

2014•2015  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: energie*

## Masterproef

Detectie van insluitsels in staal met behulp van ultrasone C-scans

Promotor :  
ing. Geert LEEN

Promotor :  
ir. JAN SCHAMP  
ir. DAVID CHIARADIA

Lars Antonissen , Riccardo Delvax

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015  
Faculteit Industriële  
ingenieurswetenschappen  
*master in de industriële wetenschappen: energie*

## Masterproef

Detectie van insluitels in staal met behulp van  
ultrasone C-scans

Promotor :  
ing. Geert LEEN

Promotor :  
ir. JAN SCHAMP  
ir. DAVID CHIARADIA

Lars Antonissen , Riccardo Delvax

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: energie*

## Woord vooraf

Het laatste onderdeel in de opleiding tot industrieel ingenieur is het uitwerken van een masterproef. Dit om aan te tonen dat de student in staat is om al zijn verworven kennis of inzichten om te zetten naar wat hij nodig heeft in zijn latere carrière.

De titel van deze masterproef luidt als volgt: ‘Detectie van insluitels in staal met behulp van ultrasone C-scans.’ en is een project dat uitgevoerd werd bij ZF Wind Power te Lommel. De proef omvat zowel programmatie werk als metallurgisch onderzoek. Dit laatste was een stap buiten onze comfort zone maar schrikte ons niet af om gemotiveerd aan dit project te beginnen.

Als eerste gaat onze dank uit naar de twee promotoren binnen ZF namelijk, ir. Jan Schamp en ir. David Chiaradia. Hun steun en kennis binnen dit project heeft ons zeer veel geholpen. De promotor van UHasselt, Geert Leen, willen we ook bedanken voor het helpen opvolgen van dit project en om op de gepaste momenten de nodige input te voorzien om ons verder te helpen.

We bedanken ook al de medewerkers van ZF Wind Power waarmee we in contact zijn gekomen, aangezien ze altijd bereid waren ons te helpen en ons te accepteren als volwaardige werknemers.

Iedereen die ons heeft geholpen met het nalezen van deze scriptie willen we ook nog bedanken maar vooral docent Jeroen Lievens.

Tot slot bedanken we onze vrienden en familieleden die ons doorheen de volledige studie hebben gesteund.



## Inhoud

Lijst van tabellen .....	5
Lijst van figuren .....	7
Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen .....	9
Abstract .....	11
Abstract in English .....	13
Inleiding / onderzoeksopzet .....	15
1.1    Situering/bedrijfsvoorstelling .....	15
1.2    Probleemstelling .....	16
1.3    Doelstelling .....	16
1.4    Materiaal en methode .....	17
2    Literatuurstudie .....	19
2.1    Niet-destructieve testen (NDT) .....	19
2.2    Ultrasoon .....	19
2.3    Immersie ultrasoon onderzoek .....	20
2.3.1    Principe van een immersie ultrasone meting .....	21
2.3.2    Scanvormen [9] .....	22
2.4    Referentie-methodes .....	24
2.4.1    Flat Bottom Hole (FBH) .....	24
2.4.2    Side Drilled Hole (SDH) .....	25
2.5    MIDAS-methode [13] .....	26
2.5.1    Resultaat van een MIDAS-test .....	26
2.6    SEP 1927 .....	28
3    Configuratie .....	29
3.1    PLC .....	29
3.2    USIP-40 .....	30
3.3    LabVIEW .....	31
3.3.1    Signaal via USB-6009 .....	31
3.3.2    Software Development Kit (SDK) .....	32

4	Werkwijze .....	33
4.1.	Active X .....	33
4.1.1	Invloed van ActiveX op de systeemsnelheid .....	33
4.2.	H-Bot.....	35
4.3.	Kalibratie van de installatie.....	36
4.3.1	Kalibratie met een referentieblok .....	36
4.3.2	Manier van kalibratie .....	37
4.3.3	Invloed van de hoogte .....	38
4.3.4	Problemen tijdens de kalibratie .....	40
4.3.5	Distance Amplitude Correction (DAC).....	42
5	Testen .....	45
5.1	Werkstuk .....	45
5.2	Beschrijving van het testresultaat.....	46
5.3	Kerfslagproef.....	47
5.4	Analyse van de fout met een microscoop.....	48
	Conclusie.....	51
	Bibliografie .....	53
	Bijlagen .....	55

## **Lijst van tabellen**

Tabel 1: Geluidssnelheid van materialen .....	21
Tabel 2: H10M specificaties .....	38





## Lijst van figuren

Figuur 1: Logo ZF [1] .....	15	
Figuur 2: Voorbeeld van mapping .....	17	
Figuur 3: voorbeeld van C-scan in kleur .....	18	
Figuur 4: Onderverdeling van geluid .....	20	
Figuur 5: Voorstelling van geluidpatroon [7].....	20	
Figuur 6: Ultrasonie A-scan .....	21	
Figuur 7: Voorstelling van een B-scan [11] .....	23	
Figuur 8: Voorstelling van een C-scan [12] .....	23	
Figuur 9: Voorstelling FBH .....	24	
Figuur 10: Inclusie meting .....	24	
Figuur 11: Bovenaanzicht van het FBH.....	25	
Figuur 12: Bovenaanzicht van een SDH.....	25	
Figuur 13: Proces om tot een MIDAS werkstuk te komen [13].....	26	
Figuur 14: Voorbeeld van een MIDAS-rapport [13].....	27	
Figuur 15: Referentieblok voor SEP1927 kalibratie .....	28	
Figuur 16: Integratie van de verschillende systemen .....	29	
Figuur 17: PLC CX9000 serie [21] .....	30	
Figuur 18: USK-7.....	30	
Figuur 19: USIP-40 .....	30	
Figuur 20: Voorbeeld van een intensity graph .....	31	
Figuur 21: USB-6009 module [14] .....	32	
Figuur 23: Opbouw ActiveX.....	33	
Figuur 24: Aanpassing in Active-X gebruik .....	33	
Figuur 25: Opvragen van coördinaten.....	34	
Figuur 25: Bahr ELZU systeem [16].....	35	
Figuur 26: Aansturing van een H-bot [16] .....	35	
Figuur 27: Referentieblok .....	36	
Figuur 28: Opmeting referentieblok.....	37	
Figuur 29: A-scan met 10mm waterkolom	Figuur 30: A-scan met 20mm waterkolom .....	39
Figuur 31: A-scan met 30mm waterkolom	Figuur 32: A-scan met 40mm waterkolom .....	39
Figuur 33: A-scan met 50mm waterkolom.....		39
Figuur 34: Referentieblok met foutieve sensorstand.....		40
Figuur 35: Reservoir ontwerp .....		41
Figuur 36: Invloed van positionering .....		41
Figuur 37: I-gate triggering .....		42
Figuur 38: Voorbeeld van boringen voor DAC.....		42
Figuur 39: Voorbeeld DAC-Table .....		43
Figuur 40: Eerste scan op werkstuk .....		45
Figuur 41: Flowchart van verder onderzoek .....		45
Figuur 42: C-scan van werkstuk.....		46
Figuur 43: Werkstuk na bewerkingen .....		47
Figuur 44: Principe van een kerfslagproef [17].....		47
Figuur 45: Microscopiebeeld van een gevonden inclusie .....		48
Figuur 46: Resultaat na polijsting 1 .....		49
Figuur 47: Resultaat na polijsting 2 .....		49
Figuur 48: Resultaat na polijsting 3 .....		49



## **Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen**

DAC	Distance Amplitude Correction
FBH	Flat Bottom Hole
NDT	Niet-destructieve Testen
MIDAS	Mannesmann Inclusion Detection by Analysing Surfboards
SDH	Side Drilled Hole
ToF	Time of Flight
UT	Ultrasoon Testen



## **Abstract**

ZF Windpower Lommel produceert tandwielkasten voor windmolens. Om de kwaliteit van staal te verhogen wil het bedrijf meer onderzoek verrichten naar de insluitseldichtheid. Deze masterproef is een voortzetting van een vorig project, dat als doel had een immersie-ultrasoonscanner te ontwerpen, bouwen en in dienst nemen. Bij aanvang van deze masterproef moest de installatie verder operationeel worden gemaakt. De installatie kon enkel de aanwezigheid van staal detecteren. Deze aanpassingen waren noodzakelijk vooraleer aan de oorspronkelijke doelen, een kalibratie en metingen van werkstukken, kon worden gestart.

De software in LabVIEW en de Beckhoff PLC werd aangepast zodat de XY-sturing efficiënter en nauwkeuriger werd. Door een conversie van motorcoördinaten naar virtuele X- en Y-coördinaten in de PLC is het mogelijk om de positie nauwkeuriger te bepalen. Een extra voordeel van deze aanpassingen is dat de installatie sneller werkt. Het ultrasone meettoestel (USK-7) wordt vervangen door een moderne versie (USIP-40). Dit bezit software, zodat er gemakkelijk instellingen en verwerkingen op de verkregen signalen kunnen worden toegepast.

Nadat de installatie operationeel is, kan deze gekalibreerd worden met een referentieblok. Vervolgens kunnen er samples worden opgemeten en gevisualiseerd. De gevonden fouten worden bloot gelegd en onder een microscoop bekeken.

De installatie voldoet aan de doelstellingen en is in staat om insluitsels te detecteren met lengtes groter dan 0.5mm en een verslag af te leveren van al de nodige informatie.



## **Abstract in English**

ZF Wind Power Lommel produces gearboxes of wind turbines. The company wants to perform more research on the inclusion density so it can increase the quality of the steel. This particular master thesis is a continuation of a previous project. The main goal of the previous project was to develop, build and use an immersion ultrasonic scanner.

At the start of this project, the installation still had to be made operational. The installation was only able to detect the steel. It was necessary to make adjustments before it was possible to start the original goals of this thesis, which are a calibration of the installation and measurements of steel samples.

The software of LabVIEW and Beckhoff PLC are adapted which makes it possible to have a more efficient and accurate XY-positioning. The conversion of the motor coordinates to virtual X- and Y-coordinates in the PLC makes it possible to define the position more exact. An additional advantage of these adjustments is that the installation works faster.

A more modern version of an ultrasonic measuring device (USIP-40) replaces the older version (USK-7). This has software which makes it easier to apply settings and processing on the measured signals.

The installation can be calibrated with a reference after it is made operational. Then samples can be measured and visualised. The faults which are found will be exposed so that they are analysed with a microscope.

The installation can, according to the goals, detect inclusions which have a length larger than 0.5mm and it can also give a report with all the necessary information.





## Inleiding / onderzoeksopzet

### 1.1 Situering/bedrijfsvoorstelling

ZF Friederichshafen AG staat bekend als de grootste leverancier van transmissies in de automobielsector. Het bedrijf is ontstaan in 1915 voor het ontwikkelen en het produceren van transmissies voor vliegtuigen en schepen. ZF Wind Power is een dochterbedrijf van ZF Friederichshafen AG met wereldwijd vier vestigingen. Het hoofdkwartier is gelegen te Lommel. Dit bedrijf maakt tandwielkasten voor windmolens.



Figuur 1: Logo ZF [1]

Om de kwaliteit van de tandwielen te verbeteren, moet ZF de insluitseldichtheid van het staal verder onderzoeken. Op dit moment bestaat er geen gestandaardiseerd proces dat een volledige weerspiegeling kan geven van de verschillende soorten insluitsels. Deze insluitsels zijn een belangrijke factor in de staalkwaliteit en ontstaan bij het productieproces van het staal. Een voorbeeld hiervan zijn slakinsluitsels. De plaats, grootte en soort van de inclusie is bepalend voor mogelijke breuken in het tandwiel.

Ons project is een verderzetting van een project uit het academiejaar 2013-2014. De bedoeling van het vorige project was om een installatie te ontwerpen en gebruiksklaar af te leveren om deze insluitsels te detecteren op basis van een immersie ultrasone meting. Op deze manier zou ZF geen externe firma's meer moeten inschakelen om de testen uit te voeren. Deze testen hebben een zeer lange wachttijd, zijn zeer duur en zijn beperkt in hun informatie over het geteste werkstuk en de eventueel gevonden onzuiverheden in het materiaal.

De gevraagde installatie moest insluitsels detecteren van de grootteorde van 1mm in staal door gebruik te maken van hoog frequente ultrasone signalen.

Voor deze installatie was een frame samengesteld van aluminium snelbouw profielen met daarop een aangekocht systeem om een XY-sturing mogelijk te maken. De ultrasone metingen zouden gebeuren met een analoog meettoestel (USK-7).

Software, een LabVIEW- en PLC-programma (Beckhoff PLC), was voorzien om de motoren en dus het XY-systeem aan te sturen en een visuele voorstelling van het te testen werkstuk op te stellen.

Deze volledige samenstelling resulteerde in een installatie die de aanwezigheid van het materiaal kon detecteren en vervolgens visualiseren, maar het kon niet de eventuele fouten in het materiaal detecteren.

## 1.2 Probleemstelling

De installatie voldeed niet aan alle vereisten. Het was niet mogelijk om een fout te detecteren, maar er kon enkel een onderscheid gemaakt worden of er al dan niet materiaal aanwezig was.

Een tweede groot probleem was de tijdsduur van de volledige procedure. Om een werkstuk met maximale afmetingen te testen zou de procedure 45 werkuren in beslag nemen. Dit was geen aanvaardbare tijdsduur voor het bedrijf.

De visualisatie, die opgesteld moest worden, was niet bruikbaar omdat er geen gebruik werd gemaakt van het terugkoppelingssysteem dat geïntegreerd is in de motoren en de motorsturing. De oorzaak hiervan was de manier waarop het XY-systeem werd aangestuurd.

Een volgend probleem was dat er geen software voorzien was om na het scannen van het werkstuk een overzicht te geven van het aantal fouten en hun positie op het werkstuk.

Tot slot was er nog zeer veel storing aanwezig tijdens een test van de installatie. Deze storing kwam ten eerste doordat de aarding van het elektrisch gedeelte ontbrak, ten tweede doordat er trillingen ontstonden door het XY-systeem en ten derde doordat het frame niet waterpas stond.

## 1.3 Doelstelling

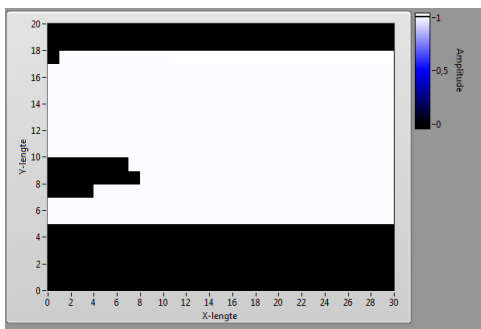
Bij aanvang van het project was het de bedoeling om onmiddellijk de installatie te kalibreren en te gebruiken om metingen te kunnen uitvoeren. Met de verkregen resultaten van de metingen zou er gezocht kunnen worden naar verbanden tussen de signalen en de werkelijke fouten in het materiaal.

Om het mogelijk te maken om deze verbanden te vinden, moest er eerst gezorgd worden dat de installatie in staat was om fouten te kunnen detecteren.

Één van de eisen van de installatie was om in een aanvaardbare tijdsspanne een vlak proefstuk te kunnen verwerken. Om dit te realiseren werd er vooropgesteld om de installatie te versnellen en de 45 uren die voorheen nodig waren om een werkstuk van 400 cm<sup>2</sup> te scannen, te reduceren tot maximaal 60 minuten.

Het toestel moet een nauwkeurige “mapping” kunnen opstellen van het werkstuk aan de hand van de Ultrasonic Testing (UT)-reflecties. Om deze “mapping” nauwkeurig te maken is een raster of grid van 0.5mm per stap nodig. Bij iedere stap wordt een evaluatie gemaakt van de signalen. De signalen afkomstig van het ultrasoon meettoestel zijn in de vorm van analoge spanningen. Deze analoge spanningen stellen de diepte van de eventuele fout tussen de boven- en onderkant van het werkstuk voor en intensiteit van die fout.

Doordat de motoren van het XY-systeem niet optimaal werden aangestuurd, kwam de aangegeven positie van een fout niet overeen met de werkelijke positie.



Figuur 2: Voorbeeld van mapping

Wanneer de installatie aan al de eisen voldoet, moeten er werkstukken worden gecontroleerd. Indien er fouten gedetecteerd worden, zal de fout opengelegd worden om verder te kunnen controleren wat voor soort fout er aanwezig is.

Het uiteindelijke doel van ZF is om met deze installatie en de verkregen resultaten een nieuwe interne standaard te ontwikkelen. Deze interne standaard kan in de toekomst eventueel een algemene norm worden voor de volledige staalindustrie.

Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de verschillende staalleveranciers hun staal beter kunnen kwalificeren.

## 1.4 Materiaal en methode

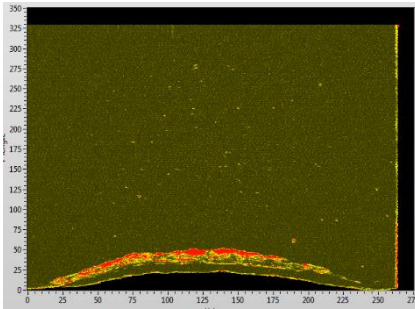
Om de visuele voorstelling van het werkstuk te maken moet een ultrasone sensor een meanderpatroon beschrijven over het werkstukoppervlak. Dit patroon was voorheen gewoon een stuk LabVIEW code, maar is opnieuw uitgewerkt en wordt nu door de PLC uitgevoerd.

Het aanwezige XY-systeem is een H-bot. Om zowel een hogere snelheid als effectief een X- en Y-positie te verkrijgen is er een conversie geprogrammeerd in de PLC. Deze conversie zet de twee motorcoördinaten om in een virtuele X- en Y-as. De uitwerking van de PLC-programmatie is volledig binnen de programmeeromgeving van TwinCAT gedaan.

De 10 MHz ultrasone sensor werd vervolgens verbonden met een USIP-40. Dit is een draagbaar ultrasoon meettoestel van de fabrikant GE en is een vervanging van het eerder gebruikte analoge meettoestel, de USK-7. Op dit meettoestel staat standaard verwerkingssoftware om de nodige parameters in te stellen en de signalen te verwerven. Door middel van de analoge uitgangen is het mogelijk om gegevens zoals de diepte en de intensiteit door te geven aan LabVIEW.

Vervolgens zorgt LabVIEW ervoor dat de “mapping” wordt opgesteld. Dit gebeurt op basis van de coördinaten afkomstig van de PLC-sturing en de gegevens verkregen van

het ultrasonische meettoestel. Deze “mapping” wordt voorgesteld in de vorm van een intensity graph. Dit is een visuele voorstelling waarbij de intensiteit of de diepte wordt weergegeven met behulp van verschillende kleuren in een vast kleurenspectrum. Hoe groter het signaal, hoe intenser de kleurverandering. Een voorbeeld is zichtbaar op



*Figuur 3: voorbeeld van C-scan in kleur*

De data (coördinaten en signalen) worden softwarematig verwerkt om een rapport op te stellen van het werkstuk. Dit rapport geeft de ligging van de fouten in het werkstuk weer en hoeveel fouten er in het totaal zijn vastgesteld.

Om de werking van het toestel te controleren en de installatie te kalibreren is er een referentieblok nodig. Deze blok is voorzien van acht boringen met een verschillende diameter. Indien deze blok correct wordt gevisualiseerd en gerapporteerd, kan er met zekerheid gezegd worden dat de installatie correct werkt.

Tot slot worden er werkstukken getest. Om aangetroffen fouten te kunnen identificeren zal de zone waar deze fout gelegen is worden verwijderd door de zone uit het materiaal te zagen.

Vervolgens zal de fout die bij de UT-indicatie hoort, zo goed mogelijk opgemeten worden. Omdat met conventionele metallografische monstervoorbereiding nooit zeker is of het insluitsel op zijn grootste doorsnede beoordeeld wordt, wordt de zwakste plek van het staal blootgelegd.

Eens het materiaal open is gemaakt met de kerfslagproef kan met een microscoop de fout worden geanalyseerd.

## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Niet-destructieve testen (NDT)

‘Niet-destructieve testen’ (NDT) is een term die zeer veel voorkomt in de wereld van het materiaalonderzoek. Het is een verzamelnaam die gebruikt wordt voor al de mogelijke technieken die toelaten om een voorwerp te analyseren zonder er permanente schade of veranderingen aan te berokkenen. De zes meest gebruikte principes zijn: visuele inspectie, vloeistof penetratie, magnetische partikel inspectie, ultrasoon, Eddy Current en X-ray.

NDT heeft vele toepassingen maar de meest gebruikte toepassingen zijn de volgende:

- fout detectie en – evaluatie,
- lekdetectie,
- plaatsbepaling,
- diktemeting,
- beoordeling van mechanische en fysische eigenschappen;
- spanning en dynamische respons metingen;
- materiaal bepaling en de chemische samenstelling.

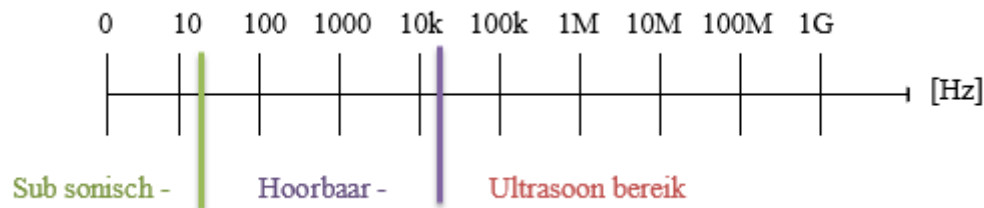
Door gebruik te maken van deze soort technieken blijft het voorwerp in zijn originele staat behouden. Hierdoor kan het nog verder worden onderzocht zonder dat het invloed heeft ondervonden van voorgaande testen. Wanneer het voorwerp onmiddellijk wordt onderzocht met destructieve testen, waarvan een trekproef een heel bekend voorbeeld, dan is er blijvende schade aan het voorwerp waardoor andere testen vaak onmogelijk zijn. [2, 3]

In dit project wordt enkel gebruik gemaakt van ultrasone signalen om insluitsels in het staal te detecteren en evalueren. Specifiek past men immersie ultrasoon onderzoek toe.

### 2.2 Ultrasoon

Een hoorbaar geluid ontstaat wanneer een trilling of bewegend object materiaal comprimeert of net decomprimeert naar een bepaalde druk. De frequentie of aantal veranderingen van deze drukschommelingen drukt men uit in Hertz (Hz). [4, 5, 6]

Zoals er is te zien op Figuur 4, wordt op basis van het menselijk gehoor het frequentiebereik van geluid verdeeld in drie delen en valt een hoorbaar geluid in de middelste categorie.



Figuur 4: Onderverdeling van geluid

Een persoon kan geluiden opvangen die een frequentie bevatten tussen de 20 en de 20000 Hz. Wanneer de trillingen of golven een lagere frequentie bevatten vallen deze in het sub sonische bereik.

De laatste categorie is die van het ultrasoon bereik. In dit bereik bevinden zich de geluidsgolven met een frequentie van meer dan 20000 Hz.

In ultrasoon onderzoek ligt het werkgebied in het ultrasoon bereik en de meest gebruikte frequenties bevinden zich tussen 1 en 25 Mhz. De keuze van de correcte sensor is voornamelijk afhankelijk van de gewenste resolutie, de gevoeligheid en de dikte van de te meten werkstukken.

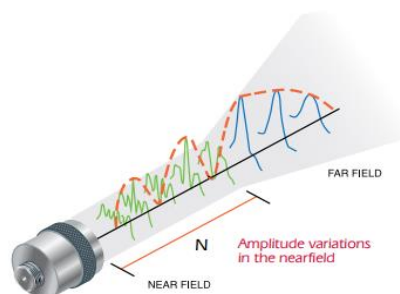
De term resolutie betekent hoe nauwkeurig de installatie materiaalfouten van elkaar kan onderscheiden indien de fouten zeer dicht bij elkaar liggen.

Gevoeligheid wordt gebruikt om aan te duiden hoe groot de detecteerbare fouten kunnen zijn.

Een stijgende frequentie levert zowel een hogere resolutie als gevoeligheid op maar door een beperkte doordringbaarheid van het signaal kan het kleinere dieptes bereiken en dus dünnere werkstukken meten.

### 2.3 Immersie ultrasoon onderzoek

Immersie ultrasoon onderzoek is een techniek op basis van ultrasone signalen ( 0.2 – 50 MHz). Hierdoor is het mogelijk om kwaliteit controle van materialen uit te voeren. Het geluidspatroon uitgezonden door een ultrasone sensor wordt opgedeeld in 2 zones. Dit is te zien op *Figuur 5: Voorstelling van geluidspatroon* Figuur 5.



Figuur 5: Voorstelling van geluidspatroon [7]

Het eerste gebied wordt het Near-field genoemd. Na het Near-field komt het Far-field. Vanwege constructieve- en destructieve interferentie in het Near-field wordt aangeraden om te werken in het Far-field en dus een minimum afstand te laten tussen de sensor en

het testobject. Deze afstand wordt opgevuld met een vloeistof (meestal water met eventuele additieven) om een koppeling te voorzien.

Het doel van deze koppeling is de hoeveelheid energie van het signaal beter over te dragen naar het werkstuk [3, 8, 9].

Er moet bij de keuze van het medium dat de koppeling voorziet rekening gehouden worden met het verschil in geluidssnelheid met het te onderzoeken materiaal.

Material	Velocity	Unit
Monel	5400	m/s
Neopren	1600	m/s
Nickel	5600	m/s
Nylon	2600	m/s
Oil (SAE-30)	1700	m/s
Perspex	2730	m/s
Platinum	3960	m/s
Polyethylen	1900	m/s
Polystyren	2400	m/s
Polyurethan	1900	m/s
Quartz	5800	m/s
Rubber	1800	m/s
Silver	3600	m/s
Steel	5920	m/s
Steel, stainless	5800	m/s
Teflon	1400	m/s
Tin	3320	m/s
Titanium	6100	m/s
Tungsten	5200	m/s
Uranium	3400	m/s
Water	1480	m/s
Wismuth	2180	m/s
Zinc	4170	m/s

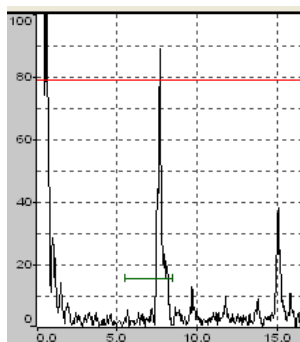
Tabel 1 geeft een overzicht van enkele geluidssnelheden. De keuze om als koppeling water te gebruiken zorgt ervoor dat er een snelheidsverschil is van een factor 4 tussen het water en het staal. Dit kan in het USIP-40 meettoestel worden ingegeven zodat er geen verdere invloed is op de metingen.

Tabel 1: Geluidssnelheid van materialen

### 2.3.1 Principe van een immersie ultrasone meting

Zoals al eerder aangehaald hierboven zal een transducer een ultrasoon signaal uitzenden. Dit signaal zal zich door het water voortplanten tot aan het te testen object. Bij het bereiken van het boven vlak van het testobject zal een gedeelte van het ultrasoon signaal reflecteren. Deze reflectie zal te zien zijn op het meettoestel en wordt de Front Wall genoemd. Het deel van het ultrasoon signaal dat niet reflecteert aan het oppervlak zal verder in het materiaal doordringen.

Tijdens de transmissie van het signaal doorheen het materiaal zijn er twee mogelijkheden, het signaal reflecteert voor een gedeelte op een fout of indien er geen fout aanwezig is reflecteert het signaal op het ondervlak van het werkstuk. Dit laatste is bij metingen ook duidelijk zichtbaar en noemt men de Back Wall.



Figuur 6: Ultrasone A-scan

Op bovenstaande afbeelding is een fout of onzuiverheid in het materiaal gedetecteerd (middelste puls). De diepte van de fout staat in verband met de positie van de piek op de afbeelding. Indien een object een dikte heeft van 10mm en er zich een fout op 5mm bevindt dan zal de piek zichtbaar zijn op het midden van de visualisatie van de meting. In dit geval ligt de fout op 8mm diepte en is het werkstuk 15mm dik.

De hoogte van de piek is afhankelijk van de intensiteit van het reflecterende signaal. Eens het ultrasoon signaal door de transducer is uitgezonden zal het langzaam aan energie verliezen doordat het signaal zich verspreidt. Bijkomend is er energie verlies doordat het testobject in staat is om energie te absorberen en om te zetten in andere vormen, alsook het reflecteren van het signaal in een ongewenste richting. De combinatie van deze 3 verliezen wordt ook wel attenuation genoemd. [10]

### **2.3.2 Scanvormen [9]**

Om een visuele voorstelling van het testobject op te stellen bestaan er drie standaard scan-vormen namelijk een A-scan, B-scan en een C-scan. Elk van deze voorstellingen heeft als doel het voorstellen van de ultrasone signalen in het werkstuk en de eventuele reflectie.

#### **2.3.2.1 A-Scan**

Een A-scan is de eenvoudigste voorstelling van de ultrasone signalen in het materiaal. Het geeft de hoeveelheid energie afkomstig van het ultrasoon signaal weer in functie van de tijd. Dit wordt ook wel Time of Flight (ToF) genoemd.

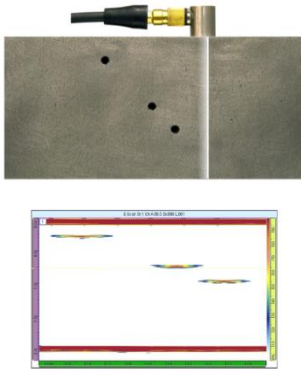
Een A-scan wordt verkregen door de ultrasone sensor boven het testobject te plaatsen en dit op de positie die specifiek moet worden onderzocht. Een A-scan wordt ook vaak een puntscan genoemd.

Een voorbeeld van een A-scan was te zien in Figuur 6.

#### **2.3.2.2 B-scan**

Als de installatie of de operator de sensor beweegt langs één richting van het werkstuk, is het mogelijk om een B-scan te vormen. Een B-scan of lijnscan is de verzameling van A-scans over de afgelegde lengte van het werkstuk. In dit geval is de voorstelling niet meer de hoeveelheid energie in functie van de tijd maar in functie van de afstand.





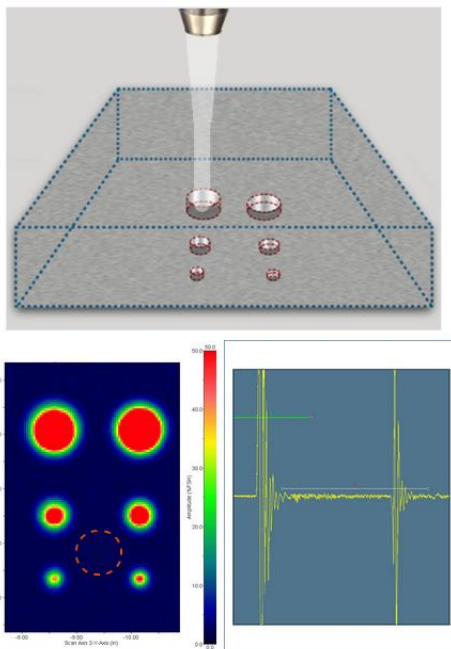
Figuur 7: Voorstelling van een B-scan [11]

### 2.3.2.3 C-Scan

Tot slot is er nog de C-scan als visualisatie. Deze is te verkrijgen door al de A-scans die mogelijk zijn over zowel de lengte als de breedte van het object samen te voegen. De installatie beweegt de sensor, met een meanderpatroon, over het volledige oppervlak van het testobject. Het uiteindelijke gevormde beeld is het testoppervlak met een kleurvoorstelling. Deze kleur geeft informatie over de diepte of intensiteit en de locatie van de eventueel aangetroffen fout.

Op

Figuur 8 is een voorstelling van een C-scan terug te vinden.



Links onderaan is de C-scan te zien. Boven de C-scan is een voorstelling van het werkstuk te vinden waarin zes detecteerbare elementen zitten.

Naast de C-scan staat opnieuw een A-scan die de ultrasonische reflecties weergeeft van het door de sensor gedetecteerde element.

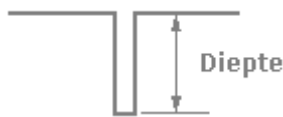
Figuur 8: Voorstelling van een C-scan [12]

## 2.4 Referentie-methodes

Om een geautomatiseerde ultrasone scanner te kalibreren of af te stellen worden er boringen voorzien in een werkstuk dat moet dienen als een referentie. Op basis van deze boringen en hun reflecties is te bepalen of de installatie de gewenste foutgrootte kan detecteren en of de positionering correct is.

### 2.4.1 Flat Bottom Hole (FBH)

Om een geautomatiseerde ultrasone scanner te kalibreren of af te stellen kan er in een referentieblok een flat bottom hole worden voorzien. Dit is een boring in het werkstuk met aan het einde een plat oppervlak. Het is dit oppervlak dat gebruikt wordt als referentie.

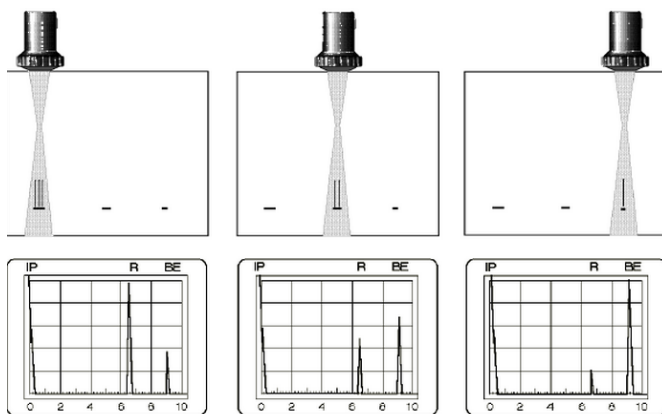


Figuur 9: Voorstelling FBH

#### 2.4.1.1 Reflectie van een Flat Bottom Hole

Op Figuur 10 is steeds een voorwerp afgebeeld met daarin steeds 3 “onzuiverheden”. Deze onzuiverheden liggen op een zelfde diepte in het voorwerp maar verschillen van lengte.

Onder het voorwerp staat steeds een a-scan afgebeeld die de meting van de fout weergeeft. Omdat de diepte overall gelijk is zal de positie van de reflectie steeds op de zelfde plaats worden afgebeeld in het raster.



Figuur 10: Inclusie meting

Indien deze onzuiverheden in het materiaal worden vervangen door 3 FBH's met steeds de zelfde diepte maar een andere diameter zal er een gelijkaardig afbeelding ontstaan.

Het verschil zal nu zijn dat het reflectieoppervlak nu vlak en cirkelvormig zal zijn zoals aangegeven in Figuur 11 en niet willekeurig zoals in de werkelijkheid bij een inclusie mogelijk is. Een grotere fout of boring resulteert in een hogere amplitude.

Figuur 11 toont aan dat een grotere diameter van een FBH de stralenbundel van de transducer beter zal opvullen. Dit beter opvullen van de stralenbundel zorgt ervoor dat het reflecterende signaal groter zal zijn en een hogere amplitude aanduiding zal opleveren.

De reflectie heeft een kwadratische verband met de diameter. Dat komt omdat het oppervlak een maat geeft van de amplitude van de reflectie ( $A = \pi \times R^2$ ).

Hoe dieper de inclusie of FBH in het werkstuk ligt hoe meer energieverlies er zal optreden. Om dit te compenseren bestaat er een distance amplitude correction. Dit zorgt ervoor dat een fout van 1mm FBH zowel op 5mm diepte als op 10mm diepte een zelfde reflectie oplevert.



Figuur 11: Bovenaanzicht van het FBH

## 2.4.2 Side Drilled Hole (SDH)

Net zoals een FBH is een Side Drilled Hole een boring die wordt gebruikt om naar te refereren. In tegenstelling tot een FBH wordt er nu specifiek gebruik gemaakt van de zijwand van de boring.

### 2.4.2.1 Reflectie van een Side Drilled Hole

De stralenbundel van de transducer zal bij een SDH ook worden opgevuld maar nu niet met een vlak, cirkelvormige oppervlak maar met de zijwand van de boring. Dit is zichtbaar op Figuur 12.

Deze zijdelingse oppervlakte kan vereenvoudigd worden voorgesteld door een rechthoek. Deze vereenvoudiging zorgt ervoor dat de reflectie bekeken kan worden met een lineair verband. Het lineaire verband is afkomstig van de formule voor de oppervlakte van een rechthoek, namelijk  $A = B \times H$ . Aangezien de reflectie een maat geeft van de amplitude zal ook hier weer een grotere oppervlakte in de stralenbundel resulteren in een hogere amplitude

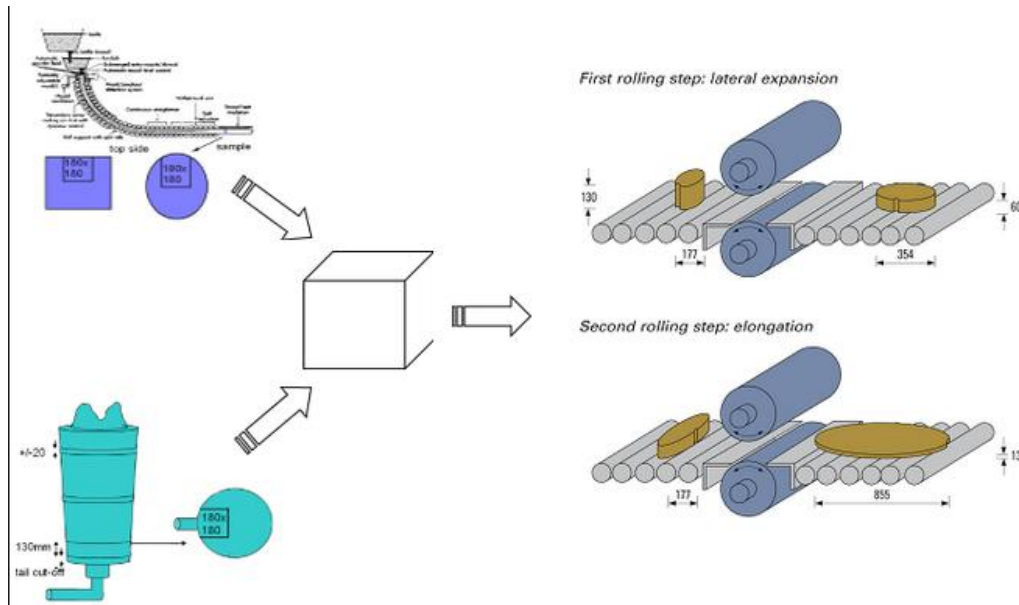


Figuur 12: Bovenaanzicht van een SDH

## 2.5 MIDAS-methode [13]

De vlakke platen die getest worden, zijn gefabriceerd volgens de MIDAS-methode. Deze methode is in 1987 ontwikkeld door Mannesmann en heeft als voornaamste doel om het staal voor te bereiden op een onderzoek naar macroscopische insluitsels of fouten.

Door het stuk staal plat te walsen in twee richtingen, wordt het eenvoudiger om de aanwezige insluitsels te detecteren. Een voorstelling om tot een MIDAS-sample te komen is op de onderstaande figuur terug te vinden.



Figuur 13: Proces om tot een MIDAS werkstuk te komen [13]

### 2.5.1 Resultaat van een MIDAS-test

Een ultrasoon onderzoek op een MIDAS-sample wordt in de meeste gevallen gedaan met een signaal van 10MHz.

Door de sensor een meanderpatroon over het werkstukoppervlak te laten beschrijven kan men een grid of raster creëren. Dit raster moet een maximale resolutie bezitten van 1mm. Na de meting is het de bedoeling dat er een verslag wordt opgesteld zoals hieronder is weergegeven. Hierop is de C-scan van het werkstuk vermeld. Alsook een opsomming van de hoeveelheid aangetroffen onzuiverheden.

Versuch Nr.:		Güte:	
Schmelze Nr.:	140	Signier Nr.:	
Schmelzdatum:	10.07.2014	Strangteil:	131T
Maßnahme:			
Strang - Dm.:		Auswalzung:	x
Dateiname:	140131T		

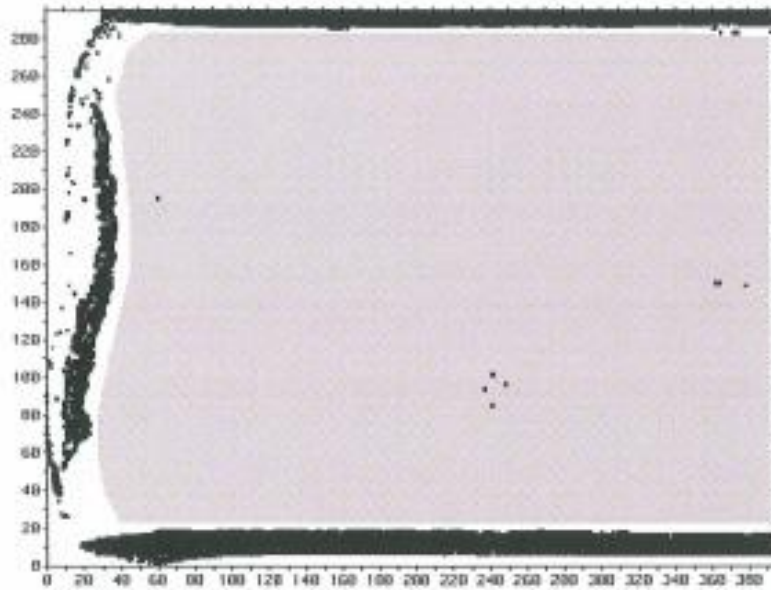


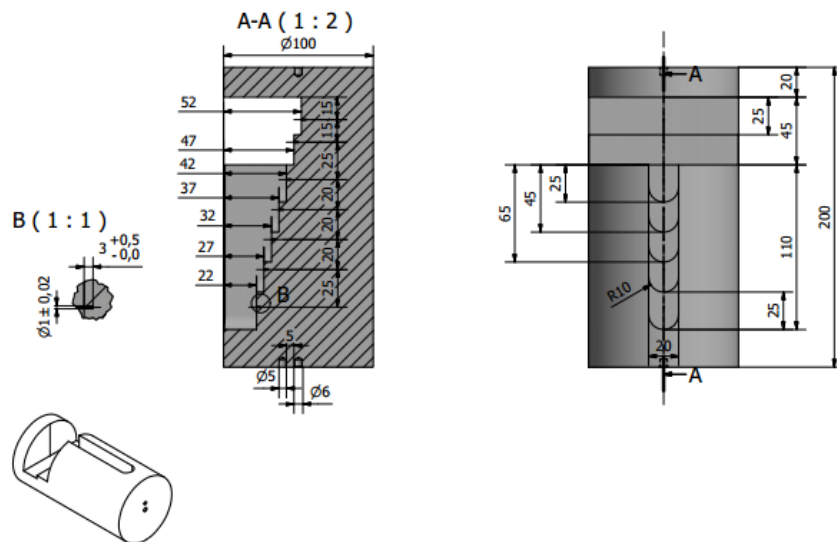
Abb. : 396 x 295 x 18,5 mm      Pixel - Grafik X/Y - Maß 1 / 1  
 Quantit. Schwellenbewertung      Schwelle 15 X, Tiefen 0 - 18,5 mm

Bewertete Fläche:	920.58 cm <sup>2</sup>	Bewertetes Volumen:	966.61 cm <sup>3</sup>
Fehlerdichte:	7.2 Fehler / dm <sup>3</sup>	mittlere Fehlergröße:	3.14 mm <sup>2</sup>
<b>Fehlerzahl:</b>	<b>7</b>	<b>Anzeigenfläche:</b>	<b>22 mm<sup>2</sup> (.024%)</b>
Fehlerklasse:	1	Spurabstand:	1 mm

Figuur 14: Voorbeeld van een MIDAS-rapport [13]

## 2.6 SEP 1927

In de SEP1927 norm wordt beschreven aan welke eisen de gebruikte apparatuur moet voldoen om de reinheid van staal te onderzoeken. In tegenstelling tot de hierboven vermelde MIDAS-methode gaat het nu niet om surfboards maar om gewalste of gesmede proefstukken en eventuele samples die uit componenten gehaald worden. Om dergelijke proefstukken te onderzoeken, is in de norm voorgesteld om een ultrasoon systeem te gebruiken waar een volumetrische test wordt gedaan. Dit werd voor het eerst in september 1927 gebruikt en de uiteindelijke naam voor deze norm opleverde. Belangrijke voordelen van deze volumetrische test zijn een hogere reproduceerbaarheid en de mogelijkheid tot oprichting van een geautomatiseerde testprocedure. De nieuwe test specificatie werd gepubliceerd door de VDEh, het Duitse Iron and Steel Institute.



Figuur 15: Referentieblok voor SEP1927 kalibratie

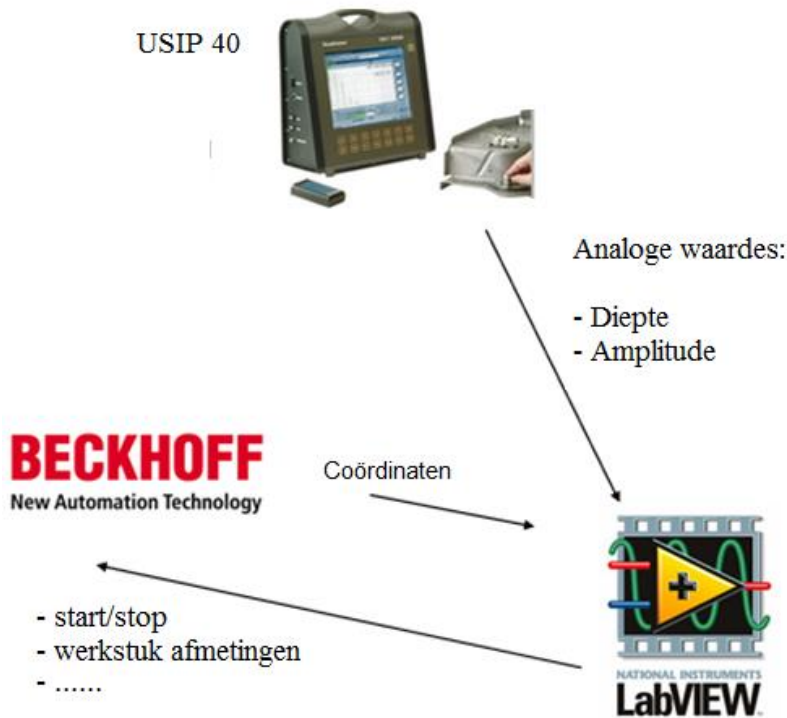
Op bovenstaande figuur is een ontwerp te zien dat is gemaakt om SEP-samples naar te kunnen refereren. De installatie zou op basis van deze vorm worden afgesteld om een correcte meting te verkrijgen en zeker te zijn dat de meting overeenkomt met de werkelijkheid.

Het ultrasoon toestel kan afgesteld worden op basis van de bovenstaande gefabriceerde as. Dat wil zeggen dat de DAC (Distance Amplitude Correction) samen met de gain wordt ingesteld. Op dat moment is het ultrasoon systeem gekalibreerd en klaar voor gebruik om een as te scannen met gelijkwaardige diameters en volume.

Op dit moment is de software aanwezig om met deze methode cilindrische werkstukken op te meten. Enkel is er door het ontbreken van een nauwkeurige aandrijving voor de rotatie van deze werkstukken nog geen mogelijkheid tot scannen.

### 3 Configuratie

In Figuur 16 wordt de volledige samenstelling van het systeem weergegeven. LabVIEW functioneert hierin als het gemeenschappelijke aanspreekpunt van zowel het ultrasone meettoestel als de PLC. Hieronder worden drie elementen van het systeem en hun specifieke functionaliteiten meer in detail besproken.



Figuur 16: Integratie van de verschillende systemen

#### 3.1 PLC

Om de motoren aan te sturen, die het XY-systeem besturen, is er gebruik gemaakt van een PLC. Deze PLC was al reeds aanwezig in de installatie en is een CX9020 van Beckhoff.

Om deze te kunnen programmeren is er gebruik gemaakt van het software pakket TwinCAT. Binnen TwinCAT is er een duidelijk onderscheid tussen de System Manager en de PLC Control.

De System Manager is het deel van de software dat het mogelijk maakt om de hardware te integreren en de nodige parameters in te stellen.

PLC Control wordt gebruikt om het PLC programma in te programmeren. In deze masterproef is dit pakket gebruikt om het meander patroon te schrijven en de conversie van de motorcoördinaten naar een x- en y-positie.



Figuur 17: PLC CX9000 serie [21]

### 3.2 USIP-40

Eerst werd gebruikt gemaakt van een USK-7, dit is een draagbaar ultrasoon meettoestel. Het nadeel aan dit toestel is dat het een analoog toestel is en het doorgeven van data naar LabVIEW duurde tot wel anderhalve seconde. De USK-7 werd vervangen door een USIP-40, dat ook een draagbaar ultrasoon meettoestel is en van de fabrikant GE Measurement & Control. Hierdoor is de tijd om via een analoge uitgang, de intensiteit en de diepte van de fout door te geven, verminderd.



Figuur 18: USK-7



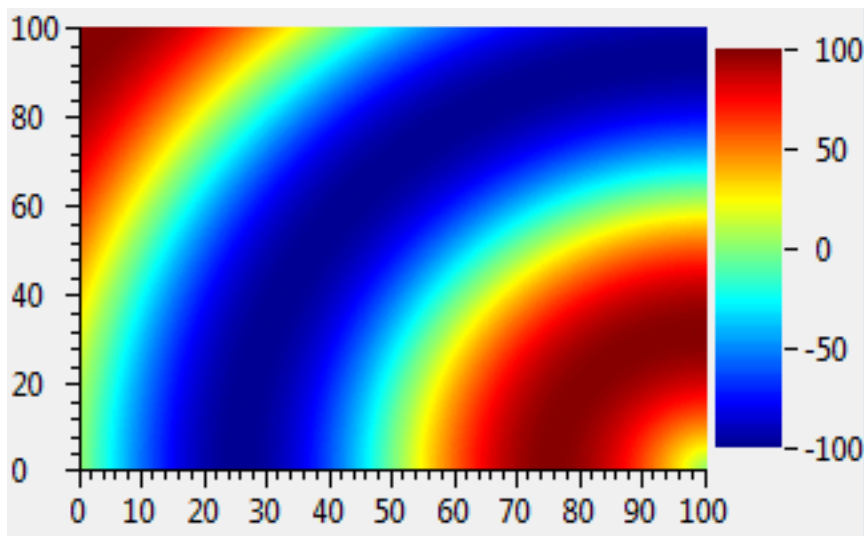
Figuur 19: USIP-40



### 3.3 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) is een software programma van National Instruments. In tegenstelling tot vele andere programmeeromgevingen bezit LabVIEW een volledig grafische programmeerstructuur.

In deze masterproef is het doel van LabVIEW om een C-scan te maken. Het doet dit door een intensity graph op te bouwen. Om een intensity graph te kunnen opstellen heeft men steeds drie parameters nodig. Twee van deze parameters zijn de x- en y-positie van de sensor en de laatste is het signaal afkomstig van de USIP-40.



Figuur 20: Voorbeeld van een intensity graph

Om aan de positiegegevens te komen is er de verbinding tussen LabVIEW en de PLC. Deze verbinding is gemaakt door gebruik te maken van ActiveX. Wat ActiveX is wordt in hoofdstuk 4 kort beschreven.

De laatste parameter is afkomstig van het ultrasone meettoestel. Door gebruik te maken van een USB-6009 is het mogelijk om de analoge uitgangen van de USIP-40 in te lezen in LabVIEW.

#### 3.3.1 Signaal via USB-6009

De NI myDAQ is een module van National Instruments. Deze module bezit configureerbare aansluitingen zoals analoge ingangen, analoge uitgangen en aansluitingen voor digitale signalen. Voor de diepte of amplitude door te geven aan LabVIEW werd er een analoge ingang gebruikt.

Het USIP-40 toestel geeft de amplitude of intensiteit van het ultrasone signaal van een analoge uitgang door aan de USB-6009 module. Deze analoge spanning is een signaal tussen 0 en 10 Volt

Het is mogelijk om in te stellen hoeveel samples er worden genomen van het signaal. Hiermee kan vervolgens een gemiddelde waarde worden gegenereerd. In ons geval is er gekozen om vijf samples te nemen tegen de maximale snelheid van 48000 samples per seconde.



Figuur 21: USB-6009 module [14]

### 3.3.2 Software Development Kit (SDK)

De fabrikant van het USIP-40 meettoestel biedt de mogelijkheid aan om een software development kit aan te schaffen. Met deze extra mogelijkheid kan de gebruiker zelf extra software voorzien aan de installatie.

Deze software zou in dit project gebruikt worden om de data van het meettoestel door te zenden naar LabVIEW en omgekeerd. Deze manier van communiceren zou ervoor zorgen dat niet enkel de diepte en/of intensiteit kon worden doorgegeven maar de volledige A-scan.

Na de volledige controle van het werkstuk zou het dan mogelijk zijn om van elk punt de bijhorende A-scan op te vragen.

Echter door het ontbreken van een ethernet aansluiting (RJ-45) en het ontbreken van informatie over hoe deze software te programmeren is er besloten deze methode niet te gebruiken en over te schakelen naar de in het vorige hoofdstuk beschreven methode.

## 4 Werkwijze

### 4.1. Active X

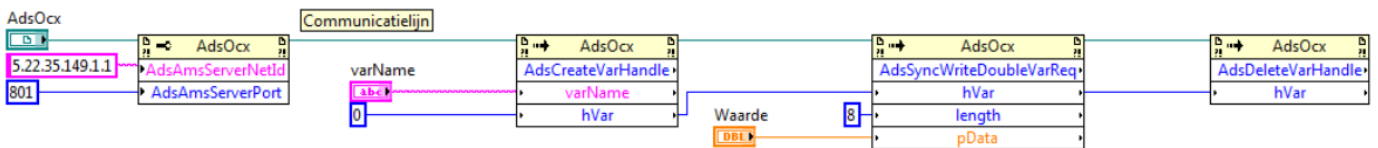
De reeds bestaande verbinding tussen LabVIEW en de PLC is een ActiveX communicatie protocol.

“ActiveX is een algemene naam voor een reeks van Microsoft-technologieën die toelaat om code te hergebruiken en te linken met individueel programma en informatica behoeften.” [15]

De manier om deze communicatiemethode in LabVIEW op te stellen is standaard te beschreven op de website van de PLC-fabrikant Beckhoff.

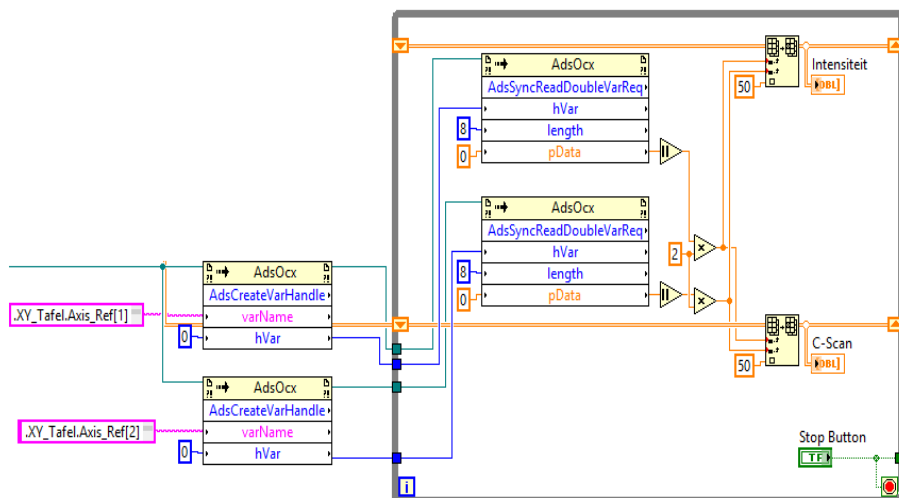
#### 4.1.1 Invloed van ActiveX op de systeemsnelheid

Om data uit te wisselen tussen de PLC en LabVIEW wordt er gebruik gemaakt van een OCX-interface namelijk ADS-OCX [ActiveX]. Deze interface maakt het mogelijk om verschillende programmeer omgevingen met elkaar te doen communiceren indien ze ActiveX controls ondersteunen. Op de onderstaande figuur is te zien hoe de communicatie standaard wordt opgesteld.



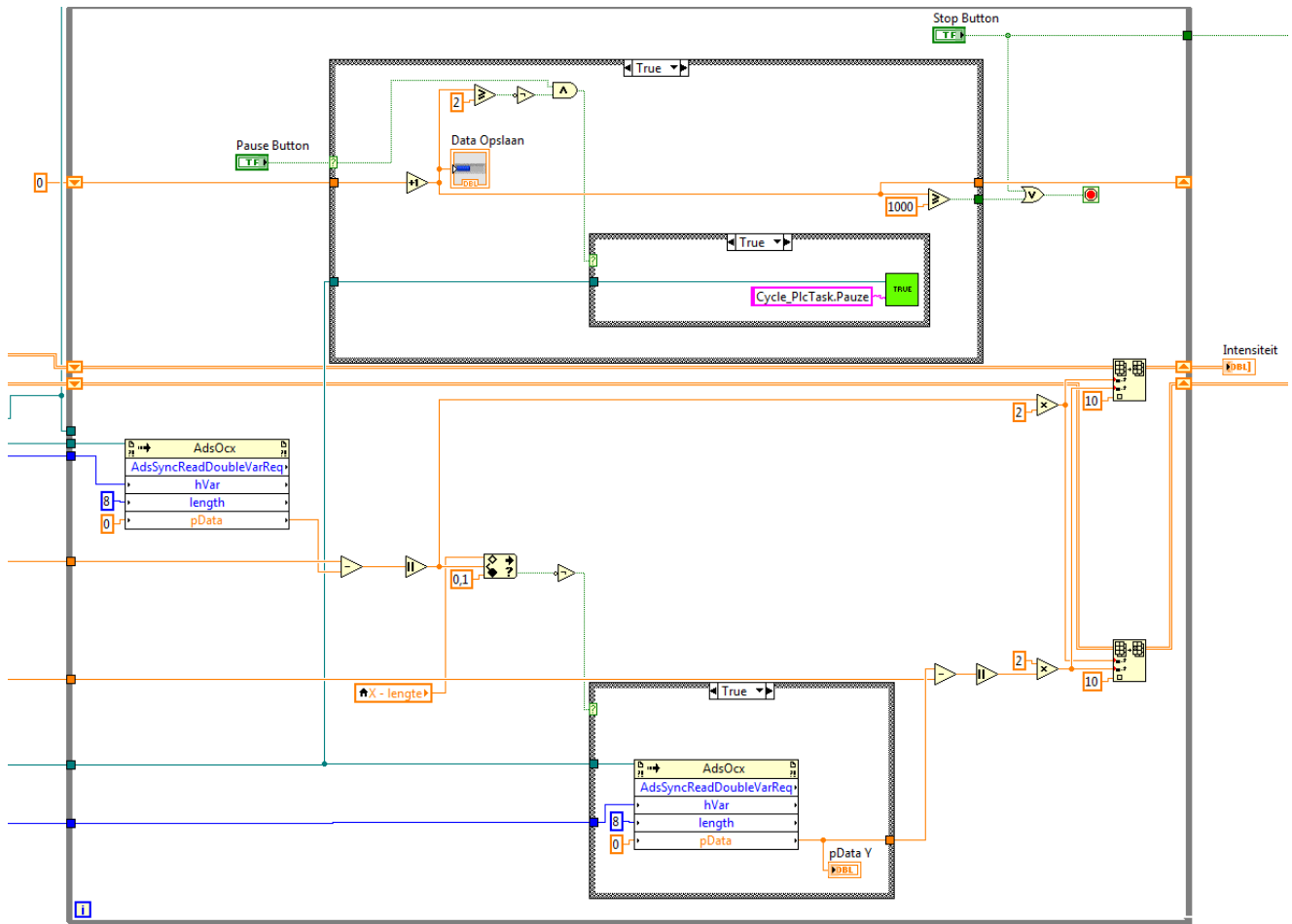
Figuur 22: Opbouw ActiveX

Na het aanpassing van de communicatie structuur in combinatie met de while-loop, die nodig is voor de coördinaten op te vragen, werd volgende afbeelding verkregen.



Figuur 23: Aanpassing in Active-X gebruik

LabVIEW riep steeds de coördinaten van de X- en Y as op. Dit terwijl er maar één as actief is. Softwarematig is er een aanpassing geprogrammeerd zodat men maar naar één as kijkt, dit heeft de snelheid kunnen optrekken van 1mm/s tot 35mm/s.



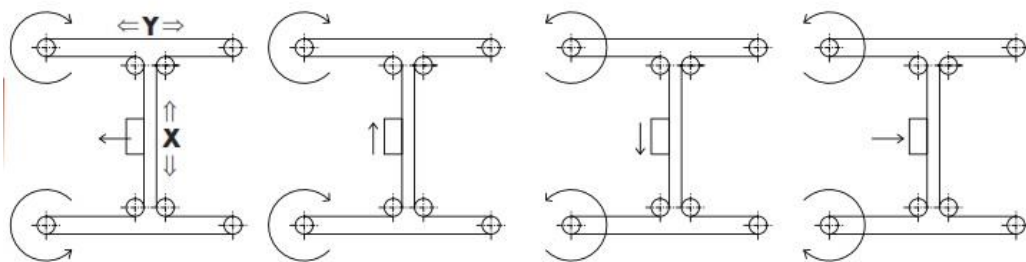
Figuur 24: Opvragen van coördinaten

## 4.2. H-Bot

Dit is een TT Robot bestaande uit twee Y-assen en één X-as. Twee servomotoren zorgen voor de verplaatsing. Dit wordt verwezenlijkt door één omringende riem die het systeem aandrijft. Als de motoren in tegengestelde zin draaien, wordt de sensor in de Y-richting verplaatst. Als deze motoren in dezelfde zin draaien, wordt een verplaatsing in de X-richting verwezenlijkt.



Figuur 25: Bahr ELZU systeem [16]



Figuur 26: Aansturing van een H-bot [16]

Het probleem met de CX9020 PLC is dat het TwinCAT Kinematic Transformation niet ondersteunt. Deze Kinematic Transformation is een geïntegreerd supplement van TwinCAT automation suite, hierdoor is het mogelijk verschillende motions te realiseren rechtstreeks met software. Dit kan een productieproces aanzienlijk vereenvoudigen.

Door het onderbreken van deze ondersteuning is de interface module zelf geschreven. Het grote nadeel om zelf de module te schrijven is dat de PLC zwaarder belast wordt.

Er wordt nu tot 40 procent belast en dat is aan de hoge kant want de producent raad ons aan om zeker onder de 50 procent te blijven. De reden waarom het nu zo zwaar belast wordt is omdat er nu vier assen aan te pas komen, twee effectieve assen en twee virtuele assen. Het zijn de virtuele assen die beschikken over de X-Y coördinaten. Het logaritme achter deze conversie van motorcoördinaten naar de virtuele assen is achtereenvolgens:

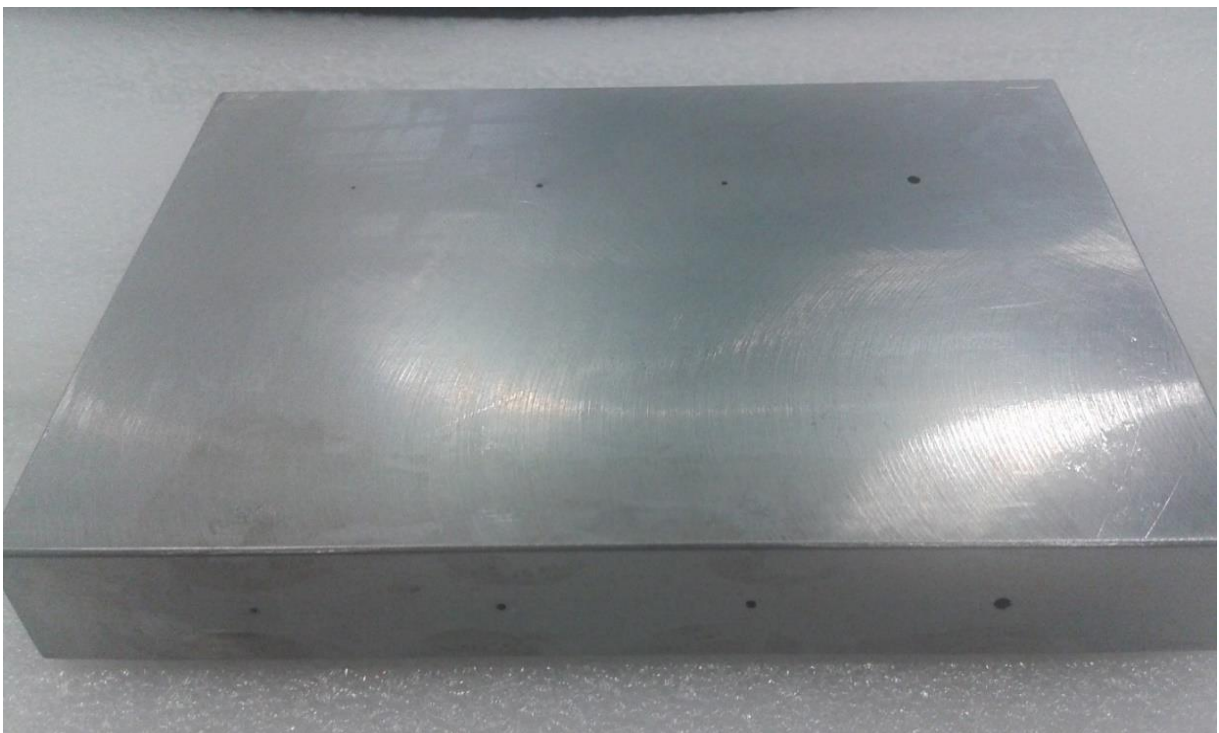
- $X := -(M1 + M2) / 2,$
- $Y := (M2 - M1) / 2,$
- $M1 := -(X + Y),$
- $M2 := (X - Y).$

Door deze conversie te implementeren is het nu mogelijk om rechtstreeks een X-Y sturing te programmeren in de PLC en de desbetreffende positie uit te lezen. Dit heeft het programmeer werk en plotten van de signalen in LabVIEW zeer goed bevorderd.

### **4.3. Kalibratie van de installatie**

#### **4.3.1 Kalibratie met een referentieblok**

Al de afstellingen en metingen vloeien voort uit de gebruikte referentieblok. Deze blok is een stuk staal waarin acht gaten zijn voorzien waarvan 4 FBH en 4 SDH. Afbeelding 27 toont deze blok en in de bijlage is nog een werkstuktekening terug te vinden.



Figuur 27: Referentieblok

Om te garanderen dat de installatie correct werkt en blijft werken is het nodig om regelmatig deze referentieblok opnieuw op te meten. Wanneer blijkt dat na de meting niet al de acht boringen worden gevonden met de gebruikte instellingen valt er te concluderen dat de installatie moet worden bijgesteld en ook een herhalen van de recentste metingen is daarbij aangeraden.

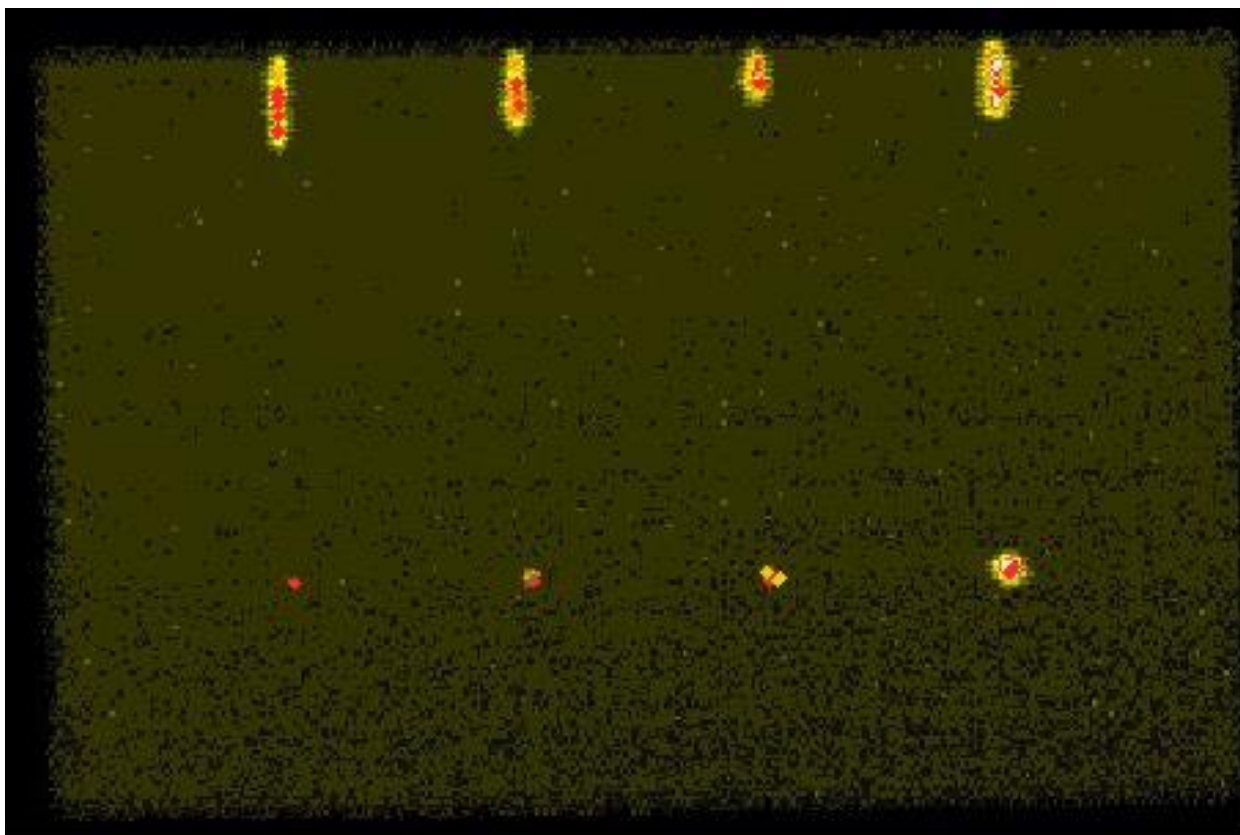
Een voorbeeld van zo'n situatie is wanneer het water in het reservoir vervuild is en invloed heeft op de meting. Hierdoor zal bij een zelfde versterkingsfactor in het USIP-40 toestel een zwakkere reflectie voorkomen dan bij een meting in zuiver water. Het is dan mogelijk om steeds onmiddellijk het water te verversen of als alternatief, de referentieblok op te meten met een aangepaste versterkingsfactor om een identiek resultaat te verkrijgen aan de meting in zuiver water.

### 4.3.2 Manier van kalibratie

Om de installatie te kalibreren wordt de ultrasone sensor boven de FBH boring geplaatst met diameter 0.5mm. Het reflectie signaal dat te zien is op het USIP-40 toestel, wordt versterkt tot het 95% van het beeldscherm bedraagt. Dit komt overeen met een intensiteit van 95%.

Elke fout die een gelijkaardige of zelfs grotere reflectie oplevert in een werkstuk zal dus van een grootteorde zijn van minstens een halve millimeter.

Om zeker te zijn dat dit correct is ingesteld kan men de referentieblok volledig scannen. Figuur 28 hieronder toont hoe het resultaat van deze scan er zou moeten uitzien.



Figuur 28: Opmeting referentieblok

Indien het resultaat afwijkt van Figuur 28 zal de operator enkele controles moeten uitvoeren op de installatie of het werkstuk. Zo zijn volgende punten een mogelijke oorzaak voor een afwijkend resultaat:

- vervuild water,
- te hoge oppervlakteruwheid,
- foutieve hoogte tussen sensor en werkstuk,
- geen loodrechte positie van de sensor op het werkstuk.

### 4.3.3 Invloed van de hoogte

Tijdens het afstellen van de installatie is er gekeken of een afwijkende hoogte zou resulteren in een verbetering in signalen op het USIP-40 toestel.

De gebruikte H10M sensor van GE heeft volgens onderstaande *Tabel 2* een waterkolom van 40mm nodig tussen de sensor en het werkstukoppervlak.

Deze 40mm is de lengte van het Near-field dat deze sensor bezit. Omdat er in het Near-field zowel constructieve- als destructieve interferentie kan optreden zal er altijd geopteerd worden om niet in dit gebied te werken en dus deze afstand tussen het werkstuk en de sensor te respecteren.

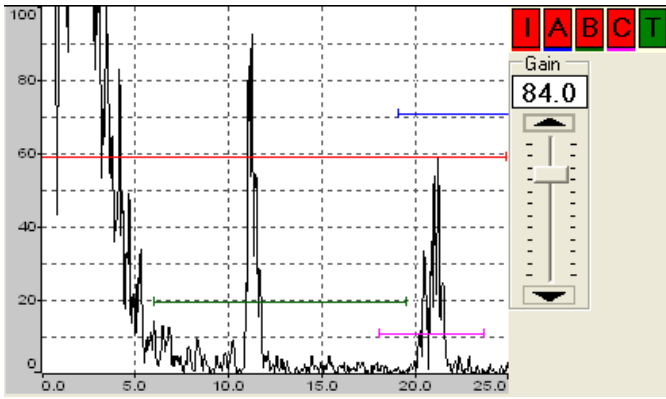
Type [Order code]	D [mm]	f [MHz]	AB [mm]	N/F [mm]	Near resolution <sup>1)</sup> [mm]	Beam shape no.	Remark	Sketch
<b>High-resolution probes for flaw detection, UHF sockets, characteristic bandwidth: 80 %</b>								
IA5.8	12.7	5	60-190	130	ZYB 0.5 Ø in 3	5 - 12.7		Type 39
IAP5.12.6	19	5	115-225	150	ZYB 0.5 Ø in 1,5	–	point-focused	Type 40
IAP10.6.3	9.5	10	55-130	75	FBB 0.4 Ø in 1,3	–	point-focused	Type 39
IAP15.6.2	9.5	15	40-65	50	FBB 0.4 Ø in 1,0	–	point-focused	Type 39
<b>Shock-wave probes with fixed cable, characteristic bandwidth: 100 %</b>								
H1N	20	1	28-156	64	FBB 5 Ø in 19	1 - 20		Type 36
H2N	20	2	50-267	127	FBB 2 Ø in 13	2 - 20		
H2K	10	2	14-77	32	FBB 2 Ø in 6.5	2 - 10		Type 37
H5K		5	34-190	80	FBB 2 Ø in 4	5 - 10		
H10K		10	68-380	160	FBB 2 Ø in 2	10 - 10		
H5M	5	5	8-52	20	FBB 2 Ø in 3	5 - 5		Type 38
H10M		10	16-104	40	FBB 2 Ø in 1.5	10 - 5		
H10MP15		10	10-23	15	FBB 2 Ø in 1.5	–	point-focused	
H10ML15		10	10-23	15	FBB 2 Ø in 1.5	–	line-focused	
<b>Broad-band probes with fixed cable, characteristic bandwidth: 80 %</b>								
L1N	20	1	28-156	63	FBB 2 Ø in 24	1 - 20		Type 36
L2N	20	2	50-264	127	FBB 2 Ø in 12	2 - 20		Type 36
L2K	10	2	14-77	32	FBB 2 Ø in 6	2 - 10		Type 37
L4K	10	4	28-154	64	FBB 2 Ø in 5	4 - 10		
L5K	10	5	34-190	80	FBB 2 Ø in 3.5	5 - 10		Type 38
L5M	5	5	8-52	20	FBB 2 Ø in 2.5	5 - 5		

Tabel 2: H10M specificaties

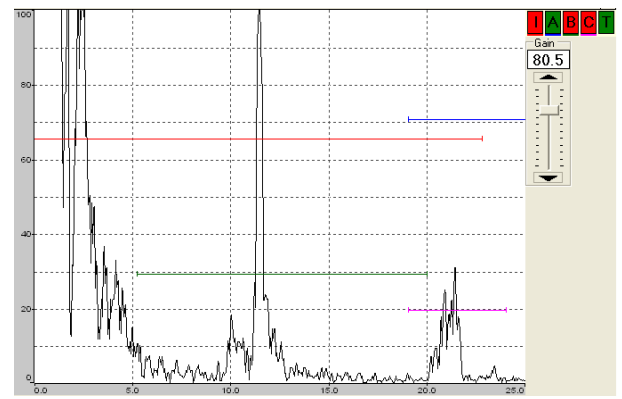
Om te kijken of er een duidelijke invloed is als de hoogte niet ingesteld wordt volgens de opgegeven 40mm waterkolom, zijn er enkele metingen uitgevoerd. Hieronder staan vijf A-scans afgebeeld die steeds een verhoging van de sensorafstand voorstellen met 10mm.

Bij elke meting is de sensor gepositioneerd boven de boring (FBH) met diameter 1mm en de versterking in dB aangepast om een reflectie te verkrijgen die 95% van de intensiteit voorstelt.

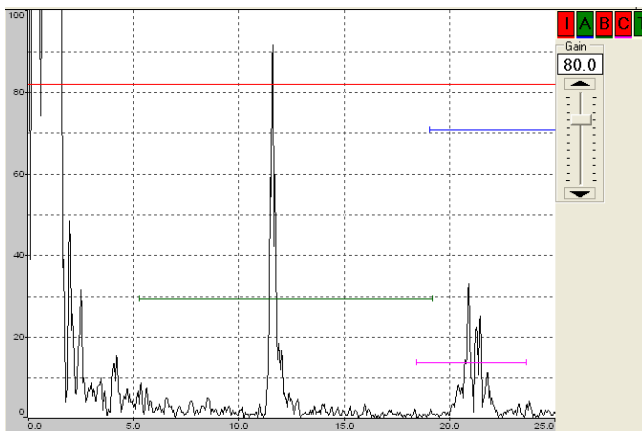




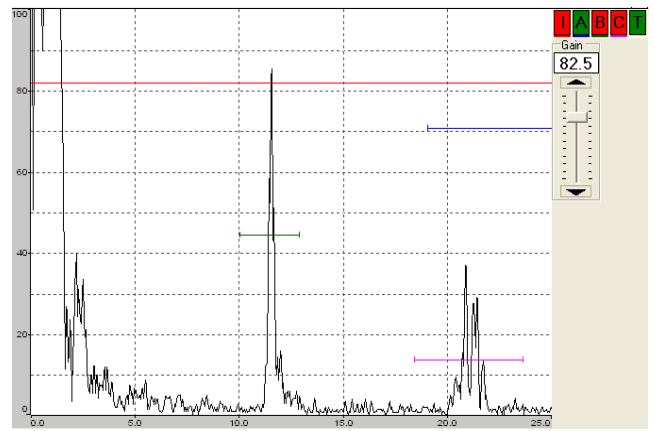
Figuur 29: A-scan met 10mm waterkolom



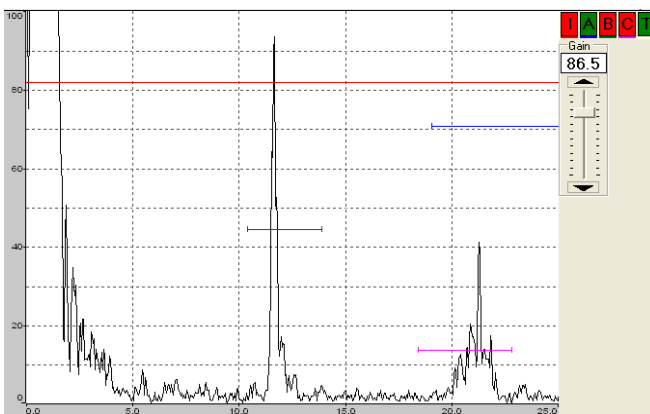
Figuur 30: A-scan met 20mm waterkolom



Figuur 31: A-scan met 30mm waterkolom



Figuur 32: A-scan met 40mm waterkolom



Figuur 33: A-scan met 50mm waterkolom

Wanneer de sensorhoogte lager is dan de aangeraden 40mm zal de versterkingsfactor enkele dB's mogen dalen om een zelfde intensiteit te verkrijgen van de reflectie. Vanaf 40mm zal de versterking weer moeten stijgen om de boring op een zelfde manier te kunnen detecteren.

Als de waterkolom een kleinere hoogte bezit dan 40mm is de stralenbundel van de H10M, dankzij zijn divergerende eigenschap, groter wanneer deze het

werkstukoppervlak bereikt. De FBH oppervlakte zal makkelijker te detecteren zijn in deze grotere stralenbundel.

Als de waterkolom groter wordt dan 40mm zal de stralenbundel ook weer divergeren, uit de metingen blijkt dat er een grotere versterking nodig is dan bij een afstand kleiner dan 40mm.

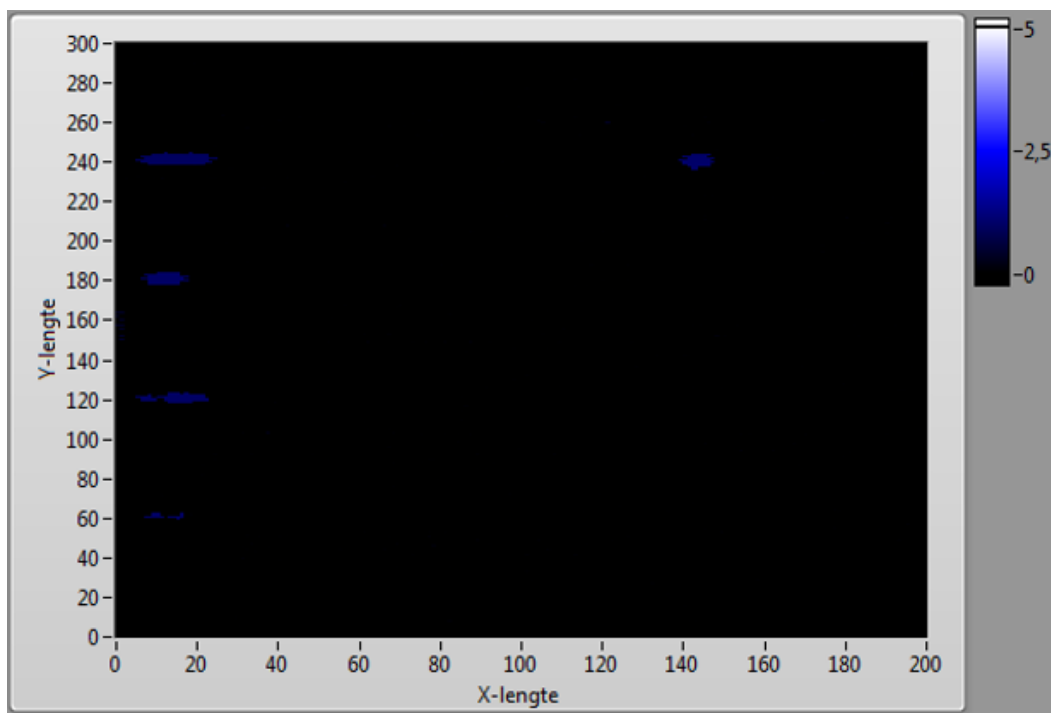
Vermoedelijk is deze extra versterking nodig door de combinatie van het energieverlies door de divergerende stralenbundel en een extra hoeveelheid energie verlies door de absorptie van de extra hoeveelheid water.

Als de sensor boven de 40mm wordt ingesteld zal de invloed van de reflectie op het oppervlak (front wall echo) minder worden. Hierdoor is de ‘dode zone’ van materiaal die niet kan worden geëvalueerd tijdens de meting groter.

#### 4.3.4 Problemen tijdens de kalibratie

Tijdens het afstellen van de installatie is gebleken dat de positie van de sensor cruciaal is voor de meting. Een kleine afwijking van zowel de hoogte als de loodrechtheid van de sensor of de sensorhouder resulteert in een ander meetresultaat.

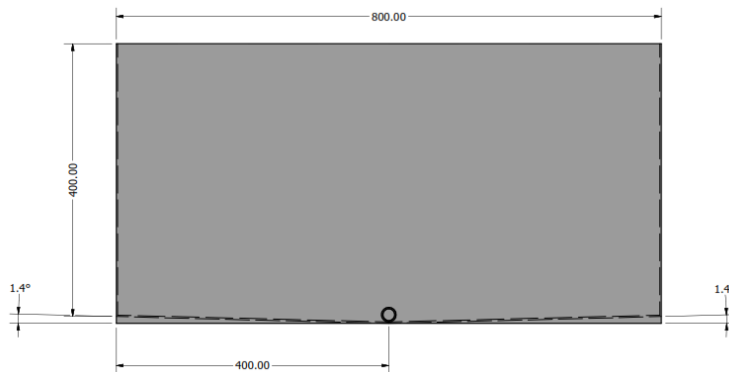
Dit is zichtbaar in Figuur 34 wat een meting voorstelt van de referentieblok.



Figuur 34: Referentieblok met foutieve sensorstand

Doordat de sensor niet loodrecht stond op de referentieblok werden er drie FBH's niet gedetecteerd. De reflectie van de ultrasonische signalen onder een lichte hoek zorgen ervoor dat er verlies is van informatie omdat de volledige signalen niet meer richting de sensor terugkeren.

Een andere factor die invloed heeft op de meting is de manier hoe men het werkstuk in het reservoir plaatst. Het reservoir is ontworpen zodat de bodem  $1,4^\circ$  verval heeft langs beide kanten om het water via een aftapkraan weg te laten vloeien. Dit is zichtbaar op het ontwerp van het reservoir hieronder.



Figuur 35: Reservoir ontwerp

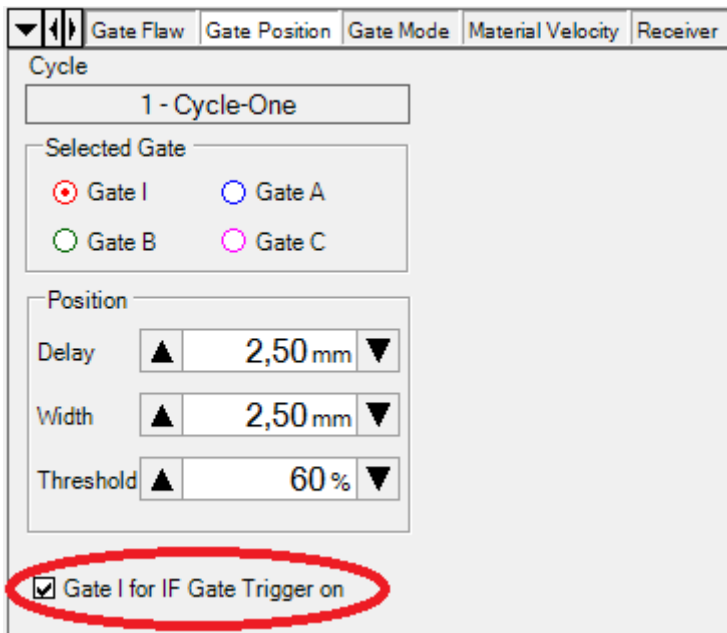
Indien het werkstuk rechtstreeks in het reservoir wordt geplaatst of op de spanplaat zonder rekening te houden met dit verval zal de Front wall echo zeer veel bewegen. Dit bewegen kan ervoor zorgen dat dit signaal aanzien wordt als een fout signaal in plaats van het werkstukoppervlak. Een voorbeeld is terug te vinden op Figuur 36.



Figuur 36: Invloed van positionering

Linksboven in de hoek wordt volgens de visualisatie iets gedetecteerd. Het gedetecteerde gedeelte is een verschuiving van het oppervlaktesignaal door de invloed van de overgang in de bodemplaat van het reservoir.

De oplossing voor dit probleem is de I-gate te gebruiken op het USIP-40 toestel. Deze gate of triggerzone heeft de mogelijkheid om het signaal dat zich in deze gate bevindt te volgen. Het verval of een eventuele afwijkingen op de vlakheid van het werkstuk heeft hierdoor geen effect meer op de meting.



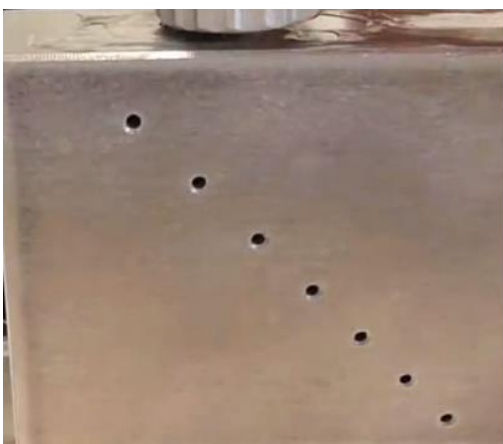
Figuur 37: I-gate triggering

#### 4.3.5 Distance Amplitude Correction (DAC)

Door het verlies van energie tijdens het steeds verder doordringen van het materiaal zal een fout naarmate ze dieper in het testobject ligt een lagere reflectie opleveren. Om dit te compenseren en dus te zorgen dat een fout van bijvoorbeeld 1mm een zelfde reflectie bekommt omgeacht de diepte moet de Distance Amplitude Correction functie worden gebruikt.

Deze functie laat toe om een curve op te stellen die het verlies van energie zal compenseren in functie van de diepte.

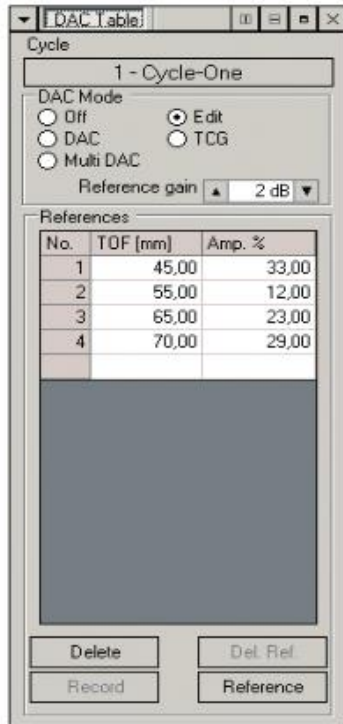
Om deze curve op te stellen moet een referentieblok voorzien zijn van boringen op verschillende dieptes met een gelijke diameter. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 38.



Figuur 38: Voorbeeld van boringen voor DAC

Het USIP-40 meettoestel laat toe om een DAC-table in te voegen die dan automatisch een DAC-curve opstelt.

Door van elke boring steeds de diepte en de amplitude op te geven in de aanwezige functie is deze curve snel opgesteld.



Figuur 39: Voorbeeld DAC-Table



## 5 Testen

### 5.1 Werkstuk

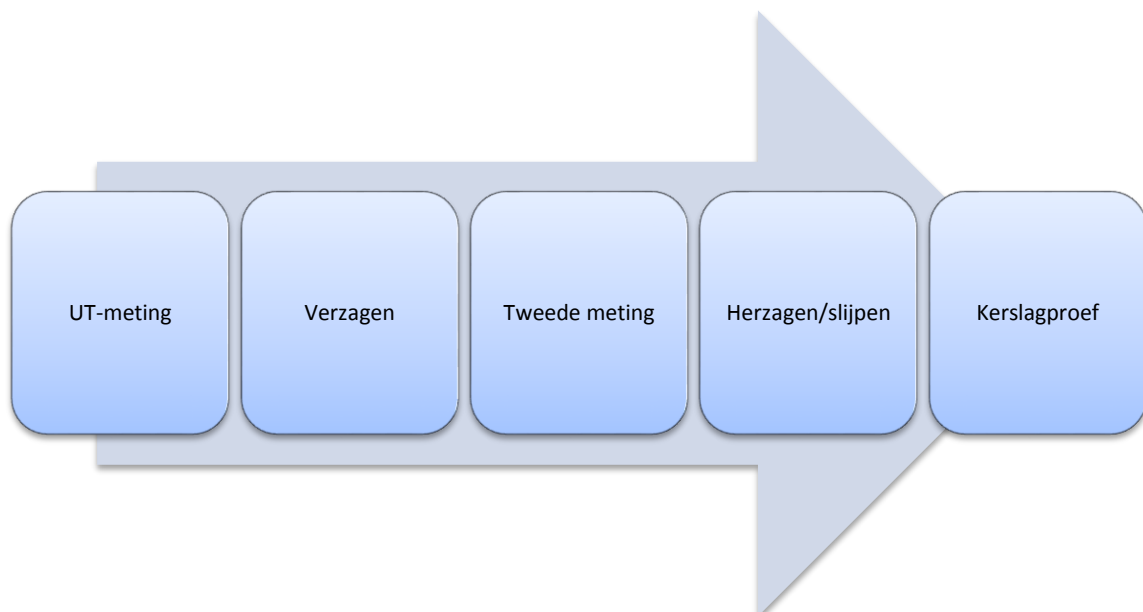
Nadat de referentieblok is gekalibreerd kan een eerste werkstuk worden onderzocht. Dit eerste werkstuk was geen MIDAS-plaat, maar een stuk staal dat uit een planeetwiel verwijderd werd. In de productie was op basis van een UT-controle een fout gedetecteerd op dit planeetwiel.

Om de fout verder te kunnen onderzoeken werd een stuk staal uit het planeetwiel gezaagd met een lengte van 90mm en een breedte van 65mm.



Figuur 40: Eerste scan op werkstuk

Het volledige proces om tot dit werkstuk te komen is voorgesteld in Figuur 41. In deze figuur staan ook de stappen die vervolgens nog moeten worden uitgevoerd op het werkstuk.



Figuur 41: Flowchart van verder onderzoek

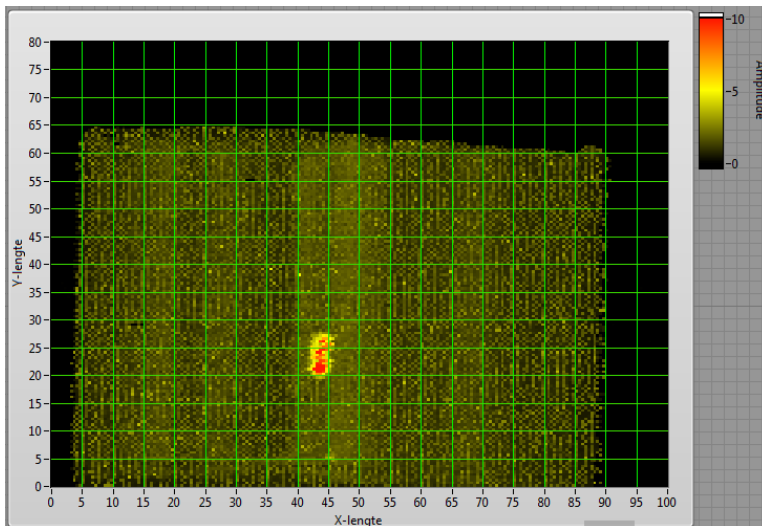
In de productie werd een UT-meting uitgevoerd waarmee fouten werden gevonden. Deze gevonden fouten worden gemerkt op het geteste werkstuk. Op basis van de markeringen wordt het werkstuk gezaagd tot een stuk zoals te zien is op Figuur 40, waarop de eerste test is uitgevoerd.

Om na te gaan waar de fout zit in het verkleinde werkstuk wordt er een tweede UT-meting uitgevoerd. Deze meting bepaalt de exacte positie van de fout en maakt het mogelijk om het werkstuk nog een keer te verkleinen. Het werkstuk wordt voorzien van een V-groef en wordt vervolgens onderworpen aan een kerfslagproef om de fout bloot te leggen.

## 5.2 Beschrijving van het testresultaat

De meting van het werkstuk leverde een foutindicatie op zoals voorspeld door de productietest.

Op Figuur 42 is het werkstuk zichtbaar met op coördinaat X: 44, Y: 24 het centrum van de fout.



Figuur 42: C-scan van werkstuk

Om hierna de fout bloot te leggen en te kijken wat er werkelijk aanwezig is, worden er aanduidingen voorzien om het onnodige materiaal verder weg te zagen. Wat er overblijft, is een balkvormig blokje met een diepte en breedte van 10mm.

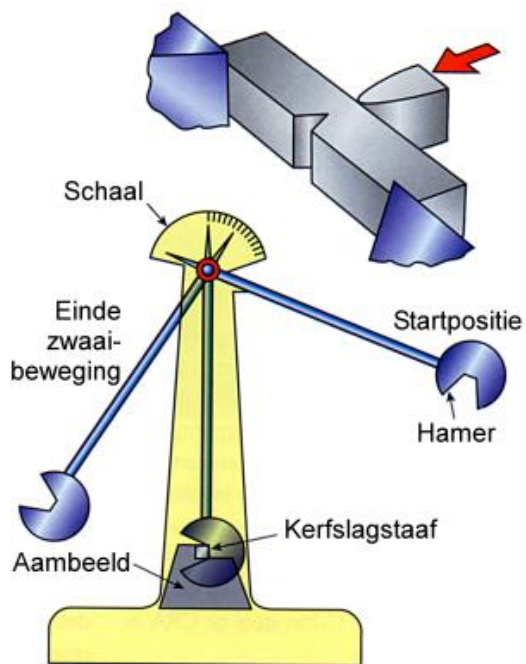




Figuur 43: Werkstuk na bewerkingen

### 5.3 Kerfslagproef

Om de inclusie bloot te leggen wordt er een kerfslagproef toegepast. Het principe wordt voorgesteld in Figuur 44.



Figuur 44: Principe van een kerfslagproef [17]

Een grote hamer aan het einde van een pendel zal vanaf een bepaalde hoogte worden losgelaten. Nadat de hamer is losgelaten zal deze in de richting van het testobject bewegen en het testobject doorslaan.

Omdat in het testobject een V-groef is voorzien, parallel op de aangetroffen fout, zal de breuklijn een weg zoeken doorheen de fout. Dit gebeurt omdat het materiaal hier het zwakste is.

Het voordeel van deze techniek is dat als de markeringen na de meting niet nauwkeurig werden aangebracht, er toch nog een kans is dat de fout zichtbaar is. Dit in tegenstelling tot de methode van het polijsten. Bij deze methode worden er steeds zeer kleine lagen van het object weg gepolijst totdat de fout zichtbaar wordt. Als hierbij een onnauwkeurige aftekening is gemaakt kan de fout worden weg gepolijst.

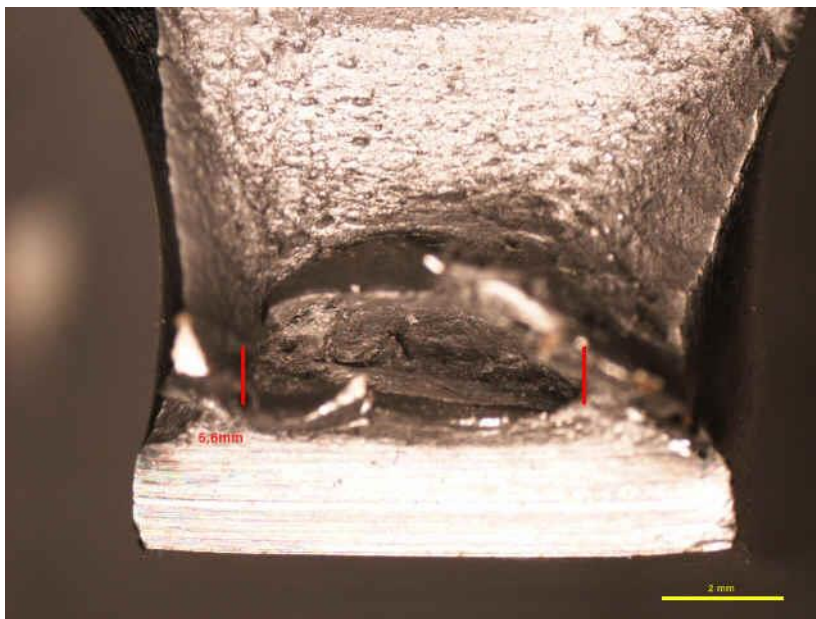
Een nadeel aan het gebruik van de kerfslagproef is dat door de externe kracht van de hamer op het werkstuk een vervorming van het materiaal optreedt. Deze vervorming heeft invloed op de vorm van de inclusie.

#### 5.4 Analyse van de fout met een microscoop

Nadat het sample is opengeboren met de kerfslagproef kan het sample onder een microscoop worden geplaatst.

Uit de meting die te zien was op Figuur 42 bleek de fout een lengte te bezitten van 7mm.

Op Figuur 45 is met een microscoop te zien dat de inclusie een lengte bezit van 6.6mm.



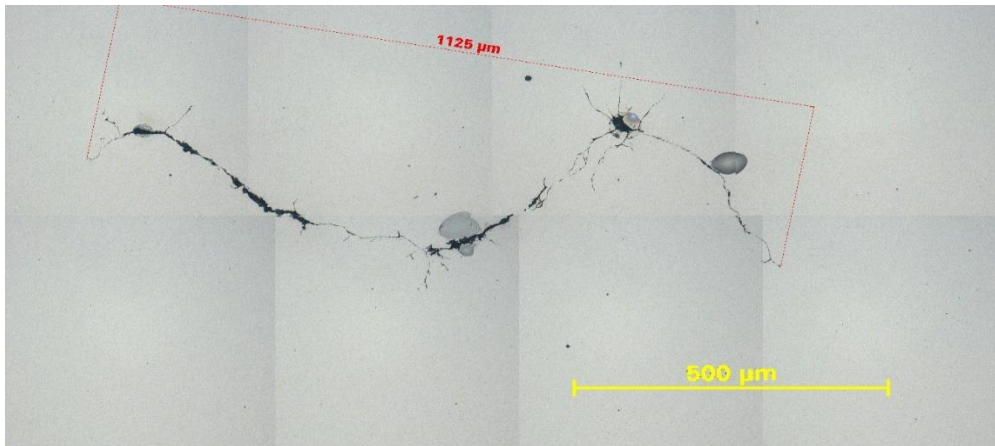
Figuur 45: Microscoopbeeld van een gevonden inclusie

Het verschil van 0.4mm dat ontstaat tussen de evaluatie onder de microscoop en de ultrasone meting is hoogst waarschijnlijk het gevolg van de vervorming van het sample door het principe van de kerfslagproef. Het principe van de kerfslagproef is het pad van de minste weerstand volgen.

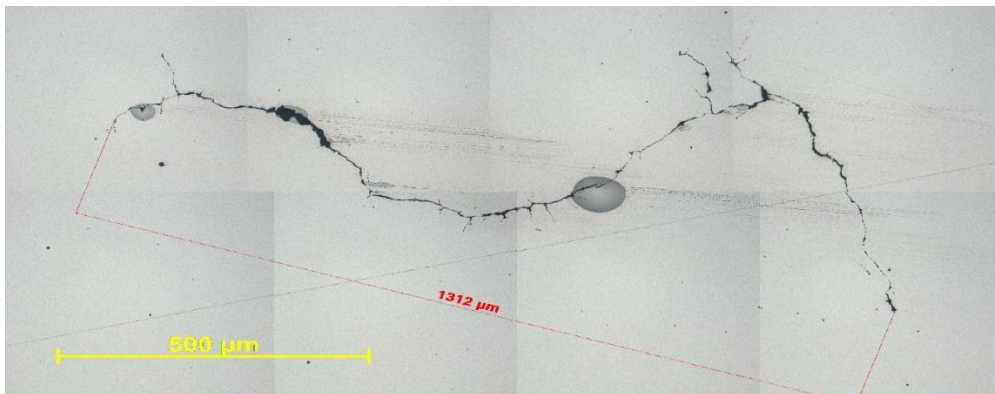
Een andere oorzaak die dit verschil kan verklaren is het feit dat de fout niet volledig werd blootgelegd. Dit is mogelijk door een afwijkende positionering van de V-groef. Een laatste mogelijkheid is een afwijking in de correlatie tussen de UT-indicatie en de foutlengte.

Het is niet mogelijk om na de testen te evalueren wat het resultaat zou zijn wanneer er was gekozen om de fout zichtbaar te maken door overtollig materiaal weg te polijsten. Om een idee te krijgen van het resultaat van deze alternatieve methode is er een ander werkstuk getest en de fout zichtbaar gemaakt door materiaal weg te polijsten.

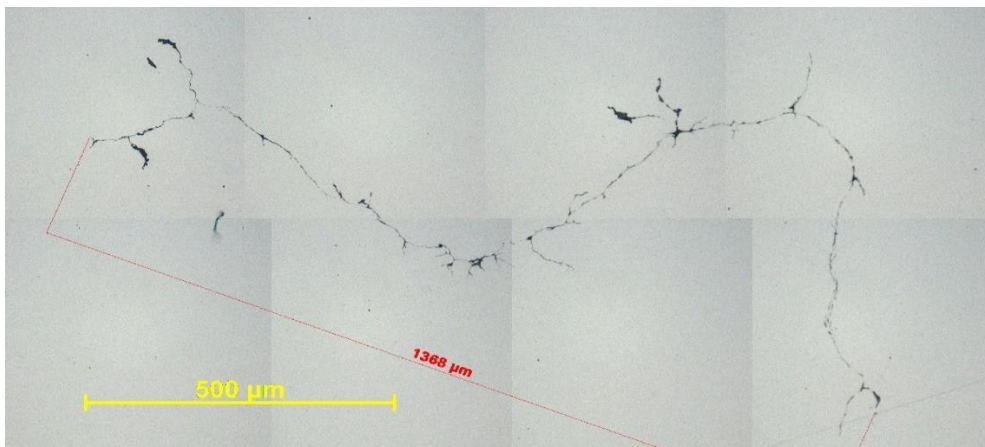
De volgende drie afbeeldingen tonen de evolutie van een fout in het staal. Tussen elke afbeelding zit een polijstbewerking die 500µm materiaal verwijderd.



*Figuur 46: Resultaat na polijsting 1*



*Figuur 47: Resultaat na polijsting 2*



*Figuur 48: Resultaat na polijsting 3*

De bolletjes op de afbeeldingen zijn afkomstig van de gebruikte ontsmettingsalcohol die nodig is om het oppervlak te reinigen net voordat het sample onder de microscoop wordt geplaatst.

Het grote verschil tussen deze afbeeldingen en die bekomen uit een kerfslagproef, is het feit dat de evolutie van de fout duidelijker zichtbaar is geworden.

Het nadeel aan het gebruik van deze methode is dat de positionering van de fout niet gekend is. Dit resulteert in het moeilijk interpreteren van de resultaten.

Bovendien is het gebruik van deze semi-automatische polijstinstallatie veel arbeidsintensiever.

## Conclusie

Om de XY-sturing of de H-bot efficiënter aan te sturen werd in Twincat een conversie geprogrammeerd. Deze conversie zorgt ervoor dat de sturing veel complexere bewegingen toelaat, zoals bijvoorbeeld cirkels. Niet enkel de complexere bewegingen zijn een voordeel maar ook de vermindering in cyclustijd is een groot pluspunt.

De Active-X communicatie tussen LabVIEW en de PLC alsook de opbouw van het LabVIEW programma werden aangepast om tot een sneller, gebruiksvriendelijker en eenvoudiger systeem te komen dat het mogelijk maakt om de data afkomstig van het USIP-40 toestel te verwerken tot een rapport.

Dit rapport bevat een visualisatie van het werkstuk en een telling van het aantal fouten die aanwezig zijn.

Het eindresultaat van het volledige project is een installatie die toelaat om vlakke werkstukken te scannen. Deze scan zal het werkstuk visualiseren en inclusies of fouten in het werkstuk kunnen detecteren met een flat bottom hole equivalent van 0.5mm. Indien deze werkstukken de afmetingen 400mm op 100mm bezitten dan is deze test voltooid in 38 minuten. De gebruikte sensor van 10MHz is bruikbaar voor deze werkstukken indien ze een minimum dikte van 16mm bezitten.



## Bibliografie

- [1] *Logo ZF*. [Art]. ZF Friedrichshafen AG.
- [2] „Nondestructive Testing,” Kalkars NDT Services, [Online]. Available: <http://www.kalkars.com/ndt/Kalkars%20NDT%20Course%20Content.pdf>. [Geopend september 2014].
- [3] T. Martin, S. Knaak en J. Aktaa, „Immersion Ultrasonic Testing on EUROFER Welded Joints for Determination of the Minimum Detectable Flaw Size,” DGZfP, 2010. [Online]. Available: <http://www.ndt.net/article/dgzfp2010/Inhalt/di2b2.pdf>. [Geopend september 2014].
- [4] J. Klaps, „Wat is Geluid?,” Oktober 2006. [Online]. Available: <http://home.scarlet.be/~ababab/geluid.pdf>. [Geopend November 2014].
- [5] P. J. Hass, „An Acoustics Primer,” Center for Electronic and Computer Music, School of Music Indiana University, 2003. [Online]. Available: <http://www.indiana.edu/~emusic/acoustics/sound.htm>. [Geopend November 2014].
- [6] J. D. Lavender, „Ultrasonic Testing Of Steel Castings,” Steel Castings Research & Trade Association Sheffield, 1976. [Online]. [Geopend September 2014].
- [7] „Ultrasonic Transducers Technical Notes,” Olympus NDT, 2006. [Online]. Available: <https://www.olympus-ims.com/data/File/panametrics/UT-technotes.en.pdf>. [Geopend Augustus 2014].
- [8] T. H. University, „Introduction to Non-Destructive Testing Techniques,” NDT Center, z.d.. [Online]. Available: <https://eis.hu.edu.jo/ACUuploads/10526/Ultrasonic%20Testing.pdf>. [Geopend september 2014].
- [9] „Basic Principles of Ultrasonic Testing,” NDT Education Resource Center, 2001-2014. [Online]. Available: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>. [Geopend Augustus 2014].
- [10] „Attenuation of Sound Waves,” NDT Education Resource Center, 2001 - 2014. [Online]. Available: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/attenuation.htm>. [Geopend Augustus 2014].
- [11] *Cross Sectional B-scan*. [Art]. Olympus .  
]
- [12] *Conventional C-Scan*. [Art]. Olympus.  
]
- [13] D. Chiaradia, „MIDAS,” ZF WindPower (voormalig Hansen Transmissions), Lommel, 2001.  
]

- [14] *NI USB-6009*. [Art]. National Instruments.  
]
- [15] „ActiveX and LabVIEW,” National Instruments, 2 augustus 2007. [Online]. Available:  
] <http://www.ni.com/white-paper/2983/en/>. [Geopend Oktober 2014].
- [16] *Bahr ELZU*. [Art]. Bahr Modultechnik.  
]
- [17] *Het Charpy kerfslagapparaat*. [Art]. Vanotools B.V..  
]
- [18] G. Reenaers en M. Lenaerts, „Het operationeel maken en optimaliseren van ultrasone  
] opstellingen,” S.l. Katholieke Hogeschool Limburg, Diepenbeek, 2014.
- [19] A. J. Wilby en D. P. Neale, „<http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-36-04-01.pdf>,” [Online]. Available: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-36-04-01.pdf>. [Geopend oktober 2014].
- [20] „Where do inclusions come from?,” Matter , University of Liverpool, 2000. [Online].  
] Available:  
[http://www.matter.org.uk/steelmatter/applications/can\\_strip/cleanness/5\\_1\\_5.html](http://www.matter.org.uk/steelmatter/applications/can_strip/cleanness/5_1_5.html).  
[Geopend November 2014].
- [21] „Beckhoff Information System,” Beckhoff , [Online]. Available:  
] <http://infosys.beckhoff.com/index.htm>. [Geopend augustus 2014].



## **Bijlagen**

Bijlage A: LabVIEW

Bijlage B: TwinCAT

B.1 System Manager

B.2 PLC Control

Bijlage C: Referentieblok

Bijlage D: Externe testverslagen

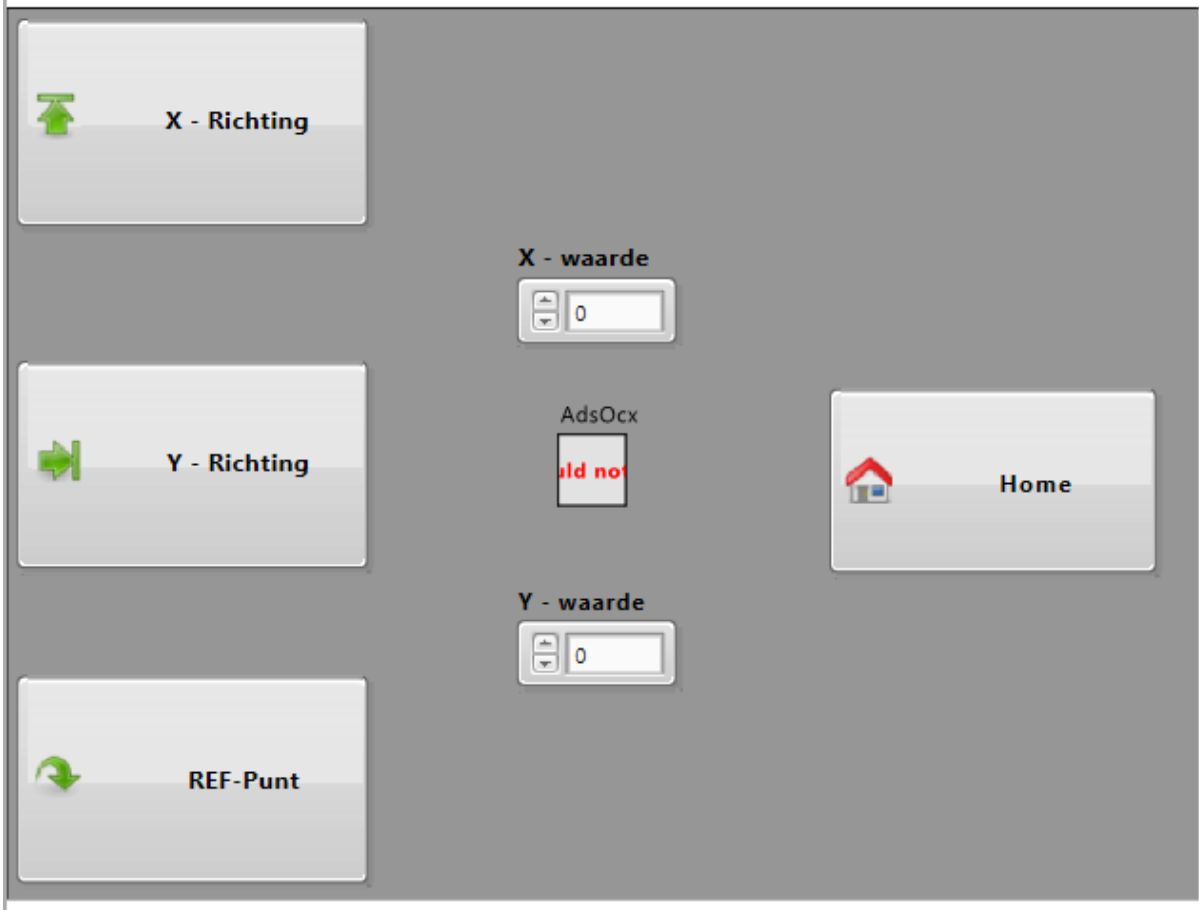
Bijlage E: Voorbeeld rapport

## A. LabVIEW

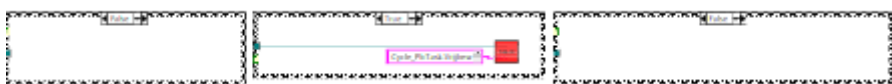
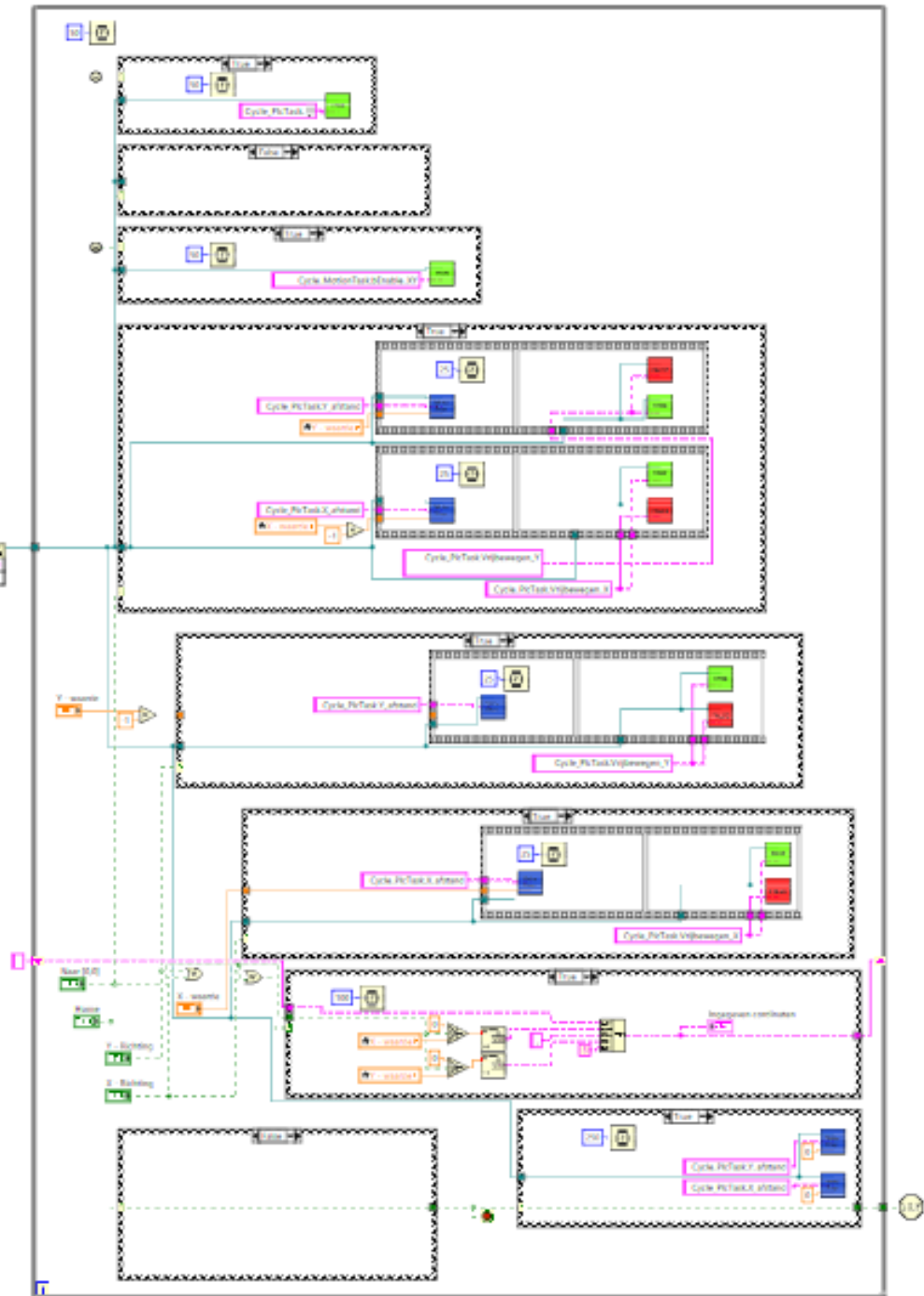
### VI-vrijbewegen.vi



Front Panel



# Block Diagram



## VI-Scannen.vi



### Front Panel

**Intensiteit 2**

Y-lengte

X-lengte

aanwijzing

File path of populated Word document  
C:\WORD\_LV\My\_Imported\_Info.doc

opmerkingen

ID: Robert      Name: Robert

Geschatten tijd  
00:00:00.000  
DD/MM/YYYY

Start      Stop

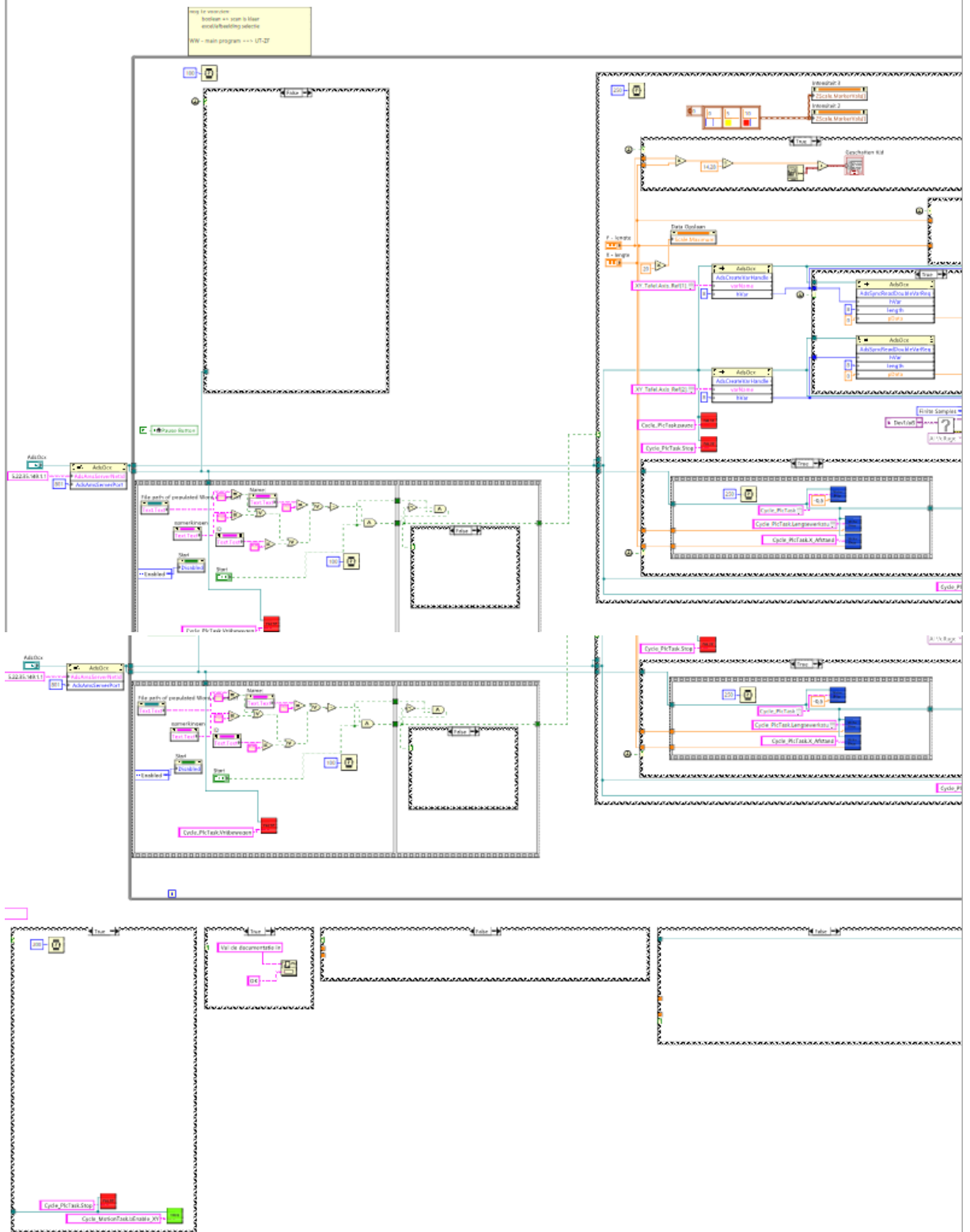
Pauze      Home

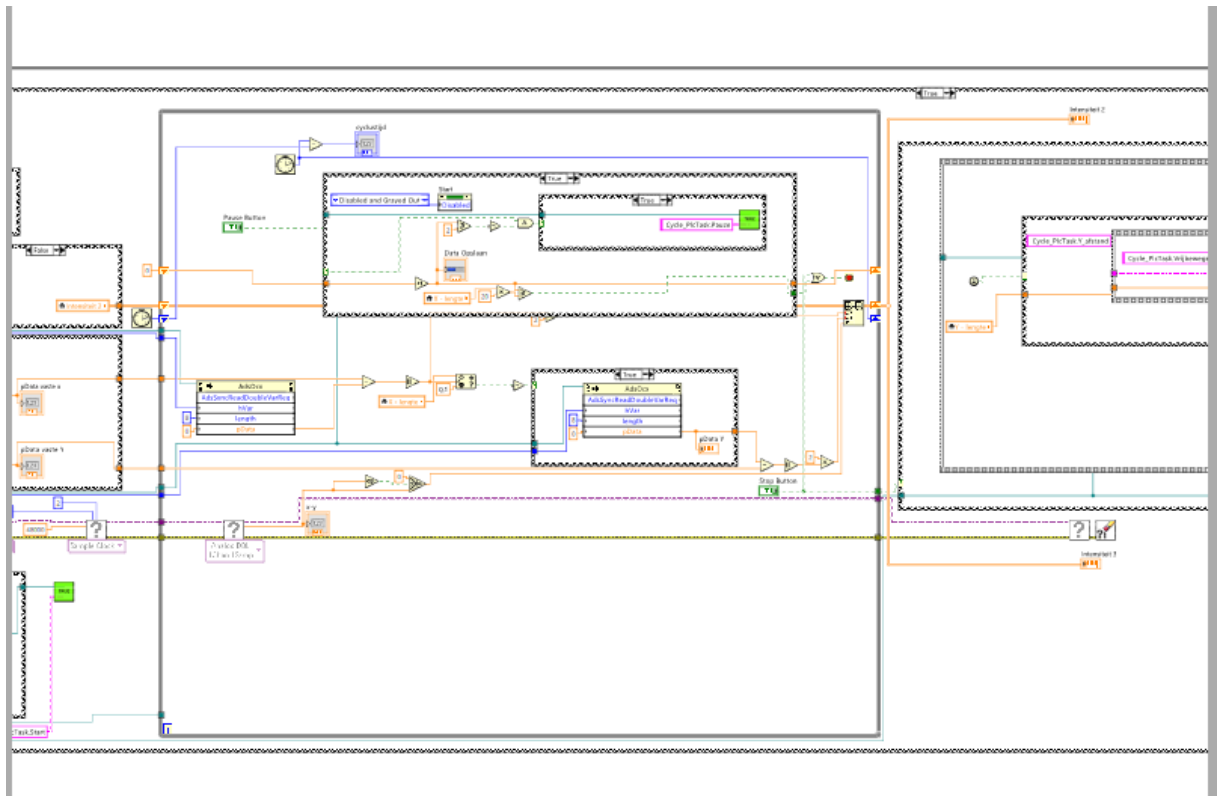
Y - lengte: 0

X - lengte: 0

Data Opslaan

# Block Diagram



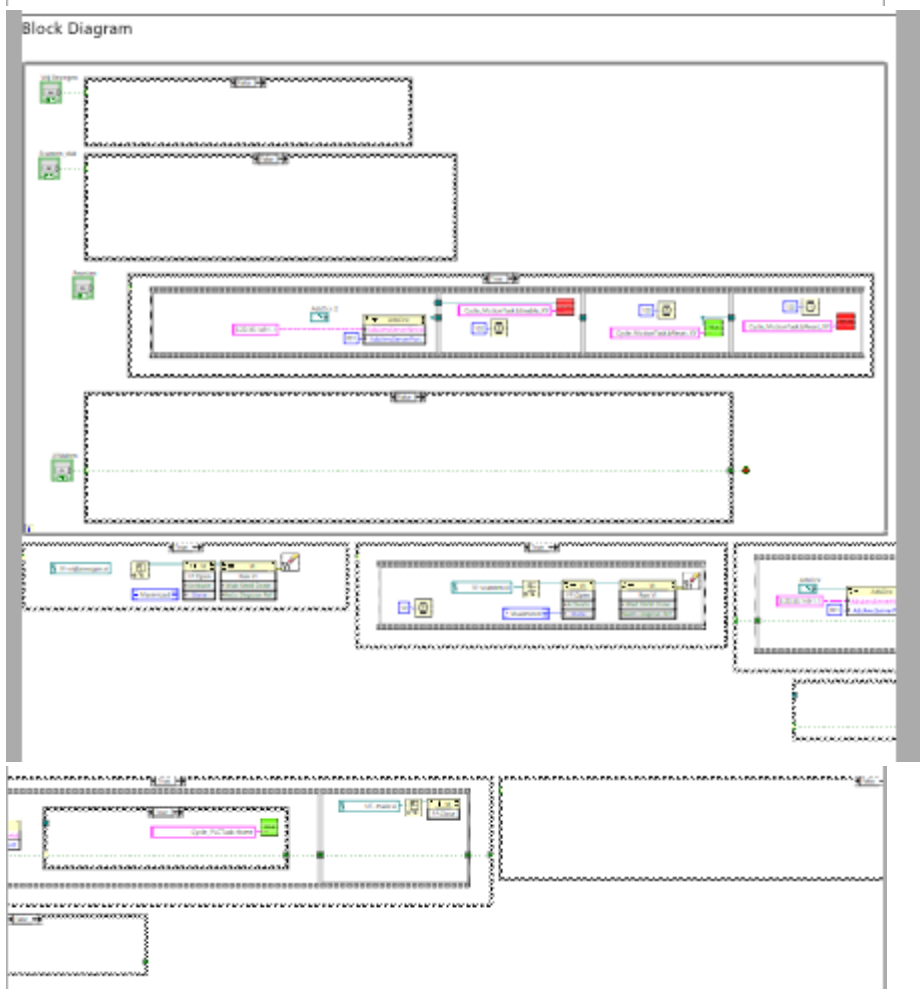



# UT-main.vi

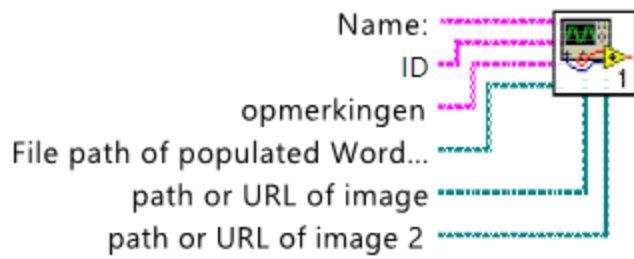



Panel with ZF logo and control buttons:


- Vrij Bewegen
- Scannen vlakke stukken
- Resetten
- Afsluiten



## report maken.vi




path or URL of image  
 

path or URL of image 2  
 

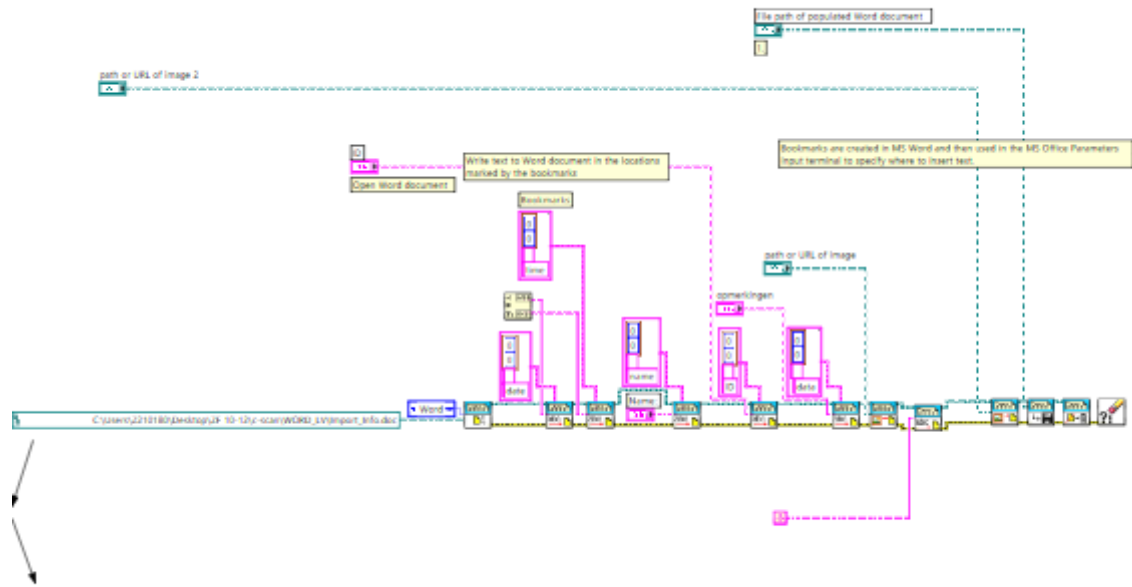
Name:  ID

opmerkingen

File path of populated Word document  
 



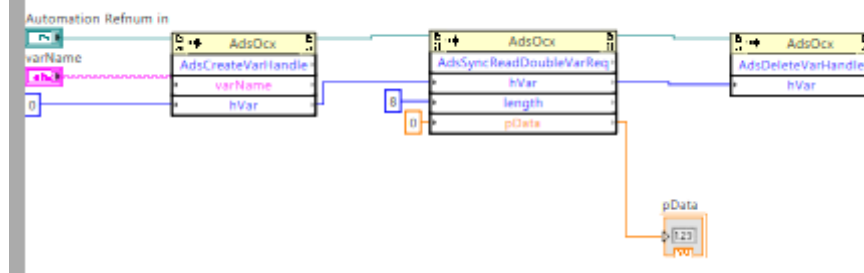
## Block Diagram



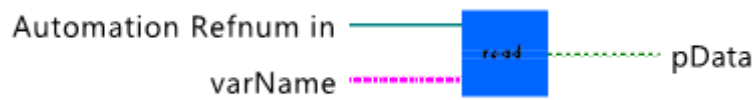
### readdouble.vi



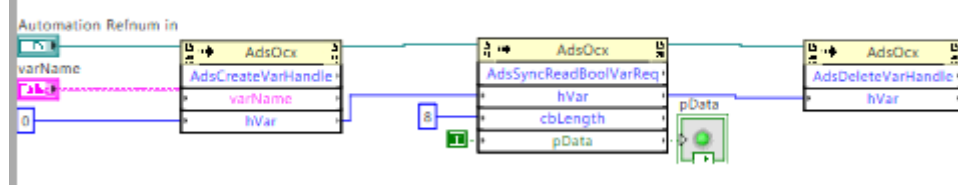
#### Block Diagram



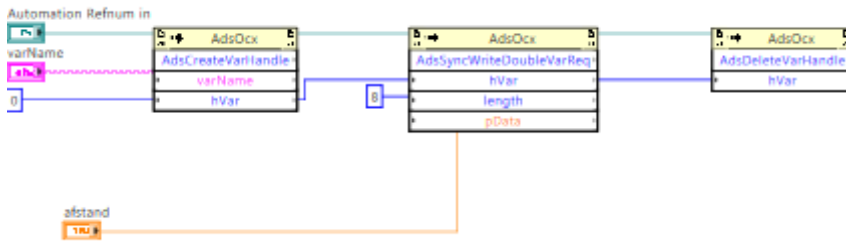
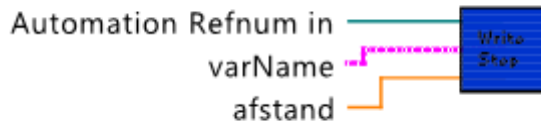
### read.vi



#### Block Diagram



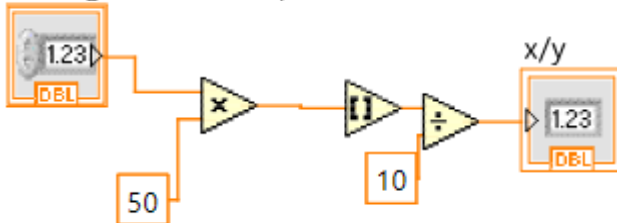
## WriteStep.vi



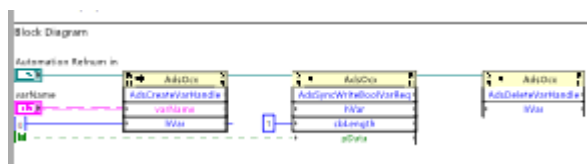
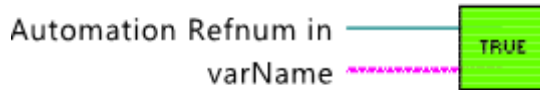
## usip\_mm\_omzetting.vi



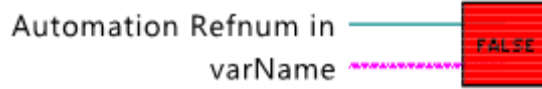
analoge waarde usip



## SetBooleanTRUE.vi

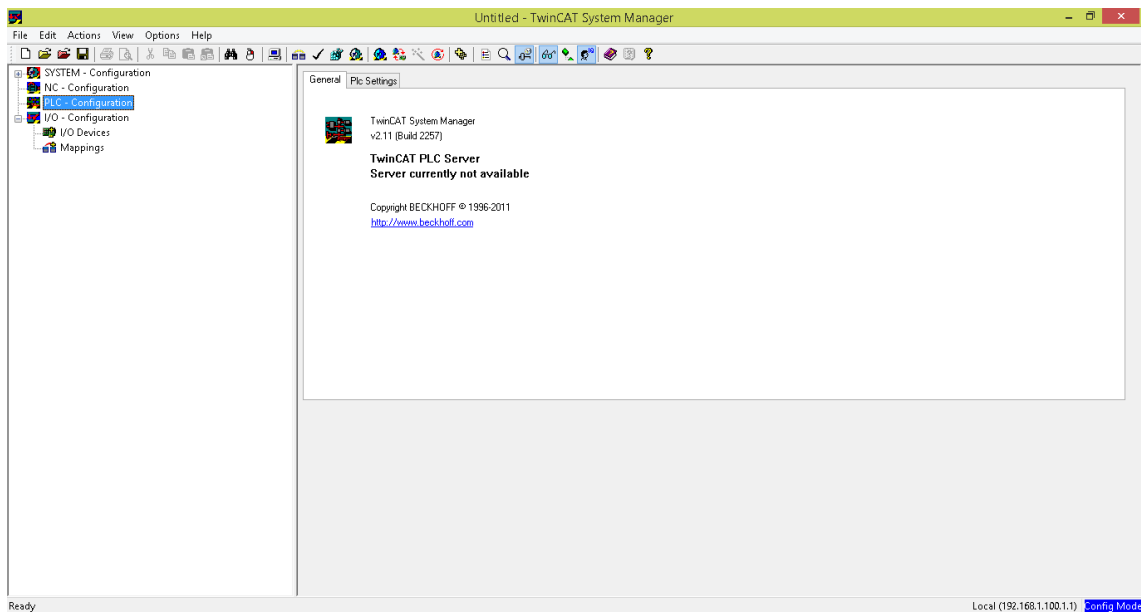


## SetBooleanFALSE.vi

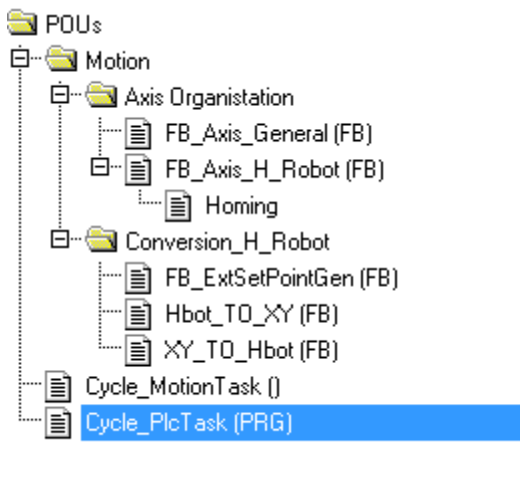




## B.1 System Manager



## B.2 PLC Control



```

0001 PROGRAM Cycle_PlcTask      (* Hoofdprogramma, hier wordt keuze gemaakt welke actie men wil uitvoeren *)
0002 VAR
0003     bStart_Plotdata: BOOL;
0004     bReset_Plotdata: BOOL;
0005     CycleTime_Main : DWORD;
0006     bPlotterOn: BOOL;
0007     MC_MoveAbsolute_X: MC_MoveAbsolute;
0008     start: BOOL;
0009 END_VAR
0001 (* Main Programma: Algemene sturing van de machine *)
0002 (* Cyclustijd : 10ms *)
0003
0004 MC_MoveAbsolute_X(
0005     Execute:= start,
0006     Position:= 100,
0007     Velocity:= 10,
0008     Axis:= XY_Tafel.Axis_Ref[1],
0009 );

```

```

0001 PROGRAM Cycle_MotionTask    (* Oproep van programma's die snel moeten worden uitgevoerd *)
0002 VAR
0003     bEnable_XY           : BOOL;
0004     bReset_XY            : BOOL;
0005     bError_XY            : BOOL;
0006     bHome_XY             : BOOL;
0007     bHoming_OK_XY       : BOOL;
0008
0009     bEnable_Z            : BOOL;
0010     bReset_Z             : BOOL;
0011     bError_Z             : BOOL;
0012
0013 END_VAR
0001
0002 XY_Tafel(
0003     bEnable      := bEnable_XY ,
0004     bReset       := bReset_XY,
0005     bHome        := bHome_XY,
0006     rHomePos_X   := -5,
0007     rHomePos_Y   := 0,
0008     bError       => bError_XY,
0009     bHoming_OK   => bHoming_OK_XY
0010 );
0011
0012 Axis_Z(
0013     bEnable:= bEnable_Z ,
0014     bReset := bReset_Z,
0015     bError =>bError_Z
0016 );
0017
0018

```

0001	FUNCTION_BLOCK XY_TO_Hbot	0001	FUNCTION_BLOCK Hbot_TO_XY
0002	VAR_INPUT	0002	VAR_INPUT
0003	X : LREAL;	0003	M1: LREAL;
0004	Y : LREAL;	0004	M2: LREAL;
0005	END_VAR	0005	END_VAR
0006	VAR_OUTPUT	0006	VAR_OUTPUT
0007	M1: LREAL;	0007	X : LREAL;
0008	M2: LREAL;	0008	Y : LREAL;
0009	END_VAR	0009	END_VAR
0010	VAR	0010	VAR
0011	END_VAR	0011	END_VAR
0001	M1:=-X+Y;	0001	X := -(M1+M2)/2;
0002	M2:=Y-X;	0002	Y := (M2-M1)/2;
0003			
0004			

```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_ExtSetPointGen
0002 VAR_INPUT
0003   Set_Position   : LREAL;
0004 END_VAR
0005 VAR_OUTPUT
0006   Set_Velocity   : LREAL;
0007   Set_Acceleration: LREAL;
0008 END_VAR
0009 VAR
0010   Prev_Position : LREAL;
0011   Prev_Velocity : LREAL;
0012 END_VAR
0001 Cycle_Time_Motion := SystemTaskInfoArr[2].cycleTime;
0002 Set_Velocity       := (Set_Position - Prev_Position) / (Cycle_Time_Motion/10000000.0) ;
0003 Set_Acceleration   := (Set_Velocity - Prev_Velocity) / (Cycle_Time_Motion/10000000.0) ;
0004
0005 Prev_Position := Set_Position;
0006 Prev_Velocity := Set_Velocity;

```

```

0039 ADS_Write_Bias.LEN      := SIZEOF(rPos_Bias_M2);
0040 ADS_Write_Bias.SRCADDR := ADR(rPos_Bias_M2);
0041 ADS_Write_Bias.WRITE   := TRUE;
0042 Step_Homing := 31;
0043 31: ADS_Write_Bias.WRITE := FALSE;
0044 IF NOT ADS_Write_Bias.BUSY AND NOT ADS_Write_Bias.ERR THEN
0045     Step_Homing:=40;
0046 END_IF
0047 IF ADS_Write_Bias.ERR THEN
0048     Step_Homing:=99;
0049 END_IF
0050
0051 40: (* Einde Homing *)
0052     bHoming_OK := TRUE;
0053
0054 99: (* Error *)
0055     bError:=TRUE;
0056     IF bReset THEN
0057         Step_Homing:=0;
0058     END_IF
0059
0060 END_CASE
0061
0062 ADS_Write_Bias(
0063     NETID      := ",
0064     PORT       := 501,
0065     TMOUT      := T#2s,

```

---



```

0001
0002 CASE Step_Homing OF
0003
0004 0: (* Initialisatie *);
0005     ADS_Write_Bias.WRITE := FALSE;
0006     IF bHome THEN
0007         Step_Homing:=10;
0008     END_IF;
0009
0010 10: (* Bereken Position Bias M1 en M2 *)
0011     bHoming_OK := FALSE;
0012     Home_Pos_To_Hbot(
0013         X:= rHomePos_X ,
0014         Y:= rHomePos_Y,
0015     );
0016
0017     rPos_Bias_M1 := Home_Pos_To_Hbot.M1 - Axis_Ref[Axis_M1].NcToPlc.ActPos ;
0018     rPos_Bias_M2 := Home_Pos_To_Hbot.M2 - Axis_Ref[Axis_M2].NcToPlc.ActPos ;
0019     Step_Homing:=20;
0020
0021 20: (* Wijzig Position Bias M1*)
0022     ADS_Write_Bias.IDXGRP := 16#5000 + Axis_Ref[Axis_M1].NcToPlc.AxisId ;
0023     ADS_Write_Bias.IDXOFFS := 16#0007;
0024     ADS_Write_Bias.LEN := SIZEOF(rPos_Bias_M1);
0025     ADS_Write_Bias.SRCADDR := ADR(rPos_Bias_M1);
0026     ADS_Write_Bias.WRITE := TRUE;
0027     Step_Homing := 21;
0028 21: ADS_Write_Bias.WRITE := FALSE;
0029     IF NOT ADS_Write_Bias.BUSY AND NOT ADS_Write_Bias.ERR THEN
0030         Step_Homing:=30;
0031     END_IF
0032     IF ADS_Write_Bias.ERR THEN
0033         Step_Homing:=99;
0034     END_IF
0035
0036 30: (* Wijzig Position Bias M2*)
0037     ADS_Write_Bias.IDXGRP := 16#5000 + Axis_Ref[Axis_M2].NcToPlc.AxisId ;
0038     ADS_Write_Bias.IDXOFFS := 16#0007;
0039     ADS_Write_Bias.LEN := SIZEOF(rPos_Bias_M2);
0040     ADS_Write_Bias.SRCADDR := ADR(rPos_Bias_M2);
0041     ADS_Write_Bias.WRITE := TRUE;
0042     Step_Homing := 31;
0043 31: ADS_Write_Bias.WRITE := FALSE;
0044     IF NOT ADS_Write_Bias.BUSY AND NOT ADS_Write_Bias.ERR THEN
0045         Step_Homing:=40;

```

```

0076|END_FOR
0077|
0078|IF bError THEN
0079|    bEnable:= FALSE;
0080|END_IF
0081|
0082|(* Enable all axis H-Robot 1 *)
0083|FOR i := 1 TO 4 DO
0084|    FB_Enable[i](
0085|        Enable           := bEnable,
0086|        Enable_Positive  := bEnable,
0087|        Enable_Negative  := bEnable,
0088|        Override         := 100,
0089|        Axis              := Axis_Ref[i],
0090|    );
0091|END_FOR
0092|
0093|(* Reset All Axis H-Robot 1 *)
0094|IF bReset THEN
0095|    bError := FALSE;

```

---

```

0096|END_IF
0097|
0098|FOR i := 1 TO 4 DO
0099|    FB_Reset[i](
0100|        Execute         := bReset AND Axis_Ref[i].Status.Error,
0101|        Axis             := Axis_Ref[i],
0102|    );
0103|END_FOR
0104|
0105|
0106|(* Homing XY-tafel *)
0107|FB_Axis_H_Robot.Homing;

```

---

```

0031     M1 := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1].NcToPlc.ActPos,
0032     M2 := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2].NcToPlc.ActPos,
0033 );
0034 MC_SetPosition_X(
0035     Execute := NOT MC_SetPosition_X.Busy AND NOT MC_SetPosition_X.Execute,
0036     Position:= Convert_To_XY.X,
0037     Axis := Axis_Ref[Axis_X],
0038 );
0039 MC_SetPosition_Y(
0040     Execute := NOT MC_SetPosition_Y.Busy AND NOT MC_SetPosition_Y.Execute,
0041     Position:= Convert_To_XY.Y,
0042     Axis := Axis_Ref[Axis_Y],
0043 );
0044 END_IF
0045
0046 FB_ExtSetPointGen_M1(
0047     Set_Position := Convert_To_Hbot.M1,
0048 );
0049
0050 FB_ExtSetPointGen_M2(
0051     Set_Position := Convert_To_Hbot.M2,
0052 );
0053
0054 MC_ExtSetPointGenFeed(
0055     FB_ExtSetPointGen_M1.Set_Position,
0056     FB_ExtSetPointGen_M1.Set_Velocity,
0057     FB_ExtSetPointGen_M1.Set_Acceleration,
0058     1,
0059     XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1]
0060 );
0061
0062 MC_ExtSetPointGenFeed(
0063     FB_ExtSetPointGen_M2.Set_Position,
0064     FB_ExtSetPointGen_M2.Set_Velocity,
0065     FB_ExtSetPointGen_M2.Set_Acceleration,
0066     1,
0067     XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2]
0068 );
0069
0070 (* Error Controle *)
0071 FOR i := 1 TO 4 DO
0072     Axis_Ref[i].ReadStatus;
0073     IF Axis_Ref[i].Status.Error OR Axis_Ref[i].Status.DriveDeviceError THEN
0074         bError := TRUE;
0075     END_IF;
0076 END FOR

```

---

```

0001
0002 (*Enable Ext Setpoint Generator *)
0003 MC_ExtSetPointGenEnable_M1(
0004     Execute    := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1].NcToPlc.StateDWord.0 ,
0005     Axis       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1],
0006 );
0007
0008 MC_ExtSetPointGenDisable_M1(
0009     Execute    := NOT XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1].NcToPlc.StateDWord.0 ,
0010     Axis       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1],
0011 );
0012
0013 MC_ExtSetPointGenEnable_M2(
0014     Execute    := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2].NcToPlc.StateDWord.0 ,
0015     Axis       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2],
0016 );
0017
0018 MC_ExtSetPointGenDisable_M2(
0019     Execute    := NOT XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2].NcToPlc.StateDWord.0 ,
0020     Axis       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2],
0021 );
0022
0023 (*Calculate Ext Setpoint *)
0024 IF bEnable THEN
0025     Convert_To_Hbot(
0026         X       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_X].NcToPlc.ActPos,
0027         Y       := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_Y].NcToPlc.ActPos,
0028     );
0029 ELSE
0030     Convert_To_XY(

```

---

```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_Axis_H_Robot
0002 VAR_INPUT
0003     bEnable      : BOOL;
0004     bReset       : BOOL;
0005     bHome        : BOOL;
0006     rHomePos_X  : LREAL;
0007     rHomePos_Y  : LREAL;
0008 END_VAR
0009 VAR_OUTPUT
0010     bError       : BOOL;
0011     bHoming_OK  : BOOL;
0012 END_VAR
0013 VAR
0014     Axis_Ref     : ARRAY [1..4] OF Axis_Ref;
0015     FB_Enable    : ARRAY [1..4] OF MC_Power;
0016     FB_Reset     : ARRAY [1..4] OF MC_Reset;
0017
0018     i            : INT;
0019     MC_ExtSetPointGenEnable_M1 : MC_ExtSetPointGenEnable;
0020     MC_ExtSetPointGenEnable_M2 : MC_ExtSetPointGenEnable;
0021     MC_ExtSetPointGenDisable_M1 : MC_ExtSetPointGenDisable;
0022     MC_ExtSetPointGendisable_M2 : MC_ExtSetPointGenDisable;
0023     FB_ExtSetPointGen_M1      : FB_ExtSetPointGen;
0024     FB_ExtSetPointGen_M2     : FB_ExtSetPointGen;
0025     Convert_To_Hbot          : XY_TO_Hbot;
0026     Convert_To_XY            : Hbot_TO_XY;
0027     MC_SetPosition_X        : MC_SetPosition;
0028     MC_SetPosition_Y       : MC_SetPosition;
0029
0030     Step_Homing             : INT;
0031     Home_Pos_To_Hbot       : XY_TO_Hbot;
0032     rPos_Bias_M1           : LREAL;
0033     rPos_Bias_M2           : LREAL;
0034     ADS_Write_Bias: ADSWRITE;
0035 END_VAR

```

---

```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_Axis_General
0002 VAR_INPUT
0003     bEnable      : BOOL;
0004     bReset       : BOOL;
0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
0007     bError       : BOOL;
0008 END_VAR
0009 VAR
0010     Axis_Ref     : Axis_Ref;
0011     FB_Enable    : MC_Power;
0012     FB_Reset     : MC_Reset;
0013 END_VAR
0001 (* Error Controle *)
0002 IF Axis_Ref.Status.Error THEN
0003     bError := TRUE;
0004     bEnable:= FALSE;
0005 END_IF;
0006
0007 (* Enable axis *)
0008 FB_Enable(
0009     Enable      := bEnable,
0010     Enable_Positive := bEnable,
0011     Enable_Negative := bEnable,
0012     Override    := 100,
0013     Axis        := Axis_Ref,
0014 );
0015
0016 (* Read Status *)
0017 Axis_Ref.ReadStatus;
0018
0019 (* Reset Axis *)
0020 IF bReset THEN
0021     bError := FALSE;
0022 END_IF
0023
0024 FB_Reset(
0025     Execute     := bReset AND Axis_Ref.Status.Error,
0026     Axis        := Axis_Ref,
0027 );
0028
0029
0030
0031

```

```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_Axis_General
0002 VAR_INPUT
0003     bEnable      : BOOL;
0004     bReset       : BOOL;
0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
0007     bError       : BOOL;
0008 END_VAR
0009 VAR
0010     Axis_Ref     : Axis_Ref;
0011     FB_Enable    : MC_Power;
0012     FB_Reset     : MC_Reset;
0013 END_VAR
0001 (* Error Controle *)
0002 IF Axis_Ref.Status.Error THEN
0003     bError := TRUE;
0004     bEnable:= FALSE;
0005 END_IF;
0006
0007 (* Enable axis *)
0008 FB_Enable(
0009     Enable      := bEnable,
0010     Enable_Positive := bEnable,
0011     Enable_Negative := bEnable,
0012     Override    := 100,
0013     Axis        := Axis_Ref,
0014 );
0015
0016 (* Read Status *)
0017 Axis_Ref.ReadStatus;
0018
0019 (* Reset Axis *)
0020 IF bReset THEN
0021     bError := FALSE;
0022 END_IF
0023
0024 FB_Reset(
0025     Execute     := bReset AND Axis_Ref.Status.Error,
0026     Axis        := Axis_Ref,
0027 );
0028
0029

```

```

0001 PROGRAM Cycle_PlcTask (* Hoofdprogramma, hier wordt keuze gemaakt welke actie men wil uitvoeren *)(* Main Programma: Algemene sturing van de machine *)
0002
0003 VAR
0004 (* Bool*)
0005     Error_X       : BOOL;
0006     Error_Y       : BOOL;
0007     Start         : BOOL;
0008     Stop          : BOOL;
0009     Vrijbewegen   : BOOL;
0010     Vrijbewegen_X: BOOL;
0011     Vrijbewegen_Y: BOOL;
0012     Home         : BOOL;
0013     Relative_X   : BOOL;
0014 (* Int*)
0015     Aantal_Moves : INT;
0016     Counter      : INT;
0017     Step         : INT;
0018 (* Real*)
0019     Stapgrootte  : LREAL := 0.5;
0020     X_Afstand    : LREAL;
0021     X_Velocity   : LREAL := 10;
0022     Lengte_werkstuk : LREAL := 50;
0023     Y_Afstand    : LREAL := -1;
0024     Y_Velocity   : LREAL := 10;
0025     Start_Positie_M1 : LREAL;
0026     Start_Positie_M2 : LREAL;
0027 (* UDINT*)
0028     ErrorID      : UDINT;
0029 (* Power*)
0030     MC_Power_M1 : MC_Power;
0031     MC_Power_M2 : MC_Power;
0032
0033 (* Move*)
0034     MC_MoveRelative_X: MC_MoveRelative;
0035     MC_MoveRelative_Y: MC_MoveRelative;
0036     MC_MoveRelative_Neg_X: MC_MoveRelative;
0037     MC_Setposition_M1: MC_SetPosition;
0038     MC_Setposition_M2: MC_SetPosition;
0039     MC_Reset_M2: MC_Reset;
0040     MC_Reset_M1: MC_Reset;
0041     MC_MoveAbsolute_X: MC_MoveAbsolute;
0042     MC_MoveAbsolute_Y: MC_MoveAbsolute;
0043
0044
0045 END_VAR

```

```

0001 (* Main Programma: Algemene sturing van de machine *)
0002 (* Cyclustijd: 10ms *)
0003 Aantal_Moves:=ABS(LREAL_TO_INT( Lengte_werkstuk/(Stapgrootte*2)));
0004 CASE Step OF
0005 0: (* Init*);
0006
0007     MC_MoveRelative_X.Execute := FALSE;
0008     MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
0009     MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := FALSE;
0010     MC_MoveAbsolute_X.Execute := FALSE;
0011     MC_MoveAbsolute_Y.Execute := FALSE;
0012     Error_X := FALSE;
0013     Error_Y := FALSE;
0014     Counter := 1;
0015     IF Start THEN
0016     Stop := FALSE;
0017     XY_Tafel.bEnable := TRUE;
0018     XY_Tafel.bReset := FALSE;
0019     step:=10;
0020     ELSIF Vrijbewegen THEN
0021     XY_Tafel.bReset := FALSE;
0022     XY_Tafel.bEnable := TRUE;
0023     step:= 60;
0024     ELSIF home THEN
0025     step:= 70;
0026     END_IF
0027 10: (* Beweeg X in positieve richting *)
0028     Start:=FALSE;
0029     MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
0030     MC_MoveRelative_X.Execute := TRUE;

```

```

0031 MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := FALSE;
0032 Relative_X := TRUE;
0033
0034 IF MC_MoveRelative_X.Done THEN
0035 Relative_X := FALSE;
0036 Step := 20;
0037
0038 ELSIF (Error_X OR Error_Y OR Stop) = TRUE THEN
0039 Relative_X := FALSE;
0040 Step := 50;
0041 END_IF
0042
0043 20: (* Beweeg Y *)
0044
0045 MC_MoveRelative_X.Execute := FALSE;
0046 MC_MoveRelative_Y.Execute := TRUE;
0047 MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := FALSE;
0048 IF MC_MoveRelative_Y.Done THEN
0049 Step := 30;
0050 ELSIF (Error_X OR Error_Y) = TRUE THEN
0051 Step := 50;
0052 END_IF
0053
0054 30: (* Beweeg X in negatieve richting *)
0055
0056 MC_MoveRelative_X.Execute := FALSE;
0057 MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
0058 MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := TRUE;
0059 Relative_X := TRUE;
0060 IF MC_MoveRelative_Neg_X.Done THEN
0061 Relative_X := FALSE;
0062 Step := 40;
0063 ELSIF (Error_X OR Error_Y OR Stop) = TRUE THEN
0064 Relative_X := FALSE;

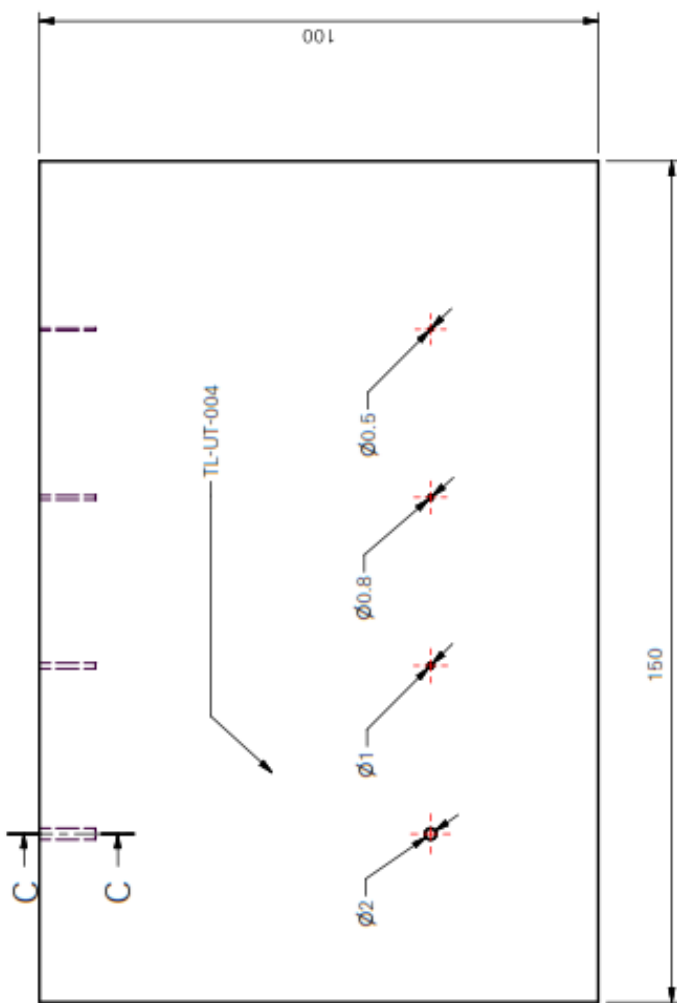
```

```

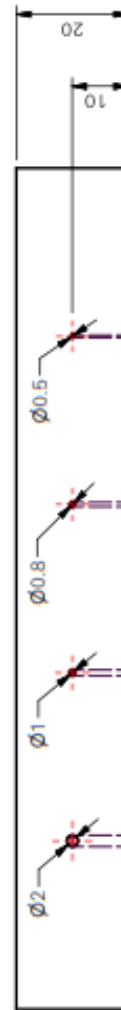
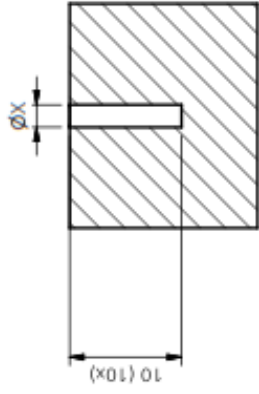
0065 Step := 50;
0066 END_IF
0067 40: (* Beweeg Y *)
0068 MC_MoveRelative_X.Execute := FALSE;
0069 MC_MoveRelative_Y.Execute := TRUE;
0070 MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := FALSE;
0071 IF MC_MoveRelative_Y.Done THEN
0072 IF Counter < Aantal_Moves THEN
0073 Counter := Counter + 1;
0074 Step := 10;
0075 ELSE
0076 Step := 0;
0077 END_IF
0078 ELSIF (Error_X OR Error_Y OR Stop) = TRUE THEN
0079 Step := 50;
0080 END_IF
0081 50: (* Error / Stop *)
0082 MC_MoveRelative_X.Execute := FALSE;
0083 MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
0084 MC_MoveRelative_Neg_X.Execute := FALSE;
0085 Step := 0;
0086 60: (* Vrij bewegen *)
0087 MC_MoveRelative_X.Execute := Vrijbewegen_X;
0088 MC_MoveRelative_Y.Execute := Vrijbewegen_Y;
0089 Vrijbewegen_X := FALSE;
0090 Vrijbewegen_Y := FALSE;
0091 IF Vrijbewegen = FALSE THEN
0092 Step := 0;
0093 END_IF
0094 70: (* Home Positie *)
0095
0096 MC_MoveAbsolute_X.Execute := TRUE;
0097 MC_MoveAbsolute_Y.Execute := TRUE;
0098 END_CASE
0100 MC_MoveRelative_X(
0101 Distance := X_afstand,
0102 Velocity := X_Velocity,
0103 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_X],
0104 Error => Error_X
0105 );
0106 MC_MoveRelative_Y(
0107 Distance := Y_afstand,
0108 Velocity := Y_Velocity,
0109 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_Y],
0110 Error => Error_Y,
0111 );
0112 MC_MoveRelative_Neg_X(
0113 Distance := X_afstand,
0114 Velocity := X_Velocity,
0115 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_X],
0116 Error => Error_X,
0117 );
0118 MC_Setposition_M1(
0119 Position := 0,
0120 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M1], );
0121 MC_SetPosition_M2(
0122 Position := 0,
0123 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_M2], );
0124 MC_MoveAbsolute_X(
0125 Position := -20848.7,
0126 Velocity := 50,
0127 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_X],
0128 );
0129 MC_MoveAbsolute_Y(
0130 Position := -377.5,
0131 Velocity := 50,
0132 Axis := XY_Tafel.Axis_Ref[Axis_Y],

```





C-C (2:1)





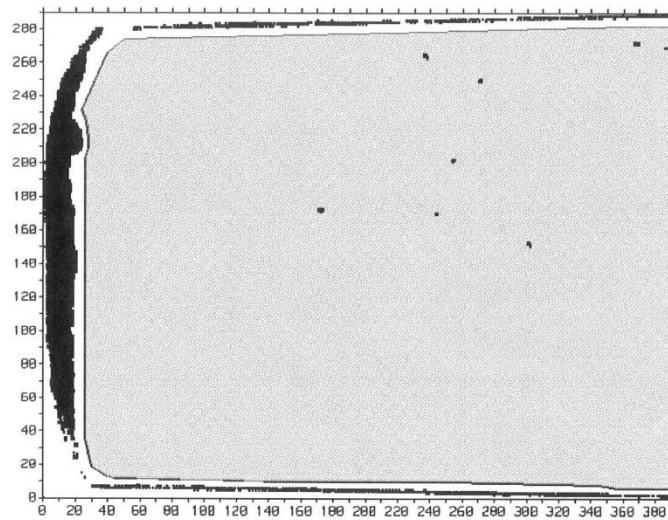
## D: Externe testverslagen

SZMF-EDSZ

17.07.2012 11:55

\*\*\*\* US-Reinheitsgraduntersuchung \*\*\*\*

Versuch Nr.:		Güte:	
Schmelze Nr.:	797	Signier Nr.:	
Schmelzdatum:	20.06.2012	Strangteil:	C
Maßnahme:			
Strang - Dm.:		Auswalzung:	x
Dateiname:	797CM1		



Abmessung : 393 x 290 x 11.4 mmPixel - Grafik X/Y - Maß 1 / 1  
Quantit. Schwellenbewertung Schwelle 15 %, Tiefen  $\theta$  - 11.4 mm

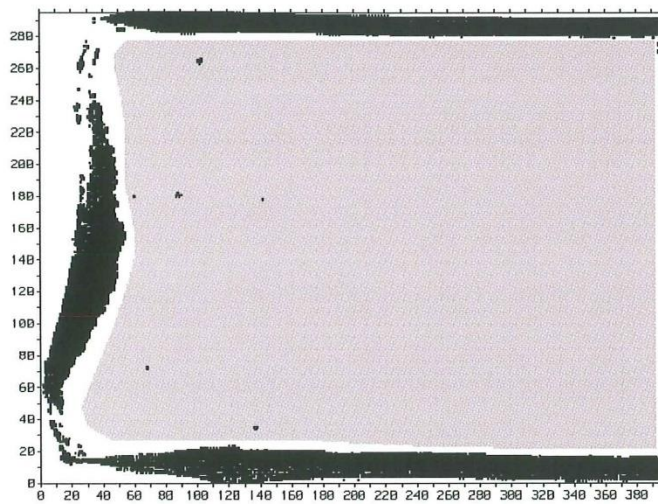
Bewertete Fläche:	976.58 cm <sup>2</sup>	Bewertetes Volumen:	1113.3 cm <sup>3</sup>
Fehlerdichte:	7.2 Fehler / dm <sup>3</sup>	mittlere Fehlergröße:	3.75 mm <sup>2</sup>
<b>Fehlerzahl:</b>	<b>8</b>	<b>Anzeigenfläche:</b>	<b>30 mm<sup>2</sup> (.031%)</b>
Fehlerklasse:	1	Spurabstand:	1 mm

SZMF-EDSZ

08.08.2014 12:38

\*\*\*\* US-Reinheitsgraduntersuchung \*\*\*\*

Versuch Nr.: Güte:  
Schmelze Nr.: 140 Signier Nr.:  
Schmelzdatum: 10.07.2014 Strangteil: 131B  
Maßnahme:  
Strang - Dm.: Auswalzung: x  
Dateiname: 140131B



Abm. : 396 × 295 × 10.9 mm Pixel - Grafik X/Y - Maß 1 / 1  
Quantit. Schwellenbewertung Schwelle 15 %, Tiefen  $\emptyset$  - 10.9 mm

Bewertete Fläche:	870.47 cm <sup>2</sup>	Bewertetes Volumen:	948.81 cm <sup>3</sup>
Fehlerdichte:	6.3 Fehler / dm <sup>3</sup>	mittlere Fehlergröße:	4 mm <sup>2</sup>
<b>Fehlerzahl:</b>	<b>6</b>	<b>Anzeigenfläche:</b>	<b>24 mm<sup>2</sup> (.028%)</b>
Fehlerklasse:	1	Spurabstand:	1 mm

## Bijlage E: Voorbeeld rapport

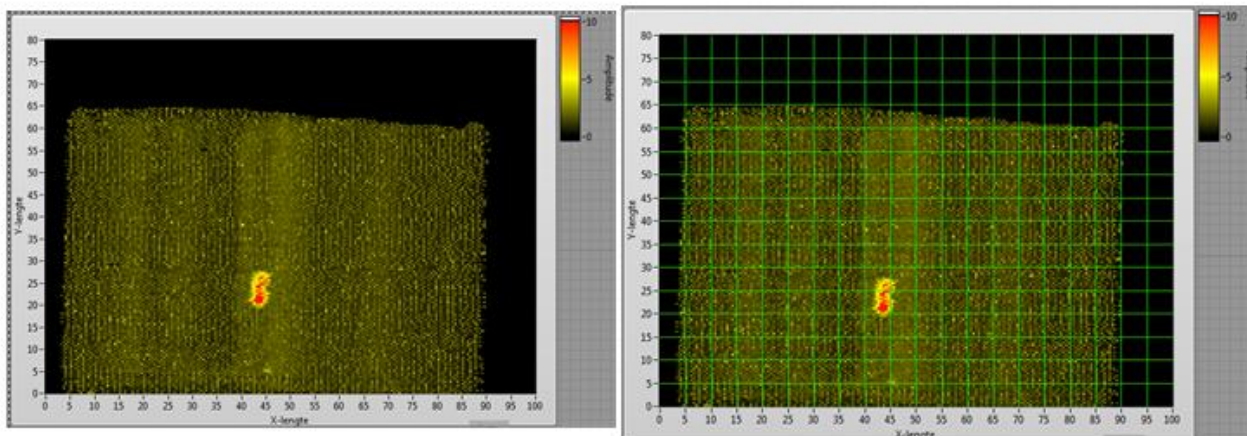
Date: 10/12/2014

Time: 10:08

Name	ID
Labo L&R	LM0051

Beschrijving  
Planet Wheel Atlas  
Kerfslagproef

Visualisatie van het geteste werkstuk



ImageJ

	Area	Mean	Min	Max	XM	YM
1	17.810	253.165	0	255	44.223	56.359

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Detectie van insluitsels in staal met behulp van ultrasone C-scans**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-automatisering**  
Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Antonissen, Lars**

**Delvax, Riccardo**

Datum: **16/01/2015**