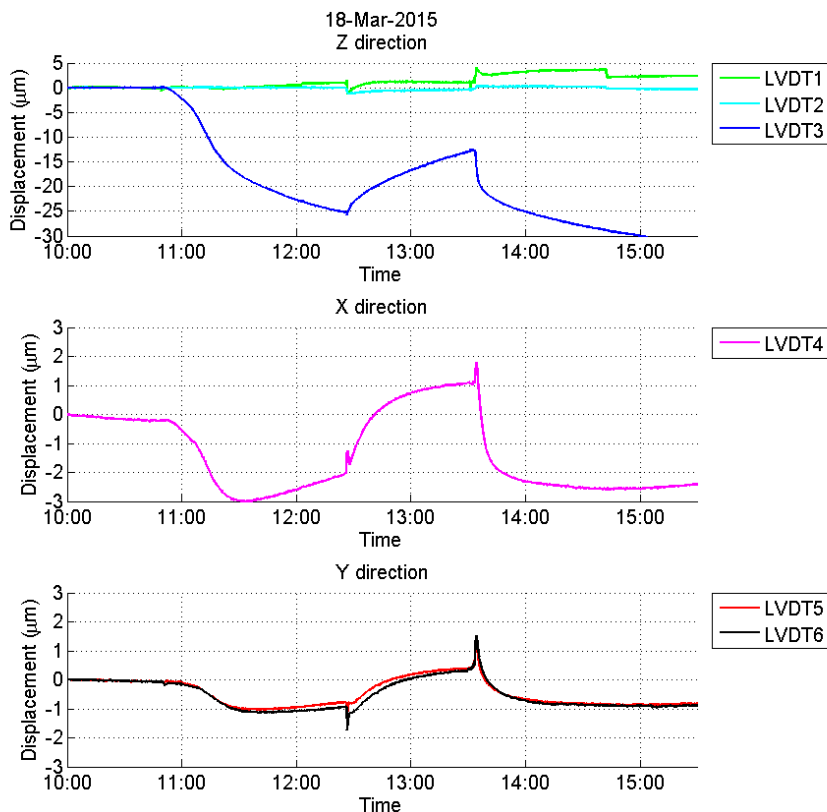
Er is geen significant verschil te zien in de meetresultaten tussen het beluchten met lucht en met stikstof.



De volgende resultaten zijn van een meting waarbij het vacuümsysteem eerst langzaam is belucht (10:50). Om een vergelijking te kunnen maken is het systeem daarna ook snel belucht (13:30).



**Figuur 48: Temperatuur verloop voor langzame en snelle beluchting van het vacuüm systeem**



**Figuur 49: LVDT signaal voor langzame en snelle beluchting van het vacuüm systeem**

De uitslag van LVDT 5 en 6 voor de langzame en snelle beluchting is ongeveer gelijk, er is wel een sterke invloed van temperatuur terug te zien bij de snelle beluchting.

De uitslag van LVDT 1 en 2 is zeer klein voor de langzame beluchting, voor de snelle beluchting is er respectievelijk voor LVDT 1 en LVDT 2 een verplaatsing van 4  $\mu\text{m}$  en 1  $\mu\text{m}$  gemeten. Het signaal van LVDT 3 wordt gedurende deze meting niet stabiel.

LVDT sensor 4 geeft een verplaatsing van ongeveer 3  $\mu\text{m}$  voor de langzame en snelle beluchting.

## 26 Conclusie en vooruitblik

De herhaalbaarheid van de verplaatsing metingen is goed, verschil tussen de eerste meting en herhalingsmeting is ongeveer  $1\mu\text{m}$ . Een uitzondering is LVDT sensor 3, hier blijken de resultaten een factor 2 te verschillen, dit komt overeen met een ruime  $2\mu\text{m}$ .

De verplaatsing van het interactiepunt P bij een  $\text{CO}_2$  temperatuur van  $-24\text{ }^\circ\text{C}$  is:

Verplaatsing X	$-27.0\ \mu\text{m}$	Rotatie X-as	$0.06\ \text{mrad}$
Verplaatsing Y	$-7.3\ \mu\text{m}$	Rotatie Y-as	$-0.11\ \text{mrad}$
Verplaatsing Z	$-15.2\ \mu\text{m}$	Rotatie Z-as	$0.08\ \text{mrad}$

De gemeten verplaatsing versus de temperatuur is lineair, waardoor het extrapoleren van de meetresultaten een betrouwbaar beeld geeft van de verplaatsing bij lagere temperaturen dan gemeten.

De geëxtrapolerde verplaatsing van interactiepunt P bij een  $\text{CO}_2$  temperatuur van  $-35\text{ }^\circ\text{C}$  is:

Verplaatsing X	$-33\ \mu\text{m}$	Rotatie X-as	$0.08\ \text{mrad}$
Verplaatsing Y	$-9\ \mu\text{m}$	Rotatie Y-as	$-0.44\ \text{mrad}$
Verplaatsing Z	$-36\ \mu\text{m}$	Rotatie Z-as	$0.10\ \text{mrad}$

Het rotatiepunt ligt op ongeveer  $82\ \text{mm}$  onder het interactiepunt P dat komt overeen met de locatie van het koelblokje en dus het fixatiepunt van het silicium aan de horde.

### Vooruitblik

Er wordt een nieuwe VELO module gemaakt waarbij de het Kovar koelblokje gesoldeerd zal worden op het silicium. Op deze manier is er één lijmlaag minder en lijkt het prototype meer op het daadwerkelijke ontwerp. Voor deze module zullen ook verplaatsingsmetingen worden uitgevoerd.

## Structural Adhesives

### Araldite® AY 103-1 / HY 991

#### Low viscosity two component epoxy adhesive system

#### Key properties

- Low viscosity
- Heat resistant to ca 50°C
- Easy to apply over large areas
- Solvent free
- Bonds a wide variety of materials

#### Description

Araldite AY 103-1 / HY 991 is a multipurpose, two component, room temperature curing, transparent liquid adhesive of high strength. It is suitable for bonding wide variety of metals, ceramics, glass, rubbers, rigid plastics, and most other materials in common use. It is particularly easy to apply over large areas.

#### Product data

	AY 103-1	HY 991	Mixed adhesive
Colour (visual)	Pale yellow	Pale brown liquid	Pale yellow
Specific gravity	1.1 - 1.2	0.88 - 0.98	ca 1.0
Viscosity (Pas)	1.8 - 2.4	15 - 35	4 - 6
Pot Life (100 gm at 25°C)	-	-	90 minutes

#### Processing

##### Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependant on proper pretreatment of the surfaces to be bonded.

At the very least, joint surfaces should be cleaned with a good degreasing agent such as acetone, iso-propanol (for plastics) or other proprietary degreasing agents in order to remove all traces of oil, grease and dirt. Low grade alcohol, gasoline (petrol) or paint thinners should never be used.

The strongest and most durable joints are obtained by either mechanically abrading or chemically etching ("pickling") the degreased surfaces. Abrading should be followed by a second degreasing treatment

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
Araldite AY 103-1	100	100
Araldite HY 991	40	50

Resin and hardener should be blended until they form a homogeneous mix.

##### Application of adhesive

The resin/hardener mix is applied directly or with a spatula, to the pretreated and dry joint surfaces.

A layer of adhesive 0.05 to 0.10 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint.

The joint components should be assembled and clamped as soon as the adhesive has been applied. An even contact pressure throughout the joint area will ensure optimum cure.

### Mechanical processing

Specialist firms have developed metering, mixing and spreading equipment that enables the bulk processing of adhesive.

We will be pleased to advise customers on the choice of equipment for their particular needs.

### Equipment maintenance

All tools should be cleaned with hot water and soap before adhesives residues have had time to cure. The removal of cured residues is a difficult and time-consuming operation.

If solvents such as acetone are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

### Times to minimum shear strength

Temperature	°C	10	15	23	40	60	100
Cure time to reach	hours		16	12	2	-	-
LSS > 1N/mm <sup>2</sup>	minutes	-	-	-	-	40	10
Cure time to reach	hours		48	22	6	-	-
LSS > 10N/mm <sup>2</sup>	minutes	-	-	-	-	65	13

LSS = Lap shear strength.

## Typical cured properties

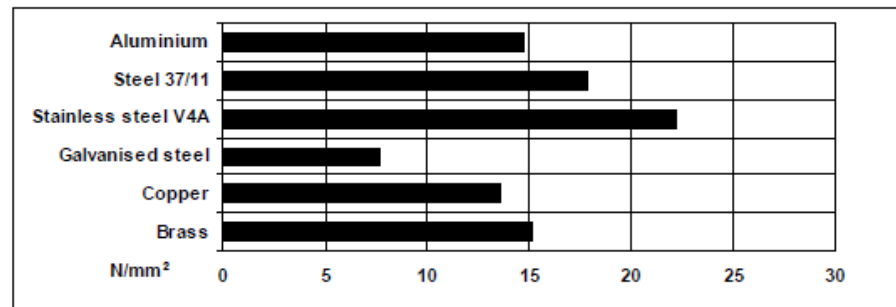
Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 170 x 25 x 1.5 mm strips of aluminium alloy. The joint area was 12.5 x 25 mm in each case.

The figures were determined with typical production batches using standard testing methods. They are provided solely as technical information and do not constitute a product specification.

### Average lap shear strengths of typical metal-to-metal joints (ISO 4587)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C

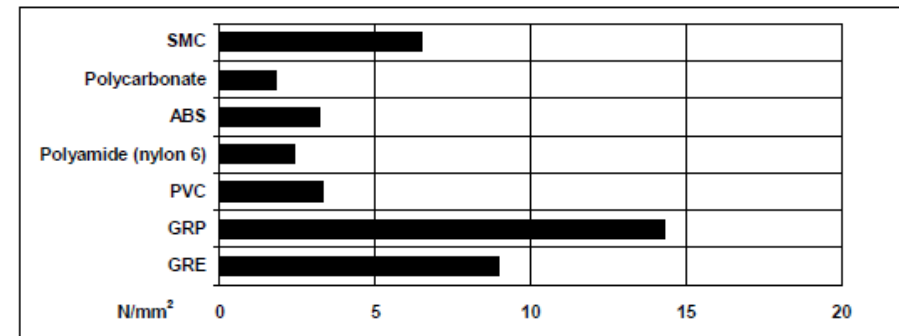
Pretreatment - Sand blasting



### Average lap shear strengths of typical plastic-to-plastic joints (ISO 4587)

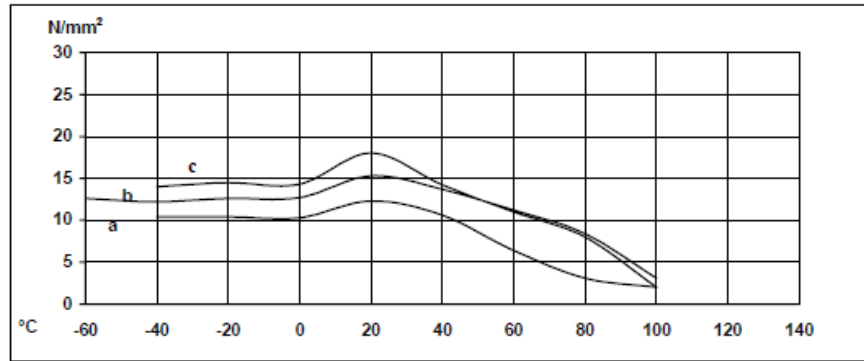
Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C

Pretreatment - Lightly abrade and alcohol degrease.



**Lap shear strength versus temperature (DIN 53283) (typical average values)**

Cure: (a) = 7 days /23°C; (b) = 16 hours at 40°C (c) = 24 hours at 23°C plus 30 mins at 80°C

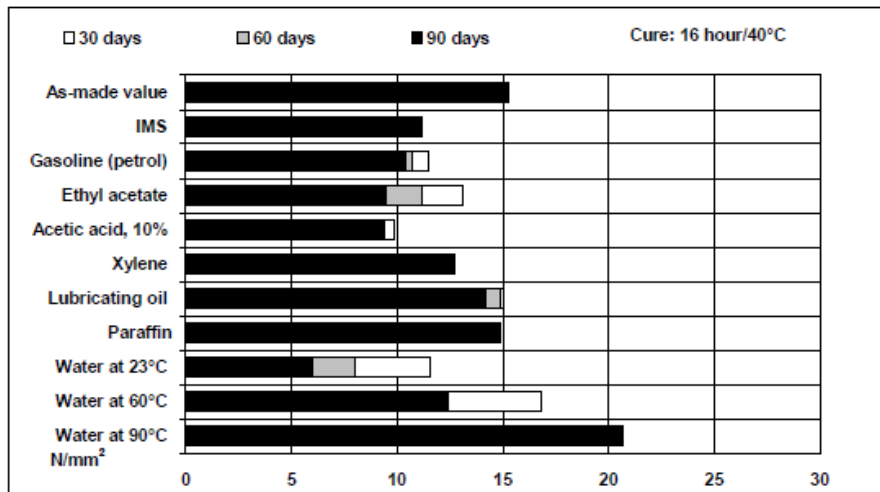


**Roller peel test (ISO 4578)**

Cured 16 hours/40°C	1 N/mm
Tensile strength (ISO 527)	38 MPa
E Modulus	1.7 GPa
Glass transition temperature (°C)	55°C (cured 7 days at 23°C)

**Lap shear strength versus immersion in various media (typical average values)**

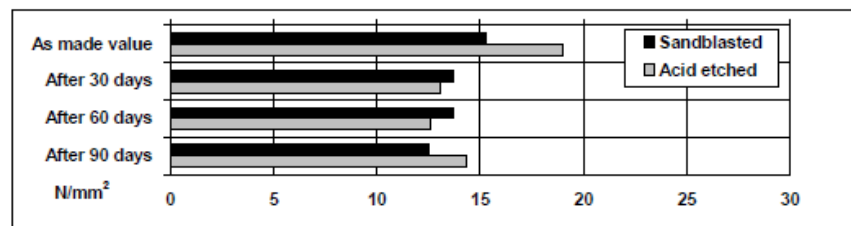
Unless otherwise stated, L.S.S. was determined after immersion for 90 days at 23°C



**Lap shear strength versus tropical weathering**

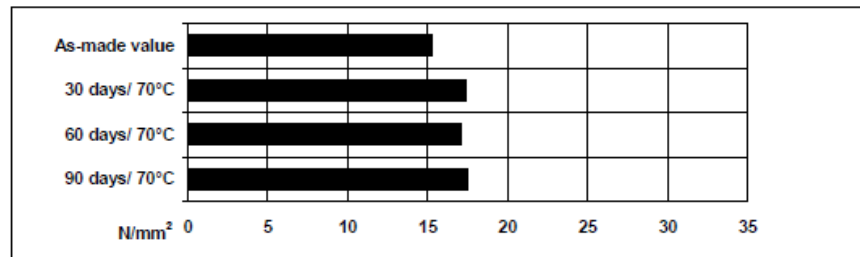
(40/92, DIN 50015; typical average values)

Cure: Sandblasted substrate - 16 hours/40°C, Acid etched substrate 7 days/23°C; Tested: at 23°C



### Lap shear strength versus heat ageing

Cure: 16 hours/40°C



#### Thermal cycling

100 cycles of 6 hour duration from -30°C to 70°C: 11.7 N/mm<sup>2</sup>

#### Shore D hardness

Cured 16 hours at 40°C D 80 at 23°C

#### Shear modulus (G')

30°C	G' 0.4 GPa	G'' 40MPa
50°C	G' 0.3 GPa	G'' 35MPa
70°C	G' 0.13 GPa	G'' 28MPa
90°C	G' 20 MPa	G'' 10MPa
110°C	G' 5 MPa	G'' 1.5MPa

### Storage

Araldite AY 103-1 and hardener HY 991 may be stored for up to 3 years at room temperature provided the components are stored in sealed containers. The expiry date is indicated on the label.

### Handling precautions

#### Caution

Our products are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should be taken to prevent the uncured materials from coming in contact with the skin, since people with particularly sensitive skin may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleansed at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. These precautions are described in greater detail in the Material Safety Data sheets for the individual products and should be referred to for fuller information.

### Huntsman Advanced Materials

All recommendations for the use of our products, whether given by us in writing, verbally, or to be implied from the results of tests carried out by us, are based on the current state of our knowledge. Notwithstanding any such recommendations the Buyer shall remain responsible for satisfying himself that the products as supplied by us are suitable for his intended process or purpose. Since we cannot control the application, use or processing of the products, we cannot accept responsibility therefor. The Buyer shall ensure that the intended use of the products will not infringe any third party's intellectual property rights. We warrant that our products are free from defects in accordance with and subject to our general conditions of supply.

Duxford, Cambridge  
England CB2 4QA

Tel: +44 (0) 1223 832121  
Fax: +44 (0) 1223 493322  
[www.araldite.com](http://www.araldite.com)

© Huntsman Advanced Materials (Switzerland) GmbH

© Araldite is a registered trademark of Huntsman LLC or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries.



# Datasheet

PRODUCT SPECIFICATION

CUSTOMER: NA CUSTOMER NO: NA  
PRODUCT CODE: 40009868  
DRAWING NO: D10042404c

Product: TUBE-9.9/8-CGF-VE-VUL-BLACK9011-RCF-10

Manufacturing method: Pultrusion

Materials: Glass fiber  
Carbon fiber  
Vinylester resin

Reinforcement structure:  
VUL (73 ± 3 w-%)  
V = Glassfiber tissue  
U = Unidirectional carbon fiber  
L = Lacquer

Product weight: ca. 40 g/m

E-modulus: > 90 GPa

Bending strength  
3P/300mm: > 160 N

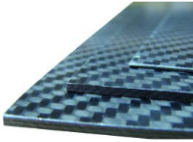
MADE BY Asta Luukkonen DATE 11.4.2013  
Asta Luukkonen  
Product Manager  
Rob Walet





### Carbon fibre sheets ECOTECH™

Heat deflection temperature: 140 °C



Carbon fibre sheets ECOTECH™ are made out of HT carbon fibre prepregs with a transparent epoxy resin matrix in press moulding. The edges of the plates are "rough sawn".

The surface layers consist of 3k-fabric style 452 in twill weave 2/2 (fabric prepreg CE 8201-200-45). Depending on sheet thickness the core layer consists of 3k-fabric and/or UD-non-crimp fabric 0°/90° (bidirectional).

Carbon fibre sheets ECOTECH™ can be milled, sawn or cut by water-jet. Please make sure to predrill the CFRP plates of the beam at the injection sites.

**Available sizes:**

120 x 80 mm, 350 x 150 mm, 550 x 350 mm, 700 x 550 mm, 850 x 850 mm and 1100 x 700 mm, also in several thicknesses available

The sheets are cut to size (+/- 1 mm).

ECOTECH™ is a trademark of R&G

### Eigenschappen:

- HT carbonvezel
- 3K-weefsel 4/4 twill geweven met 7 banen per cm
- Binnenzijde vezelrichting 0°/90° (bidirectioneel)
- HT = high tenacity = hoge breuksterkte
- Dikte 0.2 tot 1 mm.

Bron: <http://www.carbonwinkel.nl/nl/carbon-plaat/55444737-carbonvezel-plaat-carbon-carbonplaat-koolstof.html>

## Bijlage 4: Informatie voor stralingslengte berekeningen

### 2x Carbon pipe with support (AA8147).

Density 2,5g/cm<sup>3</sup>. For material details see Datasheet of [exel](#) composites. These carbon fiber pipes have outer diameter of 6mm and an inner diameter of 4mm. They both have a total length of 192mm.

Blue Coordinates to interaction point (centerline of the rod) X = 80mm, Y = 59mm, Z = 0 mm

Red Coordinates to interaction point (centerline of the rod) X = 272mm, Y = 59mm, Z = 0 mm



### 1x Carbon midplate (AA8148).

Density 1,7g/cm<sup>3</sup>. Material carbon fiber sheet: ECOTECH(TM) by R&G. Width in X = 112mm, height in Y = 30mm, thickness in Z = 1,5mm.

Blue Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 81,5mm, Y = - 56mm, Z = 0 mm

Red Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 111,5mm, Y = 56mm, Z = 0 mm



### 1x Support plate 3 (AA8153).

Density 1,7g/cm<sup>3</sup>. Material carbon fiber sheet: ECOTECH(TM) by R&G. Width in x = 112mm, height in Y = 30mm, thickness in Z = 2,3mm.

Blue Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 81,5mm, Y = - 14mm, Z = 2 mm

Red Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 89,5mm, Y = 14mm, Z = 2 mm

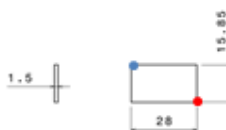


### 1x Support plate 1 (AA8149).

Density 1,7g/cm<sup>3</sup>. Material carbon fiber sheet: ECOTECH(TM) by R&G. Width in x = 112mm, height in Y = 30mm, thickness in Z = 1,5mm.

Blue Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 73,65mm, Y = - 14mm, Z = 2,8 mm

Red Coordinates to interaction point (center of the plate) X = 89,5mm, Y = 14mm, Z = 2,8 mm



The carbon fiber sheets that are used to make the parts are bought at R&G [Faserverbundwerkstoffe GmbH](#), Composite Technology.

The Carbon fibre sheets ECOTECH(TM) are made out of HT carbon fibre prepregs with a transparent epoxy resin matrix in press moulding. The edges of the plates are "rough sawn".

The surface layers consist of 3k-fabric style 452 in twill weave 2/2 (fabric prepreg CE 8201-200-45). Depending on sheet thickness the core layer consists of 3k-fabric and/or UD-non-crimp fabric 0°/90° (bidirectional).



The carbon fiber pipes are bought at [exel composites](#), see the next datasheet

