

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

## Masterproef

Uitbreiden van een ultrasone meetopstelling voor beeldvorming van lagerschade

Promotor :  
ing. Geert LEEN

Promotor :  
ir. JAN SCHAMP

Sean Kuypers , Pieter Panis

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Uitbreiden van een ultrasone meetopstelling voor  
beeldvorming van lagerschade

Promotor :  
ing. Geert LEEN

Promotor :  
ir. JAN SCHAMP

Sean Kuypers , Pieter Panis

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: elektromechanica*

## Woord vooraf

Deze masterproef vond plaats bij ZF Wind Power in Lommel waar tandwielkasten voor windmolens gemaakt worden.

De titel van deze masterproef luidt als volgt:

‘Uitbreiden van ultrasoon toestel voor beeldvorming van lagerschade.’

De opdracht bestond eruit een oorspronkelijke ultrasoon toestel uit te breiden zodat er ook cilinders en lagerschalen mee gemeten kunnen worden. De proef omvat zowel mechanische ontwerp, programmatie als metallurgisch onderzoek.

Deze masterproef sprak ons aan omdat we door onderzoek te doen binnen ZF mee kunnen helpen bij de ontwikkeling van tandwielkasten van windmolens. En zo hopen we ook dat ons onderzoek bij kan dragen aan het verbeteren van deze hernieuwbare energiebron.

Als eerste gaat onze dank uit naar onze externe promotor binnen ZF namelijk ir. Jan Schamp. Zijn kennis en inzicht in de materie heeft ons zeer veel geholpen. Ook onze interne promotor, ing. Geert Leen, willen we bedanken voor de goede opvolging van ons project.

Verder willen we alle medewerkers van het labo van ZF, Kurt Engelen en David Chiaradia bedanken. Zij waren altijd bereid om ons te helpen en mee te denken met ons project.

Ook willen we nog volgende personen bedanken: Koen Kerhofs van Beckhoff Support voor de ondersteuning die we van hem kregen tijdens de programmatie, Thomas Schwabe van Rohmann voor de info en tips over het wervelstroomtoestel en Tom Pareyn van Vansichen voor het meedenken aan de mechanische uitbreiding.

Ten slotte willen we ook iedereen bedanken die onze scriptie heeft nagelezen en ons zo geholpen hebben met het succesvol afronden van onze masterproef.

Lommel, 1 Juni 2015  
Sean Kuypers en Pieter Panis



# Inhoudstabel

Lijst van tabellen .....	5
Lijst van figuren .....	7
Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen .....	9
Abstract .....	11
Abstract in English.....	13
1 Inleiding .....	15
1.1 Situering .....	15
1.2 Probleemstelling.....	15
1.3 Doelstellingen .....	15
1.4 Materiaal en methode.....	16
2 Literatuurstudie .....	17
2.1 WEC.....	17
2.2 Ultrasoonmeting.....	19
2.2.1 Werking van ultrasoonmeting .....	19
2.2.2 Afstand van de sensor tot het werkstuk.....	19
2.2.3 Keuze van de sensor .....	21
2.2.4 Positie sensor ten opzichte van werkstuk .....	22
2.2.5 Type van de mapping .....	22
2.3 Wervelstroomonderzoek .....	26
2.3.1 Algemeen .....	26
2.3.2 Probes.....	27
2.3.3 Doordringdiepte .....	27
3 Mechanische uitbreiding .....	29
3.1 Situatie bij aanvang .....	29
3.2 Eisenpakket .....	29
3.3 Concept .....	29
3.4 Resultaat.....	31
3.4.1 Algemeen .....	31
3.4.2 Beugel .....	32
3.4.3 Draaitafel.....	32

3.4.4	Lager .....	32
3.4.5	Basismontage .....	33
3.4.6	Tandriem .....	33
4	Elektrisch ontwerp.....	35
4.1	Uitbreidingen.....	35
4.2	CE-keuring .....	35
5	Programmeren .....	37
5.1	Inleiding .....	37
5.2	Twincat.....	38
5.2.1	Programma lagers.....	38
5.2.2	Programma assen.....	38
5.3	Labview .....	38
6	Metingen .....	43
6.1	Ultrasoonmetingen .....	43
6.1.1	Belangrijke parameters bij UT-metingen .....	43
6.1.2	Kalibratie methode .....	48
6.1.3	Resultaat UT-meting oppervlakte schade.....	49
6.1.4	Resultaat UT-meting voor WEC detectie.....	51
6.2	Wervelstroommetingen .....	56
6.2.1	Aanwezige toestel + probes.....	56
6.2.2	Meetresultaten .....	57
6.3	Vergelijken van ultrasoon- en wervelstroommeting .....	58
7	Conclusie.....	59
8	Bibliografie .....	61
9	Bijlagen .....	63

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Oorzaken van WEC volgens verschillende bedrijven [3] .....	18
Tabel 2: Verschil 10 en 25 MHz sensor .....	21
Tabel 3: Lijst van te meten lagers + gat van inklemming op de draaitafel .....	32





## Lijst van figuren

Figuur 1: WEC netwerken.....	17
Figuur 2: Oppervlaktebeschadiging ten gevolge van WEC .....	17
Figuur 3: Oorzaak van WEC volgens NSK .....	18
Figuur 4: Ultrasoonmeting .....	19
Figuur 5: Gefocuseerde UT-sensor [7].....	19
Figuur 6: Verschil intensiteit, signaal-ruisverhouding en subsurface resolutie tussen gefocuste en niet-gefocuste sensoren [7].....	20
Figuur 7: Focuspunt in werkstuk [19] .....	20
Figuur 8: A-scan bij immersie UT met 10 MHz probe .....	21
Figuur 9: Oppervlaktereflectie bij 10 MHz en 25 MHz.....	22
Figuur 10: Fout gezocht over heel het werkstuk .....	23
Figuur 11: Onderzoek naar WEC.....	23
Figuur 12: Backwall echo methode.....	24
Figuur 13: TOF-methode, fout bevindt zich op 12 mm .....	24
Figuur 14: Verschuiving meetgebied door lager met variabele dikte .....	25
Figuur 15: Instellingen b-gate; links: dunste deel, rechts: dikste deel van de lager .....	25
Figuur 16: Fout gevonden net voor de backwall.....	25
Figuur 17: Principe wervelstroommeting [9] .....	26
Figuur 18: Meetrichting differentiaal probe.....	27
Figuur 19: Doordringdiepte [11] .....	27
Figuur 20: Doordringdiepte i.f.v. frequentie van enkele basis materialen [11].....	28
Figuur 21: Sensorhouder .....	30
Figuur 22: Concepten.....	31
Figuur 23: Opspannen van de riem .....	33
Figuur 25: UT-toestel met draaitafel voor lagers .....	34
Figuur 24: UT-toestel in labo ZF .....	34
Figuur 26: UT-toestel voor vlakke stukken .....	34
Figuur 27: UT-toestel voor cilinders.....	34
Figuur 28: Elektrisch schema [13] .....	36
Figuur 29: Integratie van de verschillende systemen .....	37
Figuur 30: Labview startscherm.....	39
Figuur 31: Algemene indeling van scannen Labviewprogramma's .....	40
Figuur 32: Scannen assen Labviewprogramma.....	41
Figuur 33: Scannen lager Labviewprogramma .....	41
Figuur 34: Vrijbewegen Labviewprogramma .....	42
Figuur 35: Backwall met ghostreflectie .....	44
Figuur 36: Reflectie bij de Backwall (Van links naar rechts: tegen, 0.5 mm achter en 1 mm achter de BW) .....	44
Figuur 37: Versterking (links: 75 dB, rechts: 80 dB).....	45
Figuur 38: Ruis voor en na aarding van het frame bij de 25 MHz sensor .....	45
Figuur 39: Het te meten gebied (B-gate).....	46
Figuur 40: B-gate tegen de BW.....	46
Figuur 41: DAC-curve .....	47
Figuur 42: UT resultaat + foutennummering .....	49
Figuur 43: 1ste meting 25MHz-75dB .....	51
Figuur 44: Meting met nodige parameters .....	51

Figuur 45: Meting voor uitsnijding .....	52
Figuur 46: Mapping met wegfiltering ruis onder 13% + Zoom .....	52
Figuur 47: A-scan van WEC op de USIP 40 (links BW, rechts over de fout) .....	53
Figuur 48: Microscopische bevestiging van WEC.....	53
Figuur 49: CARB C3052 lager.....	54
Figuur 50: Lager is licht hol.....	54
Figuur 51: Zichtbare oppervlakteschade.....	54
Figuur 52: Bovenste: eigen mapping; Onderste: externe mapping door Vogt.....	55
Figuur 53: ELOTEST M2 V3 + Probe KAS 61-7 .....	56
Figuur 54: Rohmann potlooddesign.....	56
Figuur 55: Eerste wervelstroommeetresultaten.....	57
Figuur 56: Wervelstroomonderzoek voor WEC detectie .....	58
Figuur 57: Waterkolom bij dit voorbeeld bedraagt 5.29 mm.....	65
Figuur 58: TOF-meting van variabele dikte: dunste deel van de lager .....	65
Figuur 59: TOF-meting van variabele dikte: dikste deel van de lager .....	65
Figuur 60: Fout in werkstuk bij TOF methode.....	68
Figuur 61: Instellingen van Gate Position en Analog Out bij TOF methode.....	68
Figuur 62: Initialisatie scannen lager .....	75
Figuur 63: Uitvoering scannen lagers .....	75
Figuur 64: Initialisatie scannen assen.....	76
Figuur 65: Uitvoeren scannen assen.....	76

## Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen

UT	Ultrasoon
WEC	White Etching Cracks
FW	Frontwall
BW	Backwall
BWE	Backwallecho
TOF	Time Of Flight
EM-ruis	Elektromagnetische ruis



## Abstract

ZF Wind Power in Lommel wordt geconfronteerd met het probleem dat gebruikte lagers oppervlaktebeschadigingen vertonen.

Het doel van deze masterproef is om een bestaand ultrasoon- en wervelstroomtoestel zo aan te passen dat deze in staat is om deze beschadigingen in een vroeg stadium te detecteren, nog voor ze zichtbaar zijn aan het oppervlak. Hierdoor kan ZF de initialisatie van deze beschadigingen beter begrijpen en beschadigde werkstukken sneller opsporen.

Het aanwezige ultrasoontoestel is verder ontwikkeld zodat er vlakke stukken, cilinders en kegelvormige lagerschalen gemeten kunnen worden met behulp van meerdere sensoren.

Om het gebruik te vergemakkelijken is er een gebruiksaanwijzing gemaakt. De nodige documentatie is verzameld en samengevoegd om het toestel van een CE-keuring te voorzien. Daarnaast is het wervelstroomtoestel uitgebreid met drie sensoren om een betere foutendetectie te realiseren.

Met het ultrasoontoestel zijn er meerdere tests op de verschillende lagerschalen uitgevoerd. Door de parameters (frequentie, versterking, waterkolom,...) te optimaliseren is het gelukt om de gezochte fouten in de initialisatiefase (WEC) te detecteren op lagerschalen. Deze detectie is vervolgens met microscopisch onderzoek bevestigd.

Tot slot is het wervelstroomtoestel gekalibreerd met nieuwe sensoren en terug in gebruik genomen. Hiermee is het ook gelukt om WEC-netwerken net onder het oppervlak van een lager te detecteren. Hierdoor kan ZF verder onderzoek met dit toestel uitvoeren.



## **Abstract in English**

ZF Wind Power, based in Lommel, is faced with the problem that used bearings exhibit surface damages.

The aim of this dissertation paper is to adapt an already existing ultrasonic and eddy current device in such a way it is able to detect these damages in an early stage, before they are visible at the surface. This enables ZF to better understand the initialization of the damage and detect damaged parts more quickly.

The existing ultrasonic device is developed further so the flat parts, cylinders and conical bearing shell can be measured with multiple sensors.

To ease the use of the device a user manual is made. The necessary documentation is assembled to acquire a CE-certification. In addition, the eddy current device is expanded with three sensors to realize a better flaw detection.

Several tests are performed with the ultrasonic device on the various bearing shells. By optimizing the parameters (frequency, amplification, water path) we succeeded to detect the flaws being sought for in the initialization phase on the bearing shells. Next, this detection is confirmed with microscopic examination.

Finally, the eddy current device is calibrated to the new sensors and taken back into operation. Herewith we also managed to detect the WEC networks just below the surface. Further research with the eddy current device and the new sensors will take place in a subsequent dissertation paper.





# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

Als laatstejaarsstudenten van de opleiding Industrieel Ingenieur Elektromechanica en Automatisering hebben wij de mogelijkheid om onze masterproef uit te voeren bij het bedrijf ZF Wind Power in Lommel (vroeger Hansen Transmissions International n.v.). ZF is wereldleider in aandrijfsystemen en chassistechologie met 122 vestigingen verspreid over 26 landen. [1] De vestiging in Lommel is gespecialiseerd in de bouw van tandwielkasten voor windmolens. Ze beschikt over een uitgebreide laboafdeling waar allerlei proeven worden gedaan, gaande van mechanische proeven tot analyses van mogelijke smeeroliën. Deze masterproef vindt plaats in de laboafdeling van ZF en onderzoekt WEC-schade in lagerschalen. White etching cracks (WEC) zijn scheurtjes in de microstructuur van het materiaal van de lagers. Als het lager belast wordt, dan kan deze fout uitbreiden waardoor er breuk optreedt.

Deze masterproef is een uitbreiding op twee vorige proeven waar reeds een labo opstelling gerealiseerd is. Deze opstelling kan via ultrasoonmeting de positie en de grootte van fouten in vlakke werkstukken weergeven in een mapping. De uitbreiding zal ervoor zorgen dat het mogelijk is om een mapping te maken van verschillende soorten fouten in zowel lagers als assen.

Een tweede techniek die onderzocht wordt is foutendetectie met een wervelstroomtoestel. Er wordt gekeken of er een vergelijking kan gemaakt worden tussen de ultrasoon- en wervelstroommetingen, en meer specifiek naar WEC-schade in lagers.

## 1.2 Probleemstelling

Een probleem bij de tandwielkasten die ZF Windpower maakt, is dat de lagers die gebruikt worden in de tandwielkasten breken kunnen vertonen. Dit maakt dat het lager vervangen moet worden. De meerderheid van deze breuken zijn te wijten aan het WEC-verschijnsel. Na vele jaren van onderzoek weet men nog altijd niet zeker hoe deze scheurtjes ontstaan. Met de labo opstelling kunnen deze scheurtjes opgespoord worden nog voor ze zichtbaar zijn met het blote oog. Zo kan de initiatie van de schade beter onderzocht en begrepen worden.

Momenteel worden destructieve testen op de lagers uitgevoerd voor WEC- detectie. De lagers worden een beetje op goed geluk doorgesneden en onder een microscoop bekeken. Hierdoor is men nooit zeker of de doorsnede die microscopisch onderzocht wordt fouten bevat.

De huidige opstelling beschikt over een XY H-brug waarmee de plaats en de grootte van de fout gevonden kunnen worden. Dit wordt gedaan met een ultrasoonsensor van 10MHz. De lagerschade die met deze proef gezocht wordt is oppervlakkig en vereist een meer gevoelige sensor, met name een sensor van 25 MHz.

In een aanvullend deel wordt gekeken of wervelstroomtechniek bruikbaar is om WEC-schade in lagers te onderzoeken.

## 1.3 Doelstellingen

Het doel van deze masterproef bestaat eruit de reeds bestaande opstelling verder te ontwikkelen zodat ZF non-destructief testen kan uitvoeren met behulp ultrasoon- en

wervelstroommetingen. Voor de oorspronkelijke opstelling ontbreekt een manier om geautomatiseerd in de hoogte te bewegen, cilindrische lagerschalen rond te draaien en de sensor onder een hoek in te stellen. Deze problemen worden opgelost met de mechanische uitbreidingen. Verder had de oorspronkelijke opstelling nog problemen met resolutie, elektromagnetische ruis en mechanische trillingen die opgelost moesten worden.

Bijkomend aan het ultrasoononderzoek wordt er ook onderzocht of het mogelijk is om verschillende soorten fouten te detecteren met een wervelstroomtoestel. Het voordeel met dit toestel is dat het mogelijk is om door zijn compacte dimensies, buiten de labo opstelling, op een site metingen uit te voeren. Dit deel dient als voorbereiding voor een volgende masterproef.

De concrete doelstellingen van dit project zijn:

- een opstelling realiseren waarmee zowel lagers, assen als platte werkstukken met een ultrasone sensor getest kunnen worden;
- er moeten verschillende ultrasoonsensoren gemonteerd kunnen worden;
- de meting moet verder volledig geautomatiseerd gebeuren en aangevuld worden met 2 extra vrijheidsgraden;
- elimineren van kinderziektes zoals trillingen en EM-ruis;
- uitbreiding van type van de mapping met TOF (dieptebepaling) en BWE (wegvallen van backwallpiek);
- een geschikte wervelstroomsensor vinden voor het WEC-onderzoek op lagerschalen;
- de verkregen mapping van de ultrasoonmeting moet vergeleken kunnen worden met de resultaten van het wervelstroomonderzoek.

#### **1.4 Materiaal en methode**

Eerst wordt het concept voor de nodige mechanische uitbreidingen uitgewerkt. Hierdoor is het mogelijk om assen, lagerschalen en vlakke werkstukken te meten met verschillende soorten sensoren. De nodige software wordt geschreven zodat het gemeten signaal kan worden ingelezen en er een mapping gemaakt kan worden van het oppervlak dat gescand is.

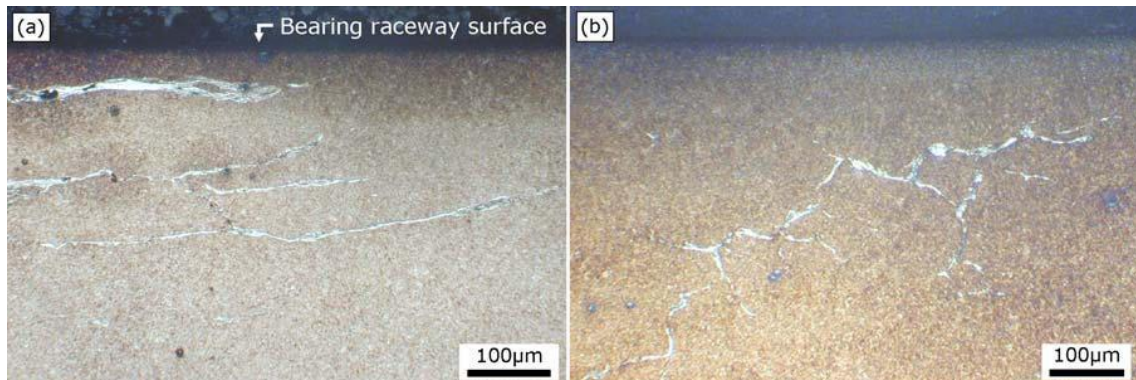
Vervolgens wordt er onderzoek gedaan met welke instellingen op de USIP 40 WEC-schade het best ultrasoon te onderzoeken is. En er zal een proefstuk met een gekende mapping van WEC-fouten getest worden met zowel het ultrasoontoestel als met een toestel dat gebruik maakt van wervelstromen (ELOTEST M2 V3).

Deze testresultaten zullen dan vergeleken worden en hier wordt een finale conclusie uit getrokken voor het uitvoeren van een effectief microscopisch onderzoek van de gevonden schade.

## 2 Literatuurstudie

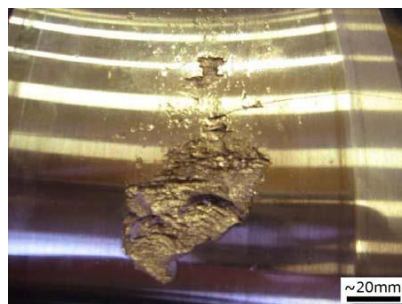
### 2.1 WEC

White etching cracks (WEC) zijn fouten in de microstructuur in staal. Het is een weinig bekend schadefenomeen. WEC komt vooral voor bij lagerschalen maar komt ook al 20 jaar voor in rails voor hoge snelheidstreinen. De microstructuur van WEC wordt zichtbaar door polijsten en etsen met nital of picral. Met behulp van microscopisch onderzoek onder gereflecteerd licht wordt WEC dan zichtbaar als witte netwerken in de microstructuur zoals te zien op Figuur 1. [2] Vandaar de naam van dit soort fout.



Figuur 1: WEC netwerken

WEC is vastgesteld voor meerdere type lagers van meerdere staaltypes en bij alle fabrikanten. Het grote probleem van WEC is dat het heel onvoorspelbaar is wanneer het zal optreden. Bij sommigen lagers is bijvoorbeeld al na een in gebruikstelling van 1 jaar WEC gevonden. Een negatief effect van WEC is dat het lager heel snel onbruikbaar wordt omdat de kleine WEC netwerken op Figuur 1 kunnen uitgroeien tot zware oppervlaktebeschadigingen. (zie Figuur 2)



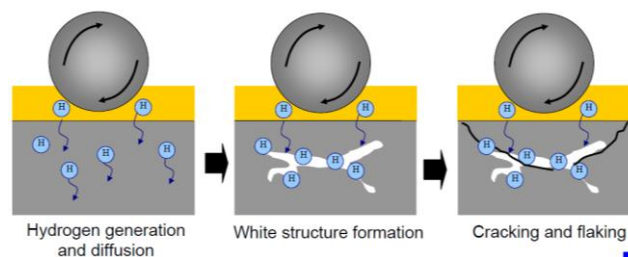
Figuur 2: Oppervlaktebeschadiging ten gevolge van WEC

Er zijn vele theorieën over de oorzaak van WEC maar hierover wordt nog steeds stevig gedebatteerd. Een bewijs hiervan is Tabel 1. De tabel gaat over hoe verschillende bedrijven denken wat de oorzaak is van WEC. Het valt op dat dit heel verschillende hypothesen zijn.

Tabel 1: Oorzaken van WEC volgens verschillende bedrijven [3]

Hypothesis	Crack origin	Failure mechanism	Root cause
NSK	Subsurface	Hydrogen enhanced localized plasticity (HELP)	Hydrogen embrittlement, due to lubricant decomposition
SKF	Surface	Brittle fracture followed by crack propagation due to corrosion fatigue cracking	Tensile stress, due to high surface traction
Hansen	Subsurface	Adiabatic shear bands	Elastic stress waves, due to impact on surface asperities
Schaeffler	Subsurface	Severe plastic deformation	Complex interaction between lubricant, surfaces, materials, and loads

NSK, producent van lagers, heeft als hypothese dat door waterstof het staal op bepaalde plaatsen plastisch wordt en hierdoor verandert de microstructuur. De waterstof is afkomstig van het smeermiddel van de lager (olie). De veranderde microstructuur bestaat uit nano ferriet korrels en de hardheid in dit gebied stijgt met  $\pm 44\%$ . [3] Deze verandering van microstructuur kan door belasting uitgroeien tot echte cracks. (zie Figuur 3) [4]



Figuur 3: Oorzaak van WEC volgens NSK

WEC komt alleen voor onder het loopvlak van het lager. De diepte is maximaal 1,5 mm. Dit is belangrijk om een juiste methode te vinden om WEC te detecteren. Als niet-destructieve methode kan ultrasoon- en wervelstroommetingen gebruikt worden. In principe is wervelstroom een ideaal principe omdat dit alleen werkt heel dicht onder het oppervlak.

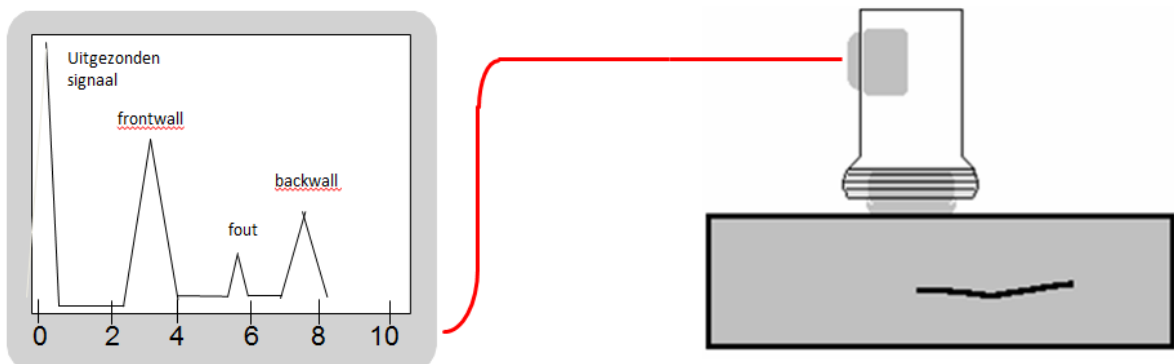
Er zijn verschillende manieren om WEC te reproduceren. Enkelen hiervan zijn bijvoorbeeld een slecht smeermiddel gebruiken, te hoog belasten, puur waterstof in het staal injecteren,... [5] Ook op ZF reproduceren ze WEC op bijvoorbeeld lagers van het type 81212. Deze lagers kunnen gebruikt worden om het UT-toestel, wat in Hoofdstuk 6.1.4.1 van deze masterproef besproken wordt, te testen omdat het zeker is dat in deze lagers WEC zit.

## 2.2 Ultrasoonmeting

### 2.2.1 Werking van ultrasoonmeting

Bij een ultrasoonmeting zal er door een sensor een ultrasone puls uitgestuurd worden. Deze puls beweegt zich door het medium waarin het zich bevindt en wordt deels teruggekaatst op de grens van 2 verschillende materialen. Hoeveel de puls gereflecteerd wordt, hangt af van de reflectiecoëfficiënt  $R$ .  $R$  wordt berekend via volgende formule:  $R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2$  met  $Z$  de akoestische impedantie van de 2 materialen. Hoe groter het verschil tussen de 2 akoestische impedanties, hoe meer de puls weerkaatst wordt. Aangezien  $Z$  van staal ( $45 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) en lucht ( $409 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) te veel van elkaar verschillen, zal er te veel van de ultrasone puls worden teruggekaatst, dat de puls niet meer genoeg energie overhoudt om het staal binnen te dringen en een meting te doen. Hierdoor vinden geautomatiseerde ultrasoonmetingen meestal plaats in water ( $Z$  van water =  $1.48 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ).

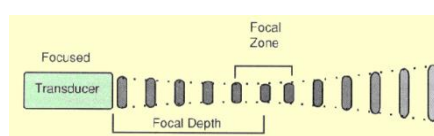
Figuur 4 laat zien hoe een meting gebeurt. De ultrasoonsonde stuurt een signaal naar het te meten werkstuk. De eerste weerkaatsing gebeurt tussen het water en het werkstuk. Dit is de frontwall. Vanaf nu wordt er gemeten in het werkstuk. Als er zich geen fouten in het werkstuk bevinden zal de volgende weerkaatsing de backwall of de achterkant van het werkstuk zijn. Indien het werkstuk wel een fout bevat, bevindt zich tussen de front- en de backwall een derde weerkaatsing.



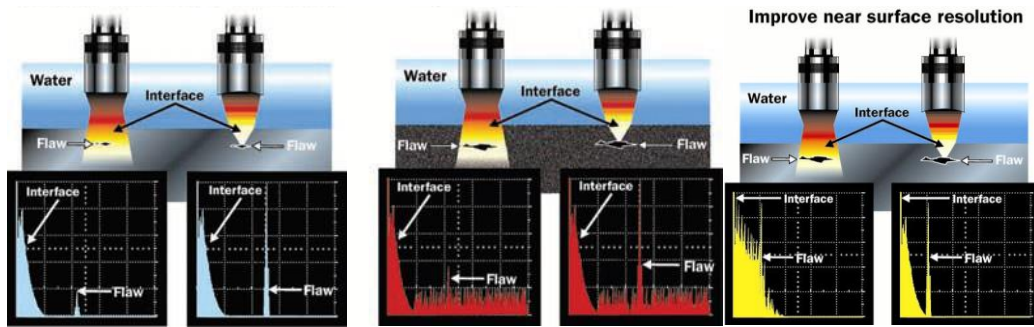
Figuur 4: Ultrasoonmeting

### 2.2.2 Afstand van de sensor tot het werkstuk

De 2 ultrasoonsonden die op ZF aanwezig zijn, zijn gefocuseerde sensoren. (zie Figuur 5) Dit wil zeggen dat er op een bepaalde afstand, nl. de focus lengte, het ultrasoon signaal zich optimaal focust waardoor de intensiteit veel hoger wordt in dit punt. [6] Er zijn 3 belangrijke redenen waarom een sensor gefocust wordt: een gefocuseerde sensor heeft een hogere intensiteit heeft bij kleine fouten, de sensor heeft een betere signaal-ruisverhouding en de resolutie net onder het oppervlak is beter. (zie Figuur 6) [7]



Figuur 5: Gefocuseerde UT-sensor [7]



**Figuur 6: Verschil intensiteit, signaal-ruisverhouding en subsurface resolutie tussen gefocuste en niet-gefocuste sensoren [7]**

Het focus punt is een goed startpunt om te weten hoe ver de sensor van het werkstuk moet staan. Er wordt nu uitgelegd hoe dit punt te berekenen is afhankelijk van de sensor en de gezochte fout: de focuslengte staat standaard in de datasheet van de gebruikte sensor. ZF heeft 2 sensoren: een 10 MHz en een 25 MHz. De 10Mhz sensor heeft een focuslengte van 40 mm en de 25 MHz van 63 mm. Dit zijn de focuspunten in water. Maar aangezien de werkstukken van staal zijn en de geluidssnelheid van staal ongeveer 4 keer hoger is dan in water zal door breking van het geluid de focuslengte verminderen. (zie Figuur 7) Volgende formule laat toe om het focuspunt te berekenen afhankelijk van de diepte van de fout:

$$WP = F - MP \left( \frac{c_m}{c_w} \right)$$

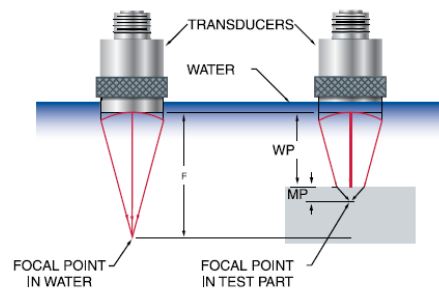
WP = waterkolom [m]

MP = diepte van de fout [m]

F = focuslengte van sensor [m]

$c_m$  = geluidssnelheid in staal [m/s] = 5920 m/s

$c_w$  = geluidssnelheid in water [m/s] = 1480 m/s



**Figuur 7: Focuspunt in werkstuk [19]**

F, de focuslengte, is gegeven in de datasheet van de gebruikte sensor. Voor de 25MHz sensor is deze 63 mm. MP is hoe diep de verwachte fout zich in het werkstuk bevindt. Hoe dieper de fout in het materiaal zit, hoe dichterbij de sensor moet staan bij het werkstuk om deze fout het beste weer te geven. Bijvoorbeeld: indien er zich een fout bevindt van 10 mm diep in het werkstuk wordt de waterkolom volgens bovenstaande formule 23 mm. Bevindt de fout zich echter op 15 mm dan wordt de waterkolom 15 mm. Dit wil niet zeggen dat fouten op andere diepten niet weergegeven worden maar deze zullen minder duidelijk zichtbaar zijn.

Merk op dat vanaf dat  $MP = 15,75$  mm het signaal weer verbreedt en dus het signaal minder sterk wordt. Indien er fouten veel dieper dan 15,75 mm in het werkstuk gezocht worden, dan dient men een sensor te gebruiken met lagere frequentie. Deze signalen dringen beter door in het materiaal.

Dit zijn de theoretische waarden. In Hoofdstuk 6.1.1.8 zijn deze waarden aan de praktijk getoetst.

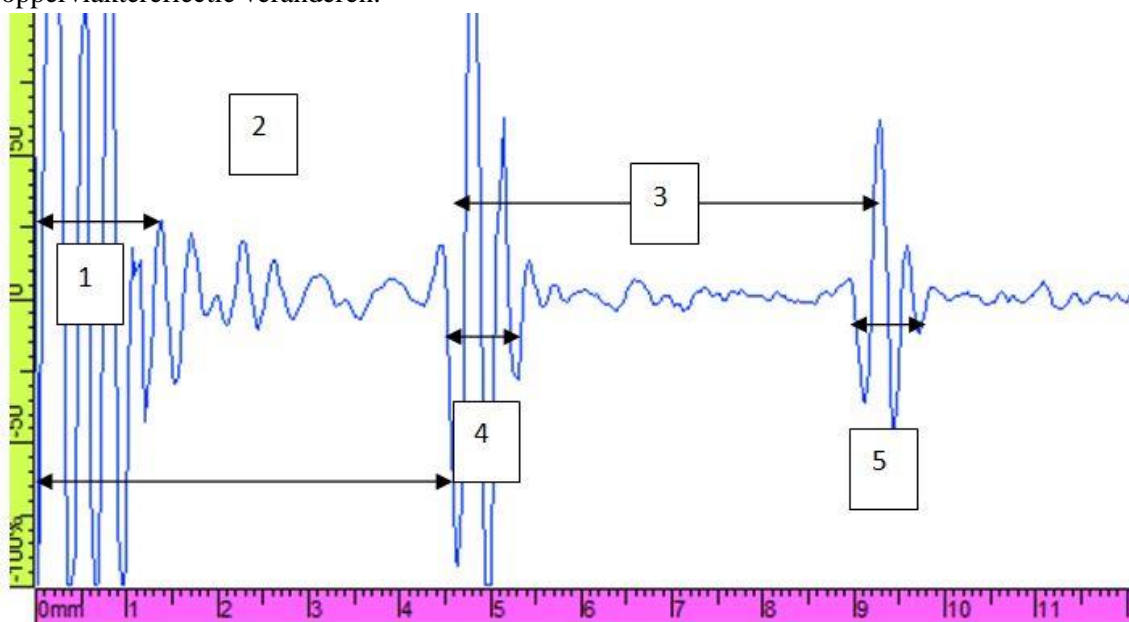
### 2.2.3 Keuze van de sensor

Bij ZF zijn er twee sensoren ter beschikking: één van 10 MHz en één van 25 MHz. Het verschil tussen beide sensoren wordt weergegeven in Tabel 2. [8]

Tabel 2: Verschil 10 en 25 MHz sensor

10 MHz	25 MHz
Dringt beter in materiaal door	Beperkter(20 mm gaat, 30 mm te veel)
Lagere resolutie	Betere resolutie
Oppervlaktereflectie: $\pm 4$ mm	Oppervlaktereflectie: van 0.4 tot 0.8 mm

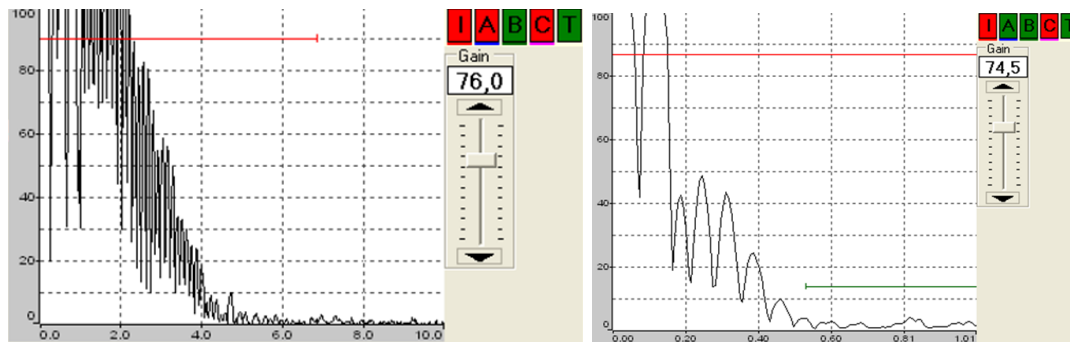
Op Figuur 8 is een A-scan te zien van een immersie ultrasone meting. De nummers 1,4 en 5 op de figuur verwijzen naar zones waar er niet gemeten kan worden. Nummer 1 verwijst naar de dode zone van de sensor. Dit kan een probleem vormen bij direct contact UT-meting maar doordat het ultrasoon signaal bij immersie metingen eerst met water in contact komt, zal de dode zone hierin geabsorbeerd worden. Nummer 4 is de reflectie van het ultrasoon signaal tussen water en de frontwall van het werkstuk. Dit wordt de oppervlaktereflectie genoemd. Sommige geluidsgolven zullen hier interfereren met golven die weerkaatsen op het werkstuk. Dit vormt een groter probleem dan de dode zone omdat de oppervlaktereflectie zich in het werkstuk bevindt en er hier dus geen zinvolle meting kan uitgevoerd worden. Deze oppervlaktereflectie wordt in het algemeen minder bij sensoren van hogere frequenties. Maar hangt verder ook af van andere factoren zoals hoek van sensor ten opzichte van het werkstuk, condities van het koppelingsmedium (water), kabellengte van de sensor,... . Hierdoor zal voor elke toepassing de oppervlaktereflectie veranderen.



Figuur 8: A-scan bij immersie UT met 10 MHz probe

In Figuur 9 is een voorbeeld te zien van een A-scan van de 10 en 25 MHz sensor. Hierop vallen duidelijk oppervlaktereflecties te zien bij de frontwall. De 10 MHz heeft een dode zone van 4,5 mm en de 25 MHz heeft 0,5 mm dode zone, maar deze waarden kunnen veranderen in functie van de toepassing. De 25 MHz sensor is het meest geschikt om fouten te detecteren dicht onder het oppervlak. Verder is er ook nog de reflectie tussen de backwall van het werkstuk en het

water, nummer 5 op Figuur 8. Maar doordat er hier toch niet gemeten wordt, wordt hier verder geen aandacht aan besteed.



**Figuur 9: Oppervlaktereflectie bij 10 MHz en 25 MHz**

#### 2.2.4 Positie sensor ten opzichte van werkstuk

Als de juiste sensor gekozen is voor de toepassing, wordt gekeken hoe de sensor het beste wordt geplaatst ten opzichte van het werkstuk. Meestal kan dit op 2 manieren: op de kant waar de lager belast is en de onbelaste kant. Beide methodes hebben voor-en nadelen.

Metten met de sensor langs de belaste kant lijkt het meest logisch omdat WEC's zich bevinden tot 1,5 mm onder het oppervlak. Maar dit wil niet zeggen dat er ook gemeten wordt met de sensor naar die kant gericht. Want de oppervlaktereflectie van de sensor, zie Hoofdstuk 2.2.3, zal ervoor zorgen dat een deel van de fout niet kan gevonden worden.

Metten met de sensor langs de onbelaste kant heeft als nadeel dat het signaal eerst door veel materiaal moet vooraleer de fout wordt gevonden en er zal dus al veel energie verloren zijn voordat de fout bereikt wordt. Maar er kan wel tot vlak onder het belastte oppervlak van het lager, waar WEC zich bevindt, gemeten worden.

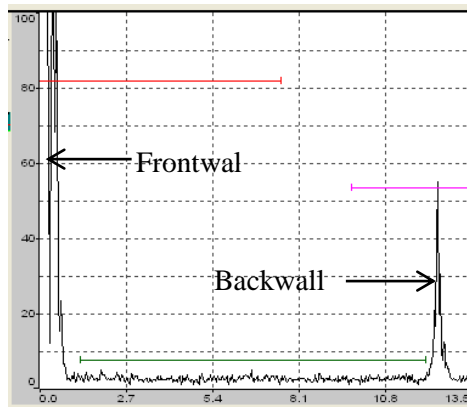
Uiteindelijk zal er voor elke meting van een werkstuk moeten nagegaan worden welke fout er gedetecteerd moet worden en op welke diepte in het werkstuk deze vermoedelijk zal gaan liggen. Hieruit moet dan een beslissing gemaakt worden welke sensor er gebruikt wordt en hoe de sensor geplaatst wordt ten opzichte van het werkstuk.

#### 2.2.5 Type van de mapping

Er zijn verschillende mogelijkheden om de ultrasoonsignalen te verwerken in een mapping. Voor een voorbeeld van zo een mapping is te zien in Bijlage 9.2.1.

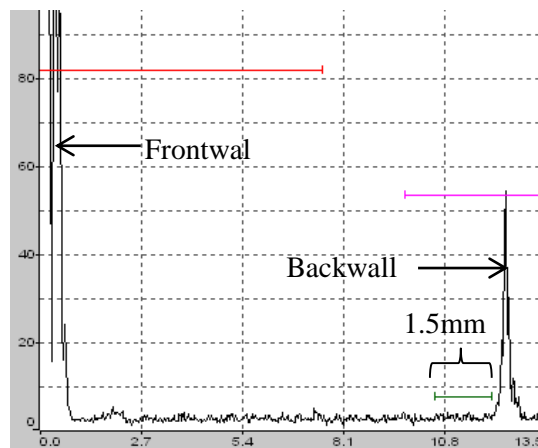
De meest gebruikte manier is om de grootste fout in een bepaalde range weer te geven op de mapping. Figuur 10 toont de A-scan van een werkstuk waar een fout wordt gezocht over heel het werkstuk. Op deze A-scan zijn dus geen fouten gevonden omdat er geen piek te zien is tussen front- en backwall.





**Figuur 10: Fout gezocht over heel het werkstuk**

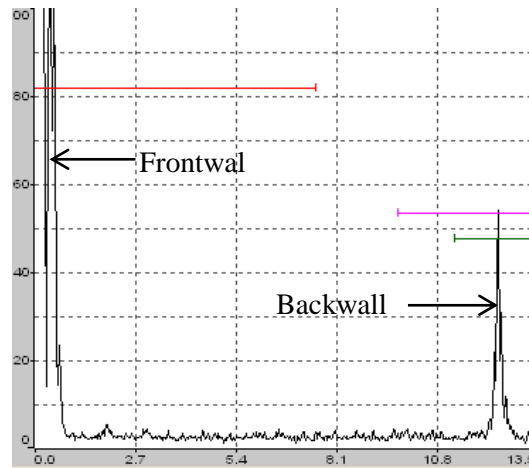
Hoe hoger de amplitude van de fout, hoe meer contrast er is op de mapping. Indien er twee fouten worden gevonden dan zal alleen de grootste fout weergegeven worden. De range is de groene B-gate en kan aangepast worden aan de hand van de verwachte diepte van de gezochte fout. Indien er in heel het werkstuk naar een fout gezocht wordt, zal de groene B-gate van de frontwall tot de backwall gaan. (zie Figuur 10) Maar bijvoorbeeld bij WEC-schade bevindt de fout zich tot 1,5 mm onder het oppervlak en zal de groene gate zich tot dat gedeelte beperken. (zie Figuur 11)



**Figuur 11: Onderzoek naar WEC**

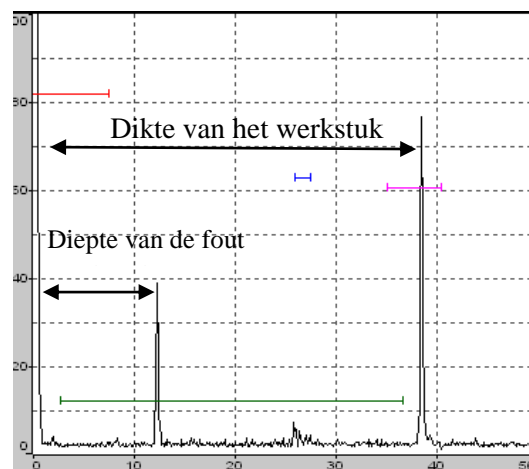
Een nadeel van deze methode is dat op mapping niet duidelijk is hoe diep de fout in het werkstuk is. Dit kan achteraf wel nog gecontroleerd worden door naar de fout te gaan en de A-scan te bekijken. Of door een TOF-meting uit te voeren, zie laatste methode.

Een tweede methode bestaat eruit om de amplitude van de backwall weer te geven op de mapping, dit wordt ook wel BWE-methode (backwall echo) genoemd. (zie Figuur 12) Het idee hierachter is dat indien er zich één of meerdere fouten bevinden voor de backwall, dan zullen die fouten een deel van de puls weerkaatsen waardoor de amplitude van de backwall zal dalen. Het voordeel van deze meting is dat als er zich meerdere kleine fouten achtereen bevinden, waar de amplitude apart niet groot genoeg is om via de eerste methode te vinden, dit wel zichtbaar zal zijn op de BWE mapping.



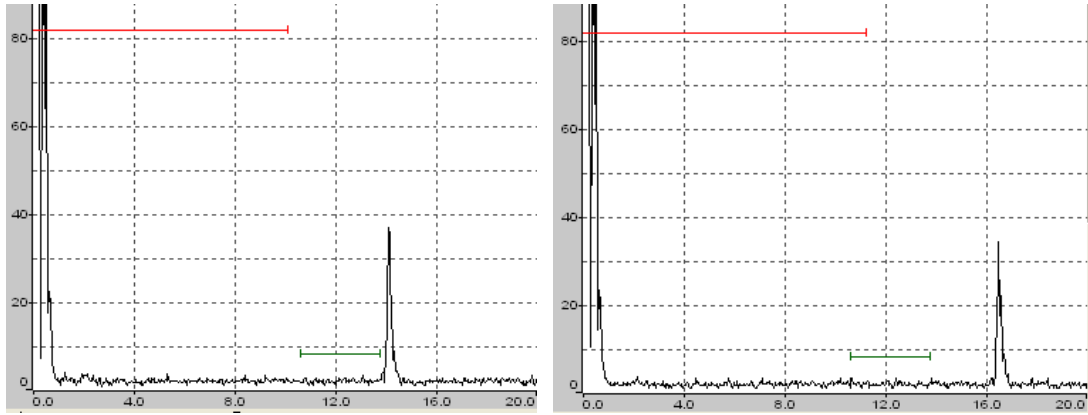
**Figuur 12: Backwall echo methode**

Als laatste methode is er ook nog de Time of flight (TOF). Deze methode stuurt niet de amplitude van de fout door, maar wel hoe diep de fout in het werkstuk ligt. De groene B-gate wordt zo laag mogelijk, vlak boven de ruis, gelegd. Vanaf dat er zich een piek voordoet (dus een fout) die boven de B-gate uitkomt, zal de diepte van deze fout doorgestuurd worden. Vanaf waar de meting begint en eindigt is in te stellen naargelang de gezochte fout. Indien men deze methode combineert met de eerste dan is zowel de amplitude van de fout als hoe diep het zich in het werkstuk bevindt bekend. Op Figuur 13 is een fout te zien op 12 mm. Deze diepte wordt dan doorgestuurd en hiermee wordt een mapping opgemaakt. Het werkstuk zelf is 38 mm dik.



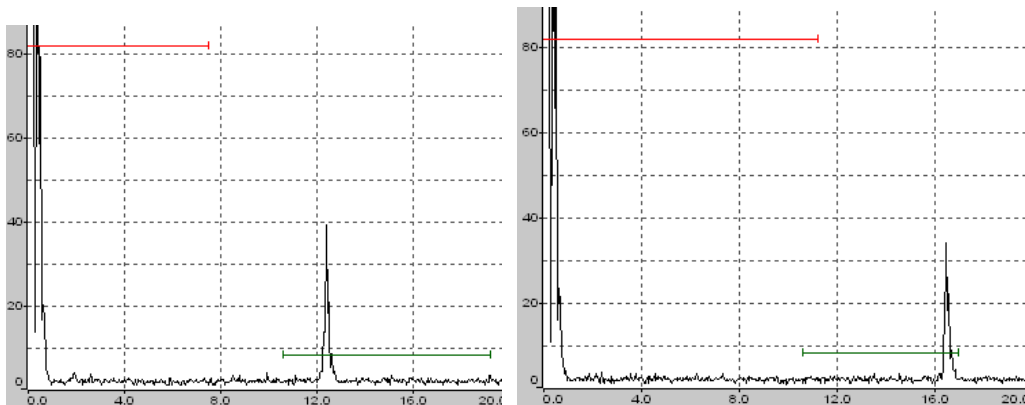
**Figuur 13: TOF-methode, fout bevindt zich op 12 mm**

Er is echter een probleem bij metingen van werkstukken met variabele dikte. Doordat hier de backwall niet constant blijft, is het niet mogelijk om methode 1 toe te passen omdat de groene gate de backwall niet mee volgt (zie Figuur 14). Op de linkse A-scan is de dikte van de lager 15mm terwijl op de rechte A-scan de lager 16.5mm dik is.

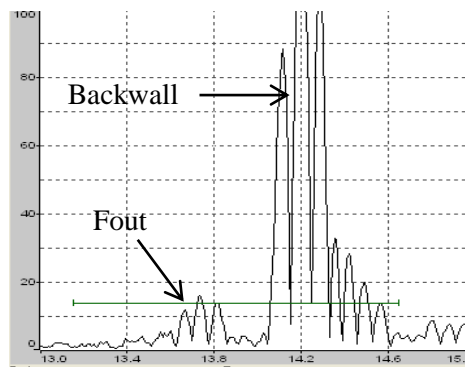


**Figuur 14: Verschuiving meetgebied door lager met variabele dikte**

Om deze metingen toch succesvol uit te voeren, wordt de breedte doorgestuurd tussen frontwall en de hoogste piek in de groene gate. De groene gate wordt zo ingesteld dat die altijd de backwall zal meten. Aangezien de dikte variabel is, moet de operator opletten dat de backwall ook zal bewegen. (zie Figuur 15) Indien er zich geen fout bevindt, zal de hoogste piek de backwall zijn. Maar indien er zich wel een fout bevindt, zal de dikte tussen frontwall en de fout doorgestuurd worden. (zie Figuur 16) Deze plotse verandering is dan duidelijk te zien op de mapping.



**Figuur 15: Instellingen b-gate; links: dunste deel, rechts: dikste deel van de lager**



**Figuur 16: Fout gevonden net voor de backwall**

## 2.3 Wervelstroomonderzoek

Naast het uitbreiden van het aanwezige UT-toestel is er ook gevraagd onderzoek te doen voor het in gebruik nemen van een aanwezig wervelstroomtoestel. Dit omdat wervelstroommeting meer voordelen biedt t.o.v. UT-meting voor het detecteren van kleine fouten die zich vlak onder het oppervlak bevinden, zoals de initiatiefase van WEC-schade waarnaar het labo opzoek is.

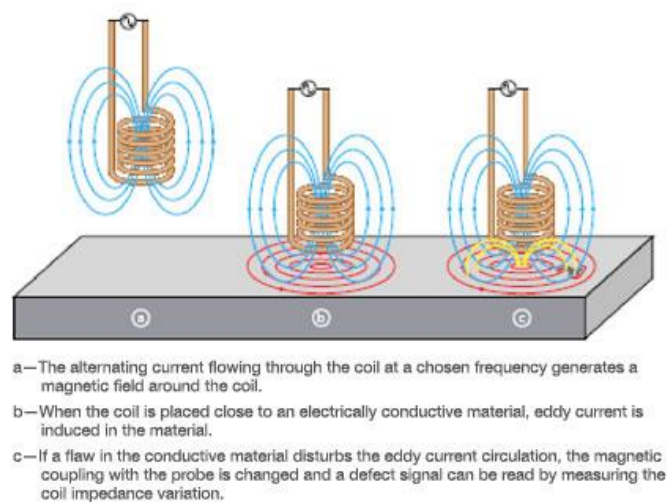
### 2.3.1 Algemeen

Wervelstroommeting gebeurt op basis van geïnduceerde wervelstromen. Dit heeft als gevolg dat deze methode enkel kan toegepast worden op elektrisch geleidende materialen. Er wordt gebruikgemaakt van speciale probes die voorzien zijn van meerdere spoelen en een toestel dat de stroom in deze spoelen meet om een beeld te vormen.

Door één van de spoelen wordt een wisselstroom met een bepaalde frequentie gestuurd waardoor er een magnetisch veld wordt opgewekt rond deze spoel.

Wanneer de probe tegen een elektrisch geleidend materiaal geplaatst wordt zal er door inductie een wervelstroom gegenereerd worden in het materiaal. Deze wervelstroom wekt zelf een tegengesteld magnetisch veld op dat wordt waargenomen met een tweede spoel in de probe. Omdat het tweede magnetisch veld de spoel snijdt induceert deze op zijn beurt hierin een stroom. Deze stroom wordt waargenomen met het toestel waarmee er dan uit het verschil tussen de stroom door de eerste en tweede spoel een beeld gecreëerd kan worden.

Zolang als het materiaal waarover de probe beweegt een constante oppervlaktekwaliteit en materiaalsamenstelling heeft, net onder het oppervlak, zal het gemeten signaal in de spoelen ook constant blijven. Wanneer er echter oppervlaktefouten of inclusies net onder het te meten oppervlak zijn zal er een verandering in impedantie optreden van de spoelen. Deze verandering wordt dan weergegeven, als pieken, op de monitor van het toestel zodat de bediener van het toestel ziet waar de fout zich bevindt. (zie Figuur 17)

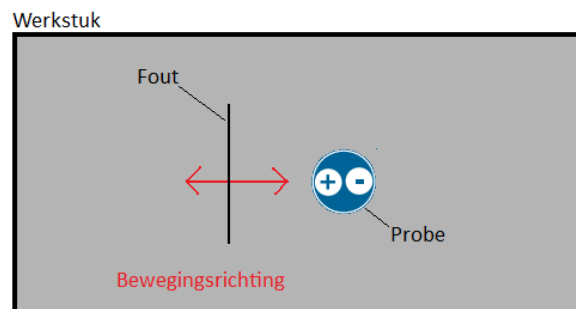


Figuur 17: Principe wervelstroommeting [9]

### 2.3.2 Probes

Er zijn twee hoofdtypen van probes: absolute probes, differentiaal probes. De absolute probes zijn zeer goed in het detecteren van kleine scheurtjes en er kan mee gemeten worden ongeacht de beweging die de probe maakt op het werkstuk.

Bij de differentiaal probes is dit anders. De gewone differentiaal probes zijn voorzien van een positieve en negatieve pool die langs elkaar gelegen zijn. En de beweging van deze probes moet loodrecht met de richting van de te zoeken fout gebeuren. Het is dus best dat je deze probes gebruikt wanneer je op zoek bent naar scheurtjes of andere fouten waarvan je al een verwachting hebt betreffende de richting van de te meten fout. (zie Figuur 18) De probe kan dan bij het starten van de meting correct gepositioneerd worden.

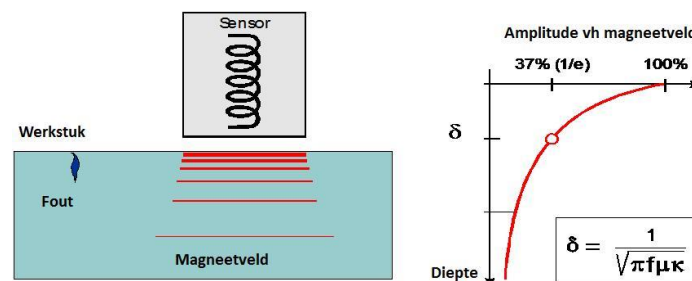


Figuur 18: Meetrichting differentiaal probe

De differentiaal probes hebben wel als voordeel dat ze uitgerust zijn met een Highpass- en Lowpassfilter zodat het signaal beter gefilterd kan worden op de te zoeken fout. (zie Bijlage 9.6) Om het probleem van de positionering op te lossen zijn er tegenwoordig ook al probes die dubbele polen hebben zodat de richting ten opzichte van de fout onbelangrijk wordt bij het meten. Deze probes worden ook wel multi-differential probes genoemd. [10]

### 2.3.3 Doordringdiepte

Belangrijk om te weten is dat deze meetmethode sterke voordelen heeft voor het detecteren van fouten op of net onder het te meten oppervlak. Eens men dieper onder het oppervlak wilt gaan meten zijn er andere methoden die voordeliger zijn (zoals bijvoorbeeld UT-meting). De doordringdiepte tot waar men fouten kan meten met een bepaalde frequentie is gelegen waar de amplitude van het uitgezonden magnetisch veld verzwakt wordt tot 37% en deze is afhankelijk van het materiaal waarop gemeten wordt. (zie Figuur 18)



Figuur 19: Doordringdiepte [11]

Wanneer men de nodige eigenschappen van het te onderzoeken materiaal kent en als er geweten is met welke frequentie de meting uitgevoerd wordt kan de doordringdiepte om fouten te detecteren bepaald worden aan de hand van de volgende formule:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \kappa}}$$

$\delta$  = doordringdiepte [m]

$\kappa$  ( $\sigma$ ) = elektrische conductiviteit [S/m]

$\mu$  = magnetische permeabiliteit [H/m] =  $\mu_0 * \mu_r$

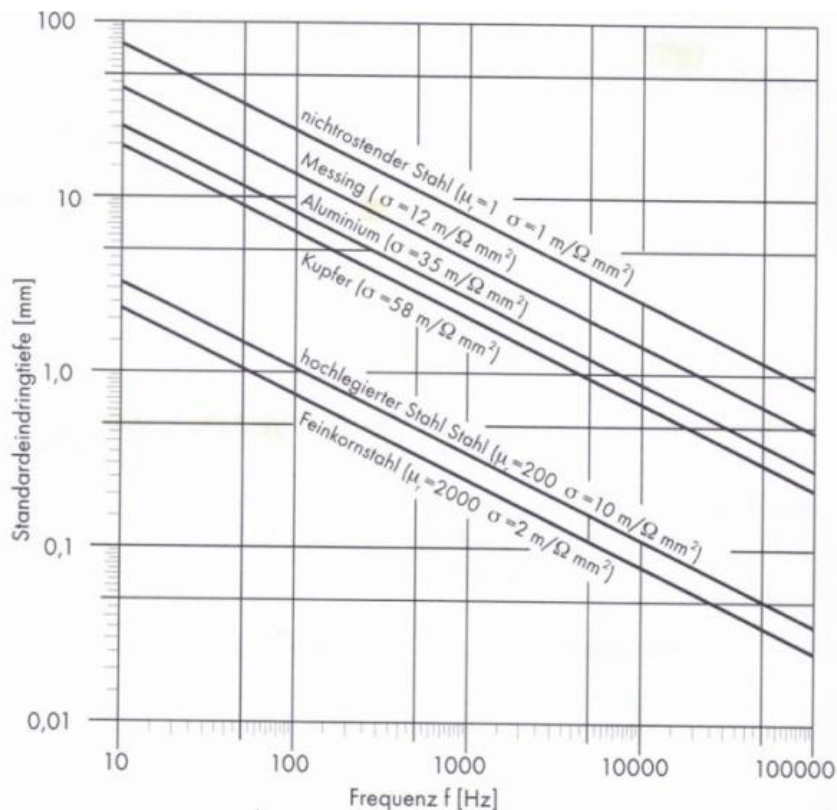
$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  H/m

$\mu_r$  = relatieve permeabiliteit van het materiaal

$f$  = in te stellen frequentie van de eddy current sensor [Hz]

Voorbeeld: Voor 100Cr6 staal waarvan de lagers gemaakt zijn, is de waarde van  $\kappa = 4.55 * 10^6$  [S/m] en  $\mu_r = 350$ . Indien er fouten op gezocht worden op 1 mm onder het oppervlak bedraagt de frequentie volgens de formule van de sensor 159 Hz.

Wanneer voor een bepaald materiaal deze formule voor elke frequentie de doordringdiepte bepaald wordt dan bekomt men een rechte zoals reeds enkele getekend staan voor basis materialen op Figuur 20. De frequentie en doordringdiepte zijn op logaritmische schaal getekend zodat er een rechtlijnig verband ontstaat.



**Figuur 20: Doordringdiepte i.f.v. frequentie van enkele basis materialen [11]**

## 3 Mechanische uitbreiding

### 3.1 Situatie bij aanvang

Het UT-toestel was opgebouwd met een H-bot die kon bewegen in het XY-vlak. De UT-sensor van 10 MHz waarmee gemeten werd was met plakband vastgemaakt aan de stang die tegen de H-bot geklemd werd. Deze opstelling was zeer nadelig voor het precies positioneren van de sensor t.o.v. het te meten werkstuk. De hoek t.o.v. het te meten oppervlak kon ook slechts ruwweg ingesteld worden door de sensor handmatig te draaien en deze bleef ook niet constant door invloed van externe trillingen, of wanneer men tegen de installatie stootte. De hoogte t.o.v. het te meten werkstuk werd eveneens manueel ingesteld door de klemming rond de stang aan de H-bot los te draaien en zo de sensor in de z-richting te verplaatsen. Verder waren de nodige onderdelen aanwezig om vlakke stukken en cilinders op te spannen en te meten. Alleen de software voor vlakke stukken te meten was klaar. Dus voor de start van deze thesis waren slechts enkele vlakke stukken gemeten.

### 3.2 Eisenpakket

Er werden vanaf de start enkele eisen opgesteld waaraan het toestel moet voldoen aan het einde van deze thesis:

1. er moeten twee verschillende sensoren op het toestel kunnen gemonteerd worden;
2. de sensoren moeten geautomatiseerd met een hoogte van 400 mm kunnen verplaatsen;
3. de sensor moet in een houder geklemd worden waarmee de hoek in het XY-vlak en YZ-vlak manueel en/of geautomatiseerd ingesteld kan worden;
4. het toestel moet ronde lagerschalen (binnen- en buitenschalen), vlakke stukken en cilindrische werkstukken kunnen meten;
5. de aanpassingen die gebeuren moeten bestand zijn tegen de onderwateromgeving waarin de UT-meting plaatsvindt.

### 3.3 Concept

Er is per eis over het concept nagedacht.

1. Mogelijkheid om meerdere sensoren te monteren:

Om dit te bereiken is gedacht aan een universeel klemsysteem voor ronde UT-sensoren, met een soort drieklauwmechanisme maar doordat er eigenlijk slechts twee sensoren gebruikt worden was het eenvoudiger om aan de hand van de dimensies van de sensoren twee sensorhouders te ontwerpen die op eenzelfde manier aan de z-stang gemonteerd kunnen worden met één boutverbinding zodat deze eenvoudig om te wisselen zijn. (zie Figuur 21)

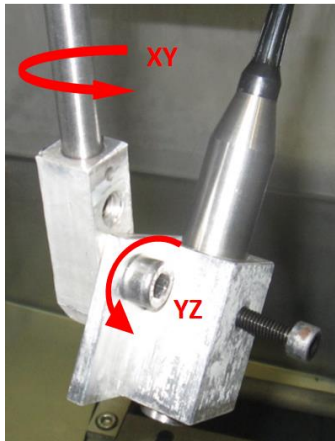
2. De hoogte moet geautomatiseerd instelbaar zijn (400 mm)

Hiervoor is contact opgenomen met Vansichen Lineairtechniek bvba omdat zij in het verleden ook de oorspronkelijke H-bot voor het toestel geleverd hadden. Er is nagedacht over verschillende mogelijkheden en uiteindelijk besloten dat de z-as van Bahr Modultechnik het meest geschikt was. Dit is dezelfde fabrikant als die van de H-bot en dit vergemakkelijkt de montage van de z-as. In de catalogus van Bahr Modultechnik is gekeken naar verschillende aandrijvingsmogelijkheden (Riemoverbrenging, spindeloverbrenging,..), maar ook naar de lengte waarmee in de hoogte bewogen moet kunnen worden is rekening gehouden. Er is

gekozen voor een z-as QSK 60. Deze kan een hoogteverplaatsing realiseren van 400 mm via een spindeloverbrenging. Er is een spindeloverbrenging gekozen omdat deze nauwkeuriger is dan een riemoverbrenging. En de aandrijving van deze z-as gebeurt met een servomotor van Beckhoff (AM8121).

### 3. De sensorhouder moet in het XY-vlak en YZ vlak kunnen draaien

De z-stang kan roteren in zijn houder. Dit geeft de mogelijkheid om een hoekverdraaiing te realiseren in het XY-vlak. En rond de boutverbinding van de sensorhouder aan de z-stang kan de hoekverdraaiing in het YZ-vlak gebeuren.



**Figuur 21: Sensorhouder**

### 4. Metten van verschillende werkstukken

Er waren reeds opstellingsmogelijkheden voor vlakke stukken en cilinders aanwezig bij het UT-toestel. Om lagerschalen te meten is er aan verschillende opspanmogelijkheden gedacht. Eerst werd gedacht aan een drieklauw mechanisme en een manier om de lagers op een kunststof mal te plaatsen. Het drieklauwmechanisme bracht moeilijkheden met zich mee om dit te implementeren op de oorspronkelijke installatie. En het systeem met kunststof mallen was moeilijk om dit te ontwerpen voor zowel binnen- als buitenlagerschalen.

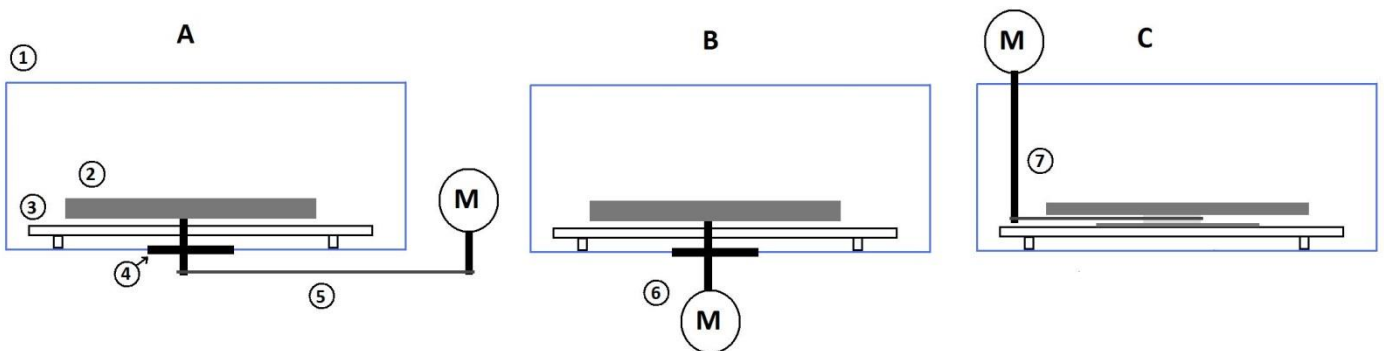
Uiteindelijk is gekozen om een draaitafelontwerp te maken waar men de ronde lagerschalen op kan leggen. De sensor wordt dan naar de lagerschaal bewogen en juist gepositioneerd t.o.v. de te meten schaal. Vervolgens kan de lagerschaal dan om haar eigen as draaien en wordt er een mapping gemaakt via Labview om de fouten in kaart te brengen. (zie Hoofdstuk 5.3)

Om de lagers te centreren zijn er op de draaischijf gaten voorzien waar centreerblokken in geplaatst kunnen worden. (zie Bijlage 9.9, Tekening nr. 11b + 12)



## 5. Rekening houden met onderwateromgeving

De grootste uitdaging was dit geheel waterdicht aan te drijven. Tijdens het brainstormen is er gekeken naar de grote installatie die aanwezig is op ZF. Deze werd aangedreven met een ketting onder het waterreservoir. (zie Figuur 22 A) Maar omdat er plaats onder het waterreservoir is voor een motor te plaatsen was een volgend idee om de motor op het onderste plateau van de kar van de installatie te plaatsen en een rechtstreekse askoppeling langs onder naar de draaitafel te maken. (zie Figuur 22 B) Om dit te kunnen realiseren was er het probleem om de draaitafel aan te sturen langs onder en het reservoir toch waterdicht te houden. Om dit op te lossen is contact opgenomen met Brammer NV om praktische tips te krijgen om dit te realiseren. Er was niet meteen een budgetvriendelijk oplossing hiervoor en dus is er verder gezocht. Uiteindelijk is er een derde concept uitgewerkt waarbij de aandrijving langs boven gebeurt. (zie Figuur 22 C nr7) De motor wordt bevestigd aan het frame en zal via een tandriemoverbrenging de draaitafel aansturen. Er is een tandriemoverbrenging gekozen omdat hier geen smering nodig is en hierdoor is deze dus het meest geschikt om in het waterreservoir te werken zonder dat de waterkwaliteit hierdoor verslechtert. Verder werd er tijdens de materiaalkeuze ook voor zoveel mogelijk corrosiebestendige materialen gekozen.



Figuur 22: Concepten

## 3.4 Resultaat

### 3.4.1 Algemeen

Uiteindelijk is er verder gewerkt met concept C. (zie Figuur 22)

De onderdelen van de draaitafel hebben elk een eigen functie: klemming op de grondplaat, de lager met binnen- en buitenringklemming, de verbinding met de draaischijf en het dragen van de lagerschalen. Dit vergemakkelijkt de demonteerbaarheid van de draaitafel en heeft als voordeel dat wanneer aan één van deze functies een verbetering zou moeten komen in de toekomst dit volledig kan gebeuren zonder dat de andere onderdelen hiervoor moeten gewijzigd worden.

Er is zoveel mogelijk materiaal herbruikt van de bestaande installatie: de oorspronkelijke grondplaat voor vlakke stukken en cilinders is herbruikt als basis voor de draaitafel op te monteren. En ook de z-as waar de sensorhouder aan gemonteerd wordt, een klein tandriemwiel, de tandriem zelf en het koppelstuk tussen de stappenmotor en de aandrijvende as worden ook gebruikt bij de opstelling voor lagerschalen.

### 3.4.2 Beugel

Er is een beugel ontworpen waarmee de motor bevestigd kan worden op het frame en waar de aandrijvende as door een lager, van SKF type 6001-2RS1, geplaatst wordt zodat de motoras vrijgesteld wordt van zijwaartse krachten die ontstaan door de riemoverbrenging. (zie Bijlage 9.9, Tekening nummer: S2)

### 3.4.3 Draaitafel

De draaitafel is ontworpen op basis van een lijst van te meten lagerschalen. (zie Tabel 3) Er is rekening gehouden met de dimensies van de lagers om de diameter van de draaischijf te bepalen. Het gewicht van de lagerschalen was ook een belangrijke factor. De draaischijf is voldoende dik (15 mm) gemaakt zodat hier geen doorbuiging op zou plaatsvinden die de UT-meting beïnvloedt. Bijkomend zijn er op de draaischijf gaten geboord met schroefdraad m5 zodat de lagerschalen uit de lijst gemakkelijk tot op 0,5 mm gecentreerd kunnen worden met behulp van drie centreerblokken. (zie Bijlage 9.9, Tekening nr. 11b+ 12) Dit kan nog verbeterd worden door de centreerblokken beter af te werken of nog meer op maat te maken van de te meten lagerschalen.

Tabel 3: Lijst van te meten lagers + gat van inklemming op de draaitafel

Te meten lagers				
lager	Binnenringen diameter binnenklemming (mm)		Buitenringen diameter (mm)	
	Binnenklemming	welk gat	Buitenklemming	welk gat
nu206	30	te klein	62	te klein
81212	60	10mm	95	25mm
fag nu2326	130	10mm		
SKF 30328	140	25mm		
31330	150	10mm	320	10mm
fag 32230	150	10mm		
nu2339	180	25mm	380	10mm
30352	260	10mm	540	te groot

### 3.4.4 Lager

Het gebruikte lager waar de draaitafel op ronddraait is van SKF type W 6010-2RS1. Het is een "Deep Groove ball" lager van Stainless steel en is voorzien van afschermingskappen. Dit type lager is geschikt om te functioneren in een omgeving van stilstaand water. Het lager is dus geschikt voor onze draaitafel, die tijdens zijn gebruik in het waterreservoir zal staan. Dit type is ook gekozen omdat deze een buitendiameter 80 mm en binnendiameter 50 mm heeft. Dit zorgt voor een voldoende draagoppervlak zodat de draaischijf minder snel uit balans zal raken bij onevenwichtige gewichtsverdeling van de geplaatste lagerschaal. Het lager is geplaatst in de draaitafel met een licht klemmende binnenring en een buitenring in een vaste passing.

ZF eist dat de draaitafel een lagerschaal van 75 kg moet kunnen dragen. Dit gewicht zal het lager als axiale kracht belasten. Om te controleren of dit mogelijk was voor de gekozen lager is de SKF catalogus geraadpleegd [12]. En zijn de volgende berekeningen uitgevoerd.

$$F_a < 0,25 C_0 \quad C_0 = 16,6 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad F_{a_{\max}} = 4,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Maximaal axiaal gewicht} = 423 \text{ kg}$$

$F_a$  = axiale belasting [kN]

$C_0$  = basis statische belastingsfactor [kN]

Het lager kan dus axiaal belast worden tot 423 kg, dit ligt dus ruim boven de op voorhand opgelegde eis van ZF.

### 3.4.5 Basismontage

De binnenring van het lager zit dus met een overgangspassing vast op het klemstuk. Dit klemstuk wordt op zijn beurt met twee bouten gemonteerd op de grondplaat van de draaitafel. (zie Bijlage 9.9 Tekening nr. S3) En deze grondplaat wordt dan aan de basisgrondplaat van de oorspronkelijke installatie vast gemaakt met de bouten en geleidingsmoeren van de cilinderklemblokken. (zie Bijlage 9.5.2)

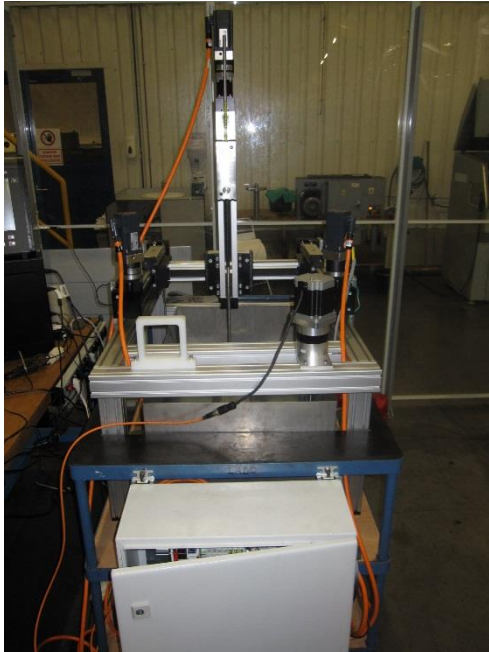
### 3.4.6 Tandriem

Zoals eerder vermeld wordt het aandrijvende tandriemwiel en de tandriem uit de opstelling van de cilinderlagers herbruikt. Het grote aangedreven tandriemwiel dat op de draaitafel bevestigd is is van het type 36-T5-60. Dit tandriemwiel is uitgefreesd om de buitenring van de lager te klemmen en is voorzien van een gat met schroefdraad M10 om de draaischijf hierop te bevestigen. (zie Bijlage 9.9 Tekening nr. 10) De riem kan op spanning gebracht worden door de motorhouder in de framegeleidingen zijdelings te verschuiven en hierdoor de afstand tussen de tandriemwielen te vergroten. (zie Figuur 23)

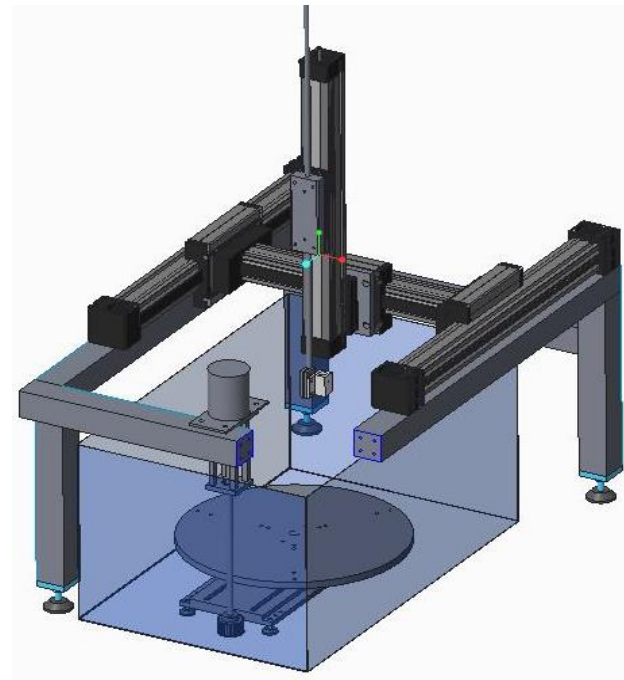


**Figuur 23: Opspannen van de riem**

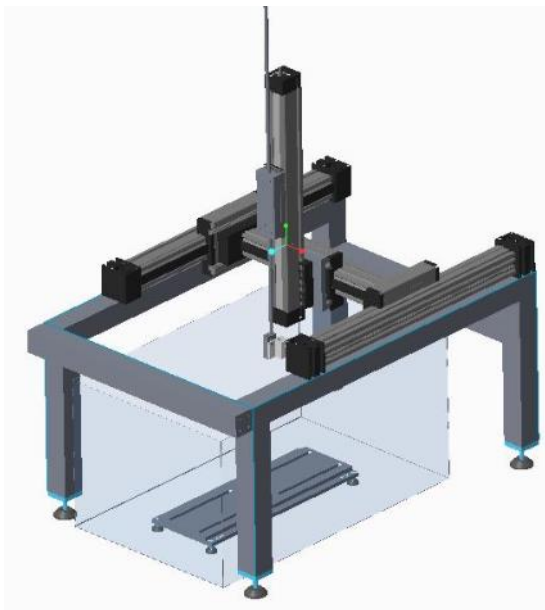
Op de volgende pagina bevinden zich nog enkele foto's van onze UT-opstelling.



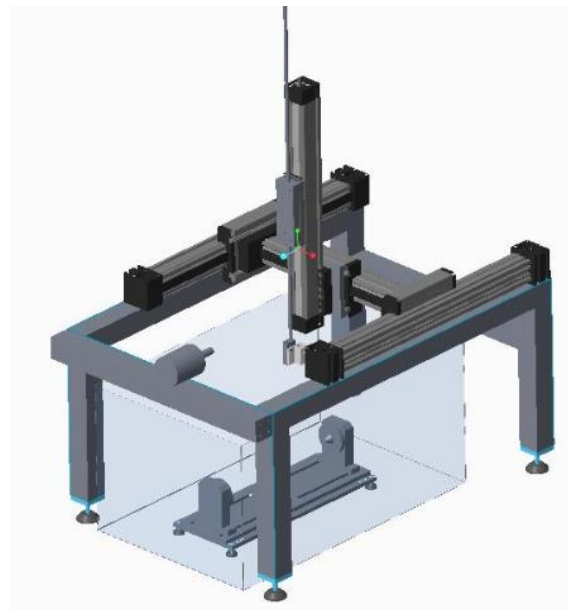
**Figuur 25: UT-toestel in labo ZF**



**Figuur 24: UT-toestel met draaitafel voor lagers**



**Figuur 26: UT-toestel voor vlakke stukken**



**Figuur 27: UT-toestel voor cilinders**

## **4 Elektrisch ontwerp**

### **4.1 Uitbreidingen**

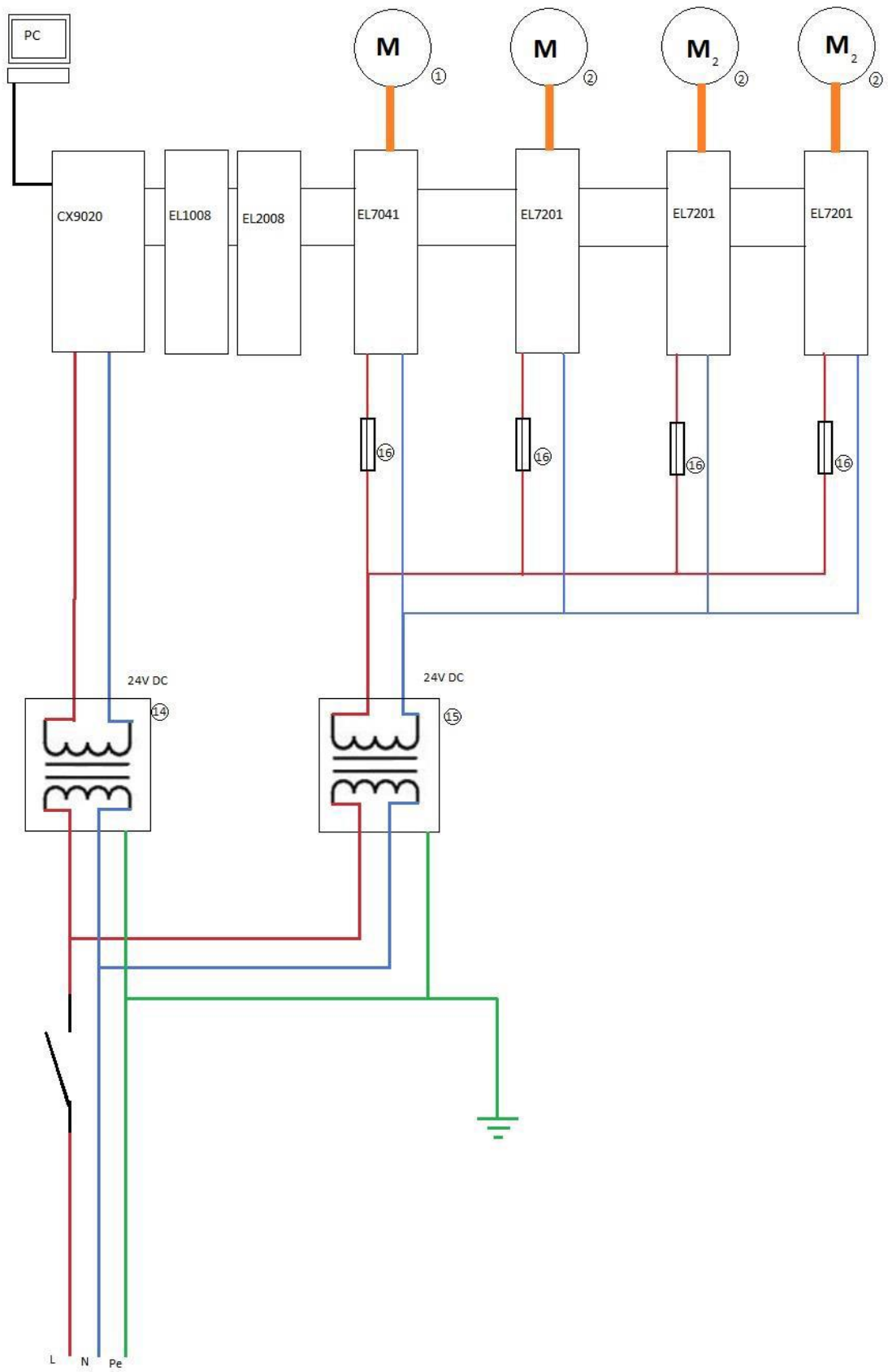
Elektrisch gezien zijn er enkele uitbreidingen gebeurd om de werking van de bijgekomen z-as aan te sturen en om ruis te verminderen. De aansturingsonderdelen voor de motor van de z-as aan te sturen komen van Beckhoff en bestaan uit de motor zelf (AM 8121), een motorkabel en een motorkaart (EL 7201) die aan de PLC bijgeplaatst is.

Verder zijn er nog enkele aardingskabels gemaakt op de onderhoudsafdeling van ZF. Hiermee is de behuizing van aanwezige stappenmotor en het frame van het UT-toestel geaard zodat de ruis die met de UT-sensoren zichtbaar is gedaald is van 30% naar 20%. (zie Hoofdstuk 6.1.1.6)

Op de volgende pagina is het vereenvoudigd elektrisch schema te zien met deze aanpassingen.

### **4.2 CE-keuring**

Er is ook gevraagd om voor dit toestel een bundel samen te stellen zodat de procedure van CE-keuring van het toestel van start kon gaan. Hierin staan de onderdelenlijst, de totale afmetingen van het toestel, het elektrisch schema en de documentatie van de aanwezige onderdelen die zich op het toestel bevinden in opgesomd. Omdat deze bundel te omslachtig is verwijzen we graag naar de database van ZF Windpower waar deze te vinden is onder de naam: “Labo UT-meettoestel: Documentatie”.



Figuur 28: Elektrisch schema [13]

## 5 Programmeren

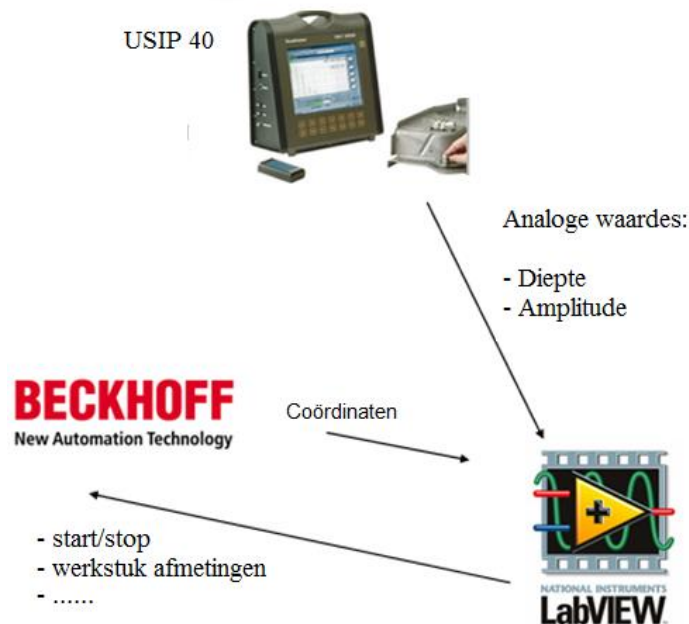
### 5.1 Inleiding

De besturing van het ultrasoontoestel gebeurt in drie delen zoals schematisch voorgesteld in Figuur 29.

Het eerste deel is Labview. Labview is een grafische programmeeromgeving van National Instruments [14]. Labview staat op de computer van het labo in ZF en hier gebeurt de communicatie met de operator. Hij kan hier invullen wat soort werkstuk er gemeten wordt (lager, cilinder of plat werkstuk), hoe groot dit is en opmerkingen toevoegen.

Als tweede wordt een Beckhoff PLC gebruikt. Labview stuurt info van het werkstuk door naar de PLC. Deze verwerkt deze info en voert het desbetreffende programma uit. Een lager, cilinder of plat werkstuk hebben allemaal een eigen programma in de PLC zitten. De PLC stuurt de motoren aan waardoor de ultrasoonsensor metingen kan gaan uitvoeren.

Als derde wordt een draagbaar ultrasoon meettoestel gebruikt, namelijk de USIP-40 van GE Measurement & Control. Het signaal van de ultrasoonsensor wordt opgenomen door de USIP-40 en de operator kan de desgewenste parameters instellen: welke sensor er gebruikt wordt zie Hoofdstuk 2.2.3, welke type meting er gebruikt moet worden zie Hoofdstuk 2.2.5, in welk gebied er fouten wordt gezocht en of er Distance Aplitude Correction moet toegepast worden, zie Hoofdstuk 6.1.1.9 . De USIP-40 stuurt een analoog signaal (van 0 tot 10V) door en deze wordt via de DAQ-module USB-6009 ingeladen in de computer. Voor de volledige werking van de USIP 40 wordt verwezen naar Bijlage 9.1.



Figuur 29: Integratie van de verschillende systemen

Terwijl de meting wordt uitgevoerd bundelt Labview constant de positie van de motoren en het analoog signaal van de ultrasoonmeting. Op basis hiervan maakt Labview dan een mapping. Deze mapping komt in een verslag met de opmerkingen die zijn toegevoegd zoals: welk

werkstuk, wie de operator was en wanneer deze meting werd uitgevoerd. Zo heeft de operator een duidelijk overzicht van wat er gemeten is en kan hij hieruit conclusies trekken over of er al dan niet fouten zijn gevonden in het werkstuk. Ook kan er op basis van het meetverslag een meting opnieuw worden uitgevoerd met dezelfde instellingen indien er twijfels zijn over het bekomen resultaat.

## 5.2 Twincat

Het oorspronkelijke PLC-programma bestond uit enkel het programma voor vlakke werkstukken. Maar door de mechanische uitbreidingen die besproken zijn in Hoofdstuk 3 is het ook mogelijk om assen en lagerschalen te meten. Hoe het PLC-programma hiervoor is opgebouwd, wordt hieronder kort besproken. Verder is er ook gewerkt aan de veiligheid van de H-bot. Als één van de modules van de H-bot botste tegen de rand, dan gingen de motoren in stop en moest men deze terug resetten. Er is voor gezorgd dat de H-bot niet meer tegen zijn uiteinden aan kan botsen doordat dit nu softwarematig beveiligd is.

### 5.2.1 Programma lagers

Lagers worden gemeten op een draaitafel die aangestuurd wordt met een stappenmotor. De draaitafel blijft draaien aan een constante snelheid van  $14^\circ/\text{s}$ . Als er 1 toer is gemaakt dan gaat de sensor een stap van 0,5 mm naar boven (z-richting) en afhankelijk van de hoek gebeurt er ook een y-beweging. De meting is klaar wanneer de ingestelde hoogte is bereikt. De parameters die via Labview doorgegeven moeten worden aan de PLC zijn de hoogte van de lager en de hoek van de lager. In bijlage 9.4.1 is er een print screen van het programma van de lagers te vinden.

### 5.2.2 Programma assen

De assen worden op de opstelling gezet die ervoor zorgt dat deze om hun eigen as kunnen draaien. De aansturing gebeurt met dezelfde stappenmotor als bij de lagers. Het programma verloopt als volgt: de sensor wordt eerst in de beginpositie gezet. Dan beweegt de H-bot in de positieve y-richting over heel de as. Er wordt een  $0.5^\circ$  gedraaid en dan beweegt de H-bot in de negatieve y-richting naar de beginpositie. Dit wordt 720 keren gedaan tot de as helemaal rondom  $360^\circ$  gemeten. Omdat elke as rond is en dus over  $360^\circ$  gescand moet worden is er slechts één in te stellen parameter die via Labview wordt ingegeven. Dit is de lengte van de as. Dit komt overeen met de y-beweging. In bijlage 0 is er print screen van het programma van de assen

## 5.3 Labview

Het Labview programma vormt de interface met de gebruiker. Figuur 30 laat het beginscherm zien als Labview wordt opgestart. Er kan gekozen worden voor 4 verschillende programma's: Vrij Bewegen, Scannen vlakke werkstukken, Scannen Assen, Scannen lagers. Verder is er ook nog Resetten en Afsluiten. *Resetten* wordt gebruikt als de motoren een error geven of als men niet wilt dat de motoren bekrachtigd zijn. Hierdoor kan men met de hand dan eventueel de motoren in een gewenste XY-positie plaatsen. *Afsluiten* sluit het Labview programma af en zorgt ervoor dat de motoren gereset worden. Eerst worden de drie scan-programma's besproken en daarna *Vrij Bewegen*.





Figuur 30: Labview startscherm

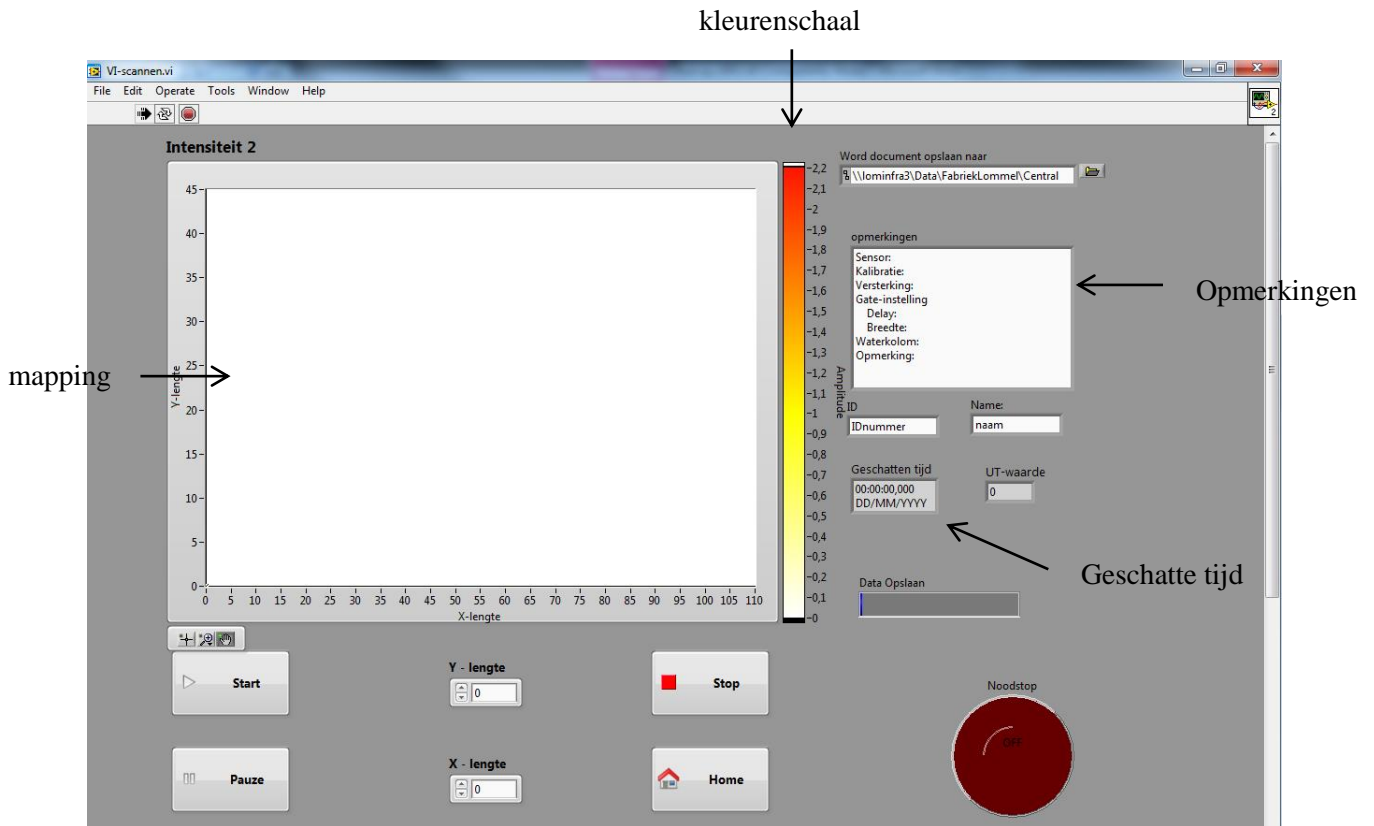
Voor de drie “scan”-programma’s zijn er enkele zaken hetzelfde die eerst besproken worden. Daarna wordt er apart de specifieke elementen voor deze programma’s besproken.

Een eerste wat in elk programma voorkomt is een figuur met hierop de *mapping*. Hier zal nadat er gescand is de mapping verschijnen. Rechts van het vak van de mapping kan de operator de kleurenschaal van de sensorwaarden op de mapping wijzigen. Dit kan handig zijn om meer contrast te krijgen tussen de verschillende waarden en zo kan een fout beter weergegeven worden in de mapping zodat de positie ervan in het werkstuk ook beter te bepalen is.

Rechts in het scherm kan de operator informatie ingeven over het werkstuk in de voorziene tekstvakken, zoals *ID*, *opmerkingen*, *operator*,... . Deze informatie wordt hier ingegeven en mee opgeslagen in het verslag met de mappings. In het vakje *geschatte tijd* zal nadat er op start gedruwd is, de tijd verschijnen wanneer het programma klaar is met scannen. Hierdoor kan de operator zien hoe lang de meting zal duren en aan de hand daarvan eventueel nog andere zaken doen terwijl de meting gebeurt.

Verder bevat elk programmascherm een *noodstop*. Als de operator hier op duwt, zullen alle motoren hun huidige opdracht stopzetten en gaan ze in stop.

Onder de mapping staan nog de parameters die ingevuld moeten worden door de operator. Deze horen bij het werkstuk dat gemeten wordt, en worden verder besproken. Als laatste is er dan op elk programmascherm een *start- en stopknop*. De operator drukt op de startknop indien alle informatie en parameters zijn ingegeven en de sensor op zijn beginpositie staat. Labview stuurt dan de parameters door naar het de PLC en deze begint zijn programma uit te voeren.

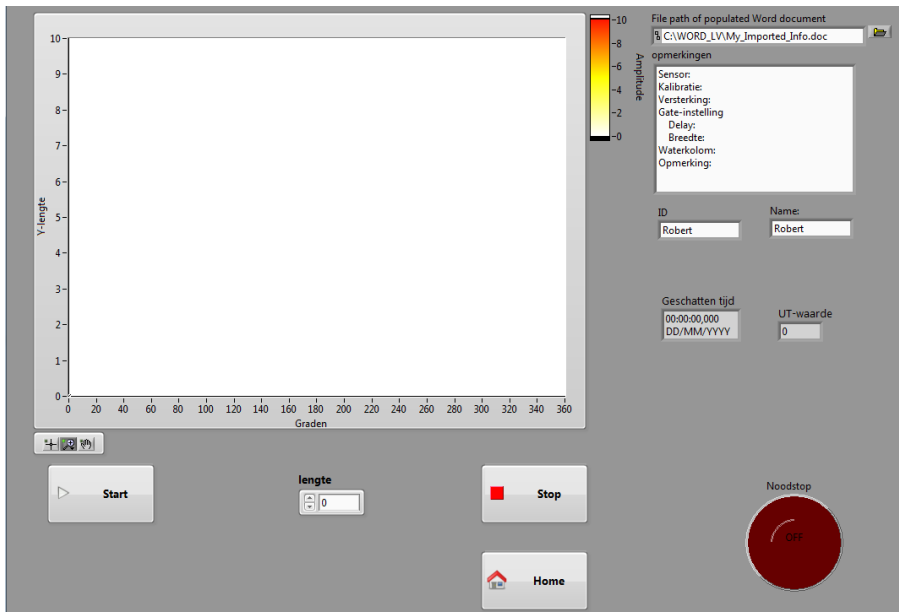


**Figuur 31: Algemene indeling van scannen Labviewprogramma's**

Als de meting klaar is drukt de operator op stop en zullen er 4 vensters openen: 2 afbeeldingen van de mapping, 1 met en 1 zonder grid, een Excel-document met alle waarden die gemeten en doorgestuurd zijn door de ultrasonese sensor en een Word-document met alle informatie die ingegeven is in Labview en de 2 afbeeldingen van de mappings. In dit Word-document kan de operator eventueel nog informatie toevoegen over resultaten van andere testen op dit werkstuk of conclusies die hij/zij trekt uit de mapping. Een voorbeeld van zo een verslag is te vinden in Bijlage 9.2.

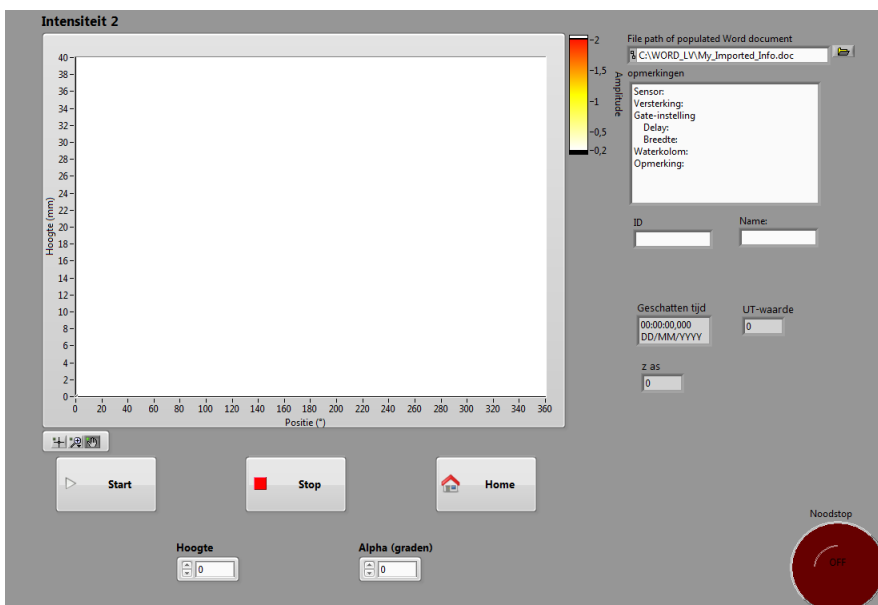
Hieronder wordt nu *Scannen assen* en *Scannen lagers* besproken. *Scannen vlakke werkstukken* wordt hier niet besproken omdat dit reeds besproken is in een vorige masterproef [15].

De interface van het *Scannen assen* programma is te zien in Figuur 32. Dit wordt gebruikt om gestandaardiseerde assen te meten (volgens norm SEP 1927). Omdat het standaard assen zijn die gemeten worden, zal deze lengte meestal 40 cm bedragen. Maar als er bijvoorbeeld maar een deel gemeten moet worden, kan dit bij *lengte* ingegeven worden. De as zal altijd over de volledige 360° gemeten worden. Als alle informatie en parameters ingegeven zijn en de sensor op zijn beginpositie staat, kan de operator het programma starten via *start*.



Figuur 32: Scannen assen Labviewprogramma

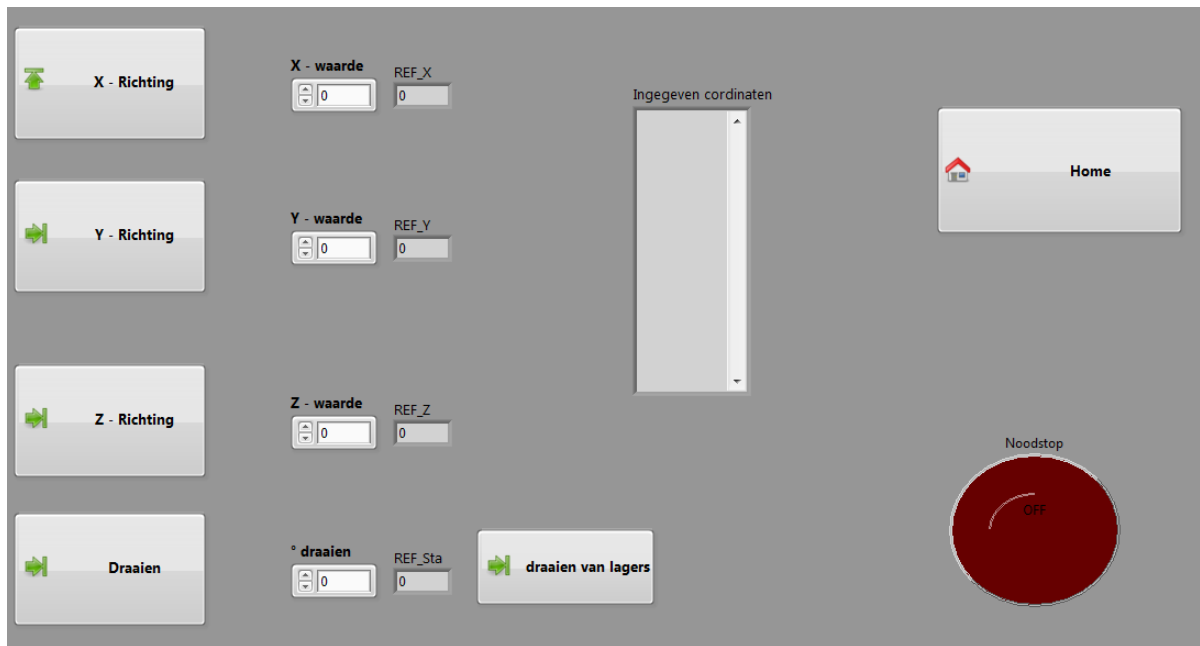
Verder is de interface van het *Scannen lagers* programma te zien in Figuur 33. Dit programma kan gebruikt worden voor de meeste binnen- en buitenringen (lagerschalen) van ronde lagers die gebruikt worden op ZF. De vereiste parameters zijn de hoogte en hoek van de lager. Ook hier zal het programma automatisch de 360° van de lager meten. Er is nog een knop *Vrij Bewegen lagers* voorzien om na de meting naar de fout te gaan. Het verschil tussen de gewone *Vrij Bewegen* is dat hier bij een z-beweging automatisch de y ook meebeweegt afhankelijk van de ingestelde hoek in het lager programma. Zodat er precies naar dezelfde plek wordt gegaan als bij de mapping die gemaakt is.



Figuur 33: Scannen lager Labviewprogramma

Naast de drie “scan”- programma’s is er nog het *Vrij Bewegen* programma. (zie Figuur 34) In het *Vrij Bewegen* programma kan er gekozen worden om alle assen apart aan te sturen. Dit wordt gebruikt om bijvoorbeeld naar de beginpositie te gaan voor de meting of naar een

bepaalde fout te gaan na de meting. Verder worden ook alle coördinaten bijgehouden van de bewegingen die gemaakt zijn.



Figuur 34: Vrijbewegen Labviewprogramma

## 6 Metingen

### 6.1 Ultrasoonmetingen

#### 6.1.1 Belangrijke parameters bij UT-metingen

##### 6.1.1.1 Samenstelling UT-waterbad

Voor een goede meting uit te voeren is het waterbad samengesteld uit een mengsel van volgende vloeistoffen:

- 93% water, tussenstof tussen de UT-sensor en het te meten werkstuk;
- 2% PAS 1, anti corrosieve stof voor de te meten werkstukken;
- 5% DST 15, voor de helderheid van mengsel te behouden.

Uit ervaring is gebleken dat het waterbad zeker om de 2 maanden verversst moet worden om de invloed op de metingen minimaal te houden. Dit kan eventueel nog verhoogd worden wanneer er een filterinstallatie voorzien wordt aan het UT-toestel.

##### 6.1.1.2 Nauwkeurigheid

De geïnstalleerde z-as is zo ingesteld dat de waarden in Twincat te zien zijn in millimeters. Dit maakt het mogelijk om ook eenvoudig in het Labview UT-meetprogramma de z-as te verplaatsen in deze eenheid. Voordat dit effectief toegepast wordt, is er gecontroleerd wat de effectieve nauwkeurigheid is van het toestel. Eerst is dit ruwweg gedaan met een meetlat. Vervolgens is er een meetklok gebruikt om de afwijking van de totale z-as te bepalen. De opgegeven nauwkeurigheid van Bahr van 0.06 mm per 400 mm verplaatsing werd gehaald. Deze nauwkeurigheid is ruim voldoende voor de toepassing van deze z-as.

##### 6.1.1.3 Evenwijdigheid

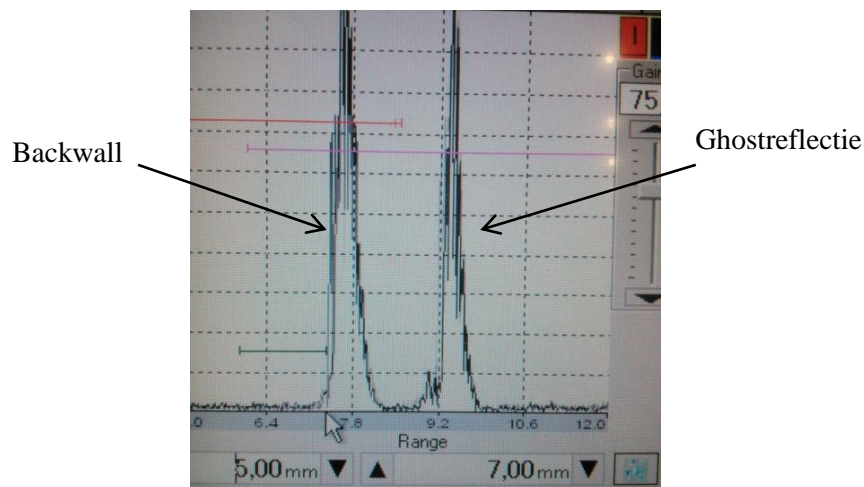
Om een constant UT-signaal te behouden op het werkstuk is het nodig dat de tafel voor het werkstuk en de sensor correct geplaatst zijn ten opzichte van elkaar. Met de sensor kan gecontroleerd worden of de tafel waarop het werkstuk geplaatst zal worden evenwijdig loopt met de XY-beweging van de sensor. Dit gebeurt aan de hand van de frontwallpiek op het USIP-toestel. De afstand van de sensor tot deze piek (het bovenoppervlak van de tafel) is af te lezen op de USIP tot 0.01 mm nauwkeurig. Zo kan er gekeken worden of de tafel evenwijdig ligt ten opzichte van de sensor. Zowel de H-brug voor de xy-beweging als de tafel waar het werkstuk op komt zijn voorzien van instelbare voetjes. Deze kunnen dus aangedraaid worden zodat de sensor evenwijdig met de tafel zal bewegen op een ingestelde hoogte.

##### 6.1.1.4 Ghostreflecties

Een ghostreflectie is een reflectie die afkomstig is van weerkaatsingen van resterend signaal wat in het werkstuk nog eens inwendig teruggekaatst wordt. Een veel voorkomende ghostreflectie is vaak zichtbaar als een 2<sup>de</sup> frontwall in de buurt van de backwall. Deze wordt zichtbaar indien de sensor te kort bij het werkstuk geplaatst wordt. En geeft dan een hoge piek. (zie Figuur 35) Wanneer de sensor nog korter bij het werkstuk geplaatst wordt, kan deze piek voor de backwall komen en dan wordt deze als fout gemeten door de UT-sensor. Dit levert dan foute resultaten op. Dit kan verholpen worden door de sensor verder van het werkstuk af te brengen.

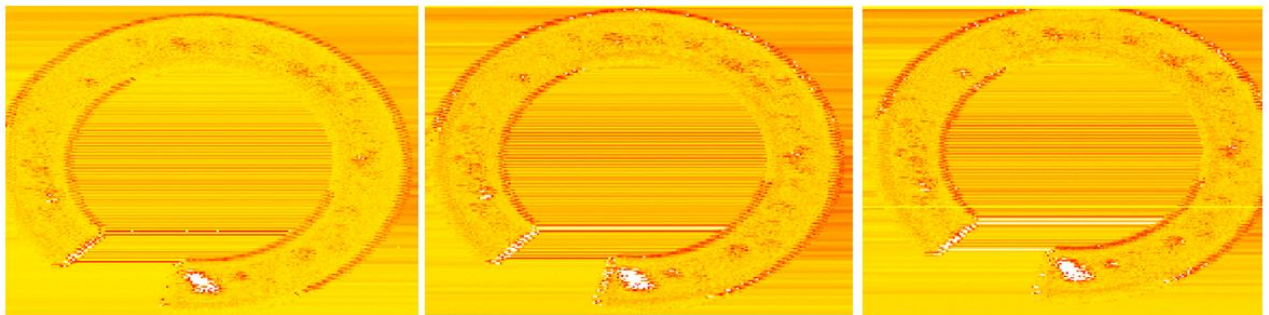
Bij het meten van dunne platte lagers is te zien dat er zich een ghostreflectie vormt achter de BW. Dit is een piek tijdens de UT test die afkomstig is van een reflectie buiten het werkstuk

maar die bij hoogte variatie van de sensor en eventueel een onevenwijdige opstelling, zie 6.1.1.3. In Figuur 35 is het beeld te zien van de BW (linker piek) en deze ghostreflectie (rechter piek).



**Figuur 35: Backwall met ghostreflectie**

Systematisch is er gemeten met verschillende hoogte instellingen zodat de positie van de reflectie op, 0,5 mm langs, en 1 mm van de BW af gelegen is. De resultaten zijn te zien in de onderstaande figuur.



**Figuur 36: Reflectie bij de Backwall (Van links naar rechts: tegen, 0.5 mm achter en 1 mm achter de BW)**

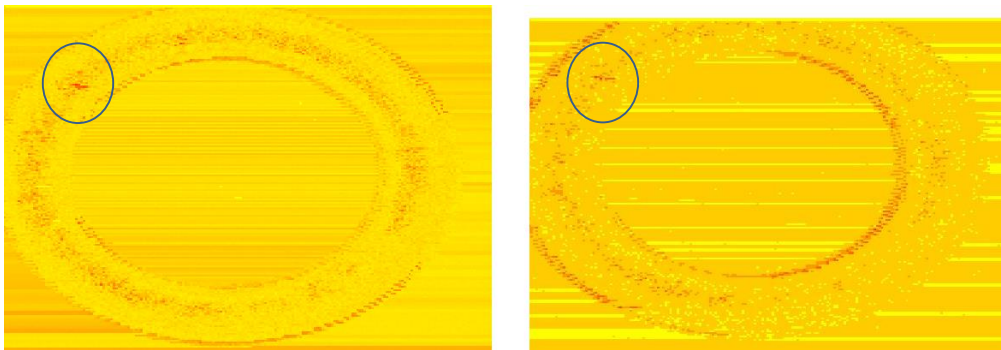
Er is te zien dat wanneer de hoogte zo ingesteld is dat de reflectie korter bij het werkstuk komt, het resultaat minder sterk wordt. De puntenwolken die op fouten duiden zijn minder sterk zichtbaar. En het aantal puntenwolken dus ook het aantal zichtbare fouten op de mapping neemt hierdoor af. Hiermee moet dus ook rekening gehouden worden bij de UT-metingen.

Wanneer er zich een ghostreflectie in het beeld bevindt, zorg er dan voor dat deze zich ver genoeg achter de backwall of het te meten gebied bevindt door de sensor in hoogte te variëren.

Er kan echter wel nog **positief gebruik gemaakt worden van ghostreflecties** wanneer er dieper in het werkstuk fouten gedetecteerd moeten worden. Door de eerste reflectie te laten samenvallen met de BW zal de piek hiervan en de pieken van eventuele fouten versterkt worden. Dit gebeurt dan zonder dat de versterking op de USIP verhoogd wordt zodat de ruis beperkt blijft.

### 6.1.1.5 Versterking

Ook de versterking heeft een invloed op de meting zoals te zien op Figuur 37.



Figuur 37: Versterking (links: 75 dB, rechts: 80 dB)

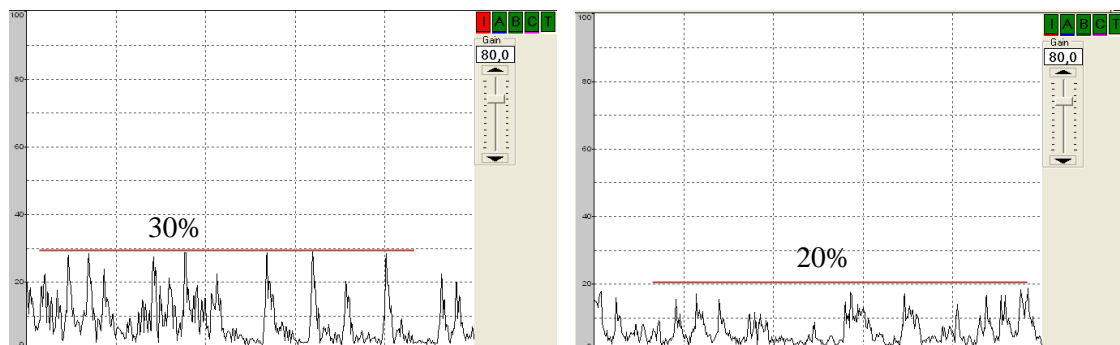
Het linker beeld is een beeld met 75 dB versterking en het rechter beeld is een versterking van 80dB. Zowel op het linker als op het rechter beeld van Figuur 37 is er een fout zichtbaar linksboven op de lager. Maar op het linker beeld komt de loopbaan van de lager beter in beeld. Dit komt omdat bij het versterken ook de ruis versterkt wordt in het materiaal. In het rechter beeld is deze ruisversterking te groot waardoor nuttig signaal van het oppervlak verloren gaat.

Het is dus noodzakelijk om bij nieuwe stukken te onderzoeken bij welke versterking een optimaal beeld voor de gezochte fout verkregen kan worden. Een te lage versterking kan zorgen dat geen enkele fout zichtbaar wordt, en een te grote versterking is dus ook nadelig bij het meten omdat hierbij ruisversterking optreedt. Bij dit type lagers zal dit dus 75dB zijn omdat hierbij de fout op de lager en de loopbaan ervan beter in beeld komen.

### 6.1.1.6 Ruis

Tijdens het meten met het UT-toestel is reeds gebleken dat er veel ruis ontstaat bij het inschakelen van de servomotoren. Deze veroorzaken namelijk elektromagnetische straling die met de UT-sensoren waargenomen wordt. Doordat de aarding van het frame is herzien en er verschillende aardingspunten gemaakt zijn op het frame is de ruis met 10% kunnen verminderen voor de 25 MHz sensor. Voor de 10 MHz sensor was het 5% winst. Hierdoor vermindert de signaal-ruisverhouding wat de metingen nauwkeuriger maakt.

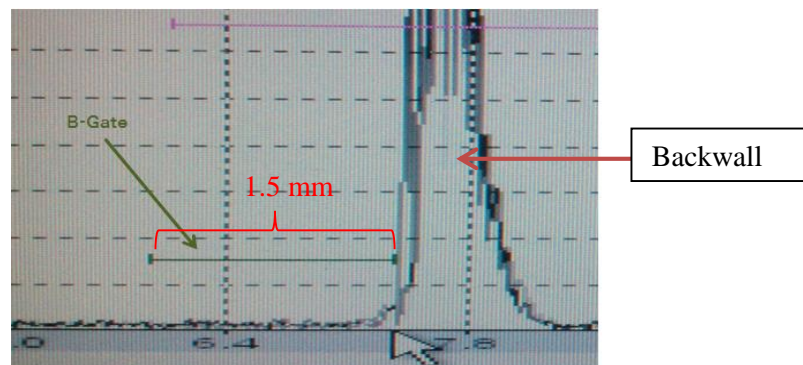
Onderzoek om deze resterende ruis nog verder te verminderen is in de toekomst aangewezen om de meetresultaten te verbeteren.



Figuur 38: Ruis voor en na aarding van het frame bij de 25 MHz sensor

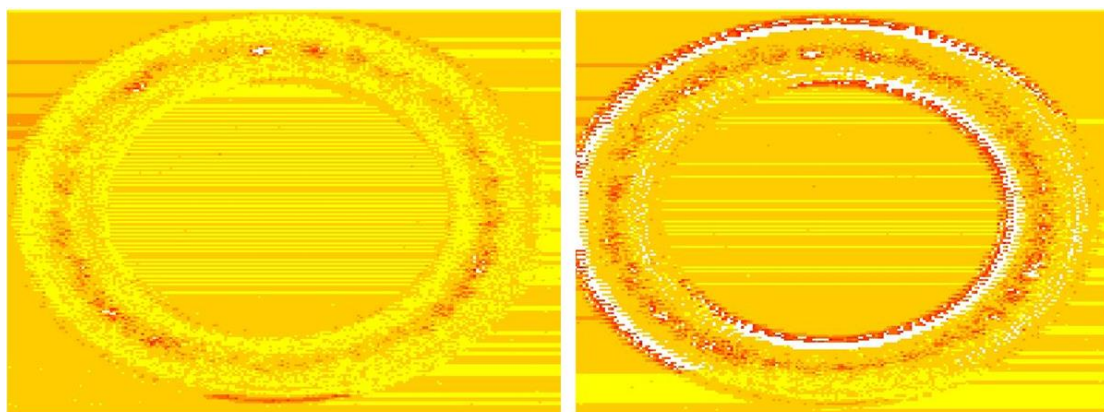
### 6.1.1.7 Meetgebied

Bij het uitvoeren van een meting is het van belang dat het duidelijk moet zijn waar de te meten fout zich bevindt. Hierop moet de B-gate ingesteld worden op de USIP omdat de USIP de hoogte waarde tussen deze B-gate doorstuurt. Bij het meten van lagers met het type: SKF 81212WS - TNX1 is het belangrijk dat er een beeld verkregen wordt van de loopbaan van de lagers. Het loopvlak van de lager wordt naar beneden gelegd en de sensor wordt dan langs boven op de lager gericht. Omdat de te zoeken WEC-netwerken zich zullen bevinden net onder het loopvlak, worden alleen fouten van 1,5 mm voor de BW doorgestuurd. In Figuur 39 is te zien dat de B-gate pas start op een diepte van 6 mm in de lager en de bovengrens is zo dicht mogelijk tegen de BW-piek gelegen om een zo nauwkeurig mogelijk beeld van het loopvlak te krijgen.



Figuur 39: Het te meten gebied (B-gate)

In Figuur 40 is het resultaat te zien op het linker beeld wanneer de B-gate niet helemaal tegen de BW staat, en op het rechter beeld de B-gate echt tegen de BW geplaatst. In het rechter beeld is te zien dat de buiten- en binnenrand ook pieken genereren. Dit is omdat deze vlakken schuin afgeslepen zijn. Hiermee dient rekening gehouden te worden zodat er op het loopvlak van de lager op de mapping een band zichtbaar wordt. Dit is op beide beelden zo, maar op het rechter beeld is deze beter zichtbaar. Doordat tijdens de meting van het linker beeld de B-gate  $\pm 0.1$  mm van de BW-piek af geplaatst is en de meting van het rechterbeeld de B-gate tegen de BW-piek geplaatst is kan besloten worden dat de fouten zich effectief meer in deze laatste 0,1 mm bevinden. De rechtse instelling geeft dus een beter beeld van de op te sporen fout als men niet vergeet om de binnen- en buitenrand buiten beschouwing te laten.



Figuur 40: B-gate tegen de BW



#### 6.1.1.8 Afstand sensor tot werkstuk

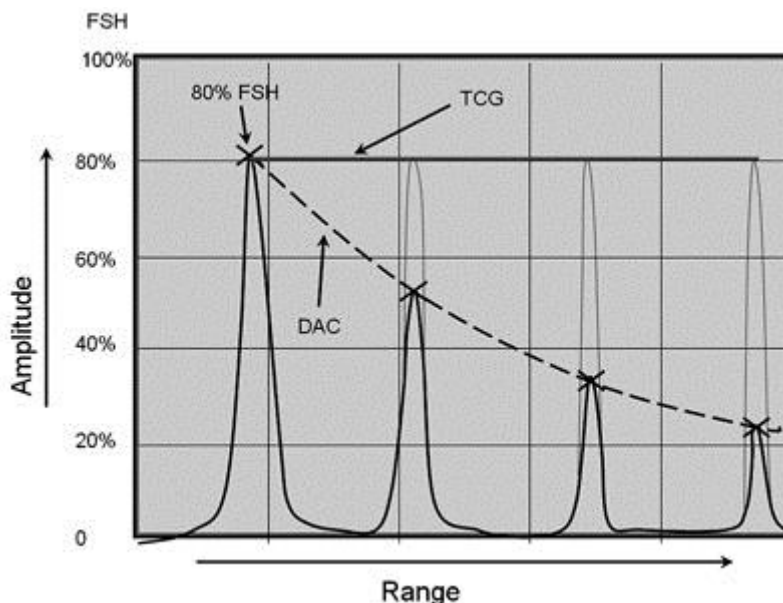
De theoretisch inleiding om de ideale afstand van de sensor tot het werkstuk te berekenen is gegeven in Hoofdstuk 2.2.2. Als voorbeeld wordt er een ronde lager met type SKF 81212WS van 7,50 mm dik genomen. De metingen zijn zo gebeurd dat het belaste deel van de lager, waar er zich dus fouten bevinden, zich vanonder bevindt. Deze lagers zijn zo belast dat de fouten WEC- beschadigingen zijn. Zoals in 2.1 WEC besproken bevindt WEC zich vooral tot 1,5 mm onder het oppervlak.

Volgens de formule uit Hoofdstuk 2.2.2 zou de ideale waterkolomafstand dan  $63 \text{ mm} - 4 \cdot 6.5 \text{ mm} = 37 \text{ mm}$  voor de 25MHz sensor. Wat echter het probleem is bij deze afstand is dat deze te groot is om een goede meting uit te voeren. Het signaal is te veel afgezwakt om een goede meting uit te voeren.

Uit ervaring is gebleken dat de ideale afstand tussen sensor en werkstuk 4 tot 6 mm bedraagt, 4 mm voor dikkere werkstukken ( $< 15 \text{ mm}$ ) en 6 mm voor dunnere werkstukken ( $> 15 \text{ mm}$ ).

#### 6.1.1.9 DAC

Een probleem bij metingen met een ultrasoonsensor is dat fouten die dieper liggen in het werkstuk een lagere reflectie krijgen dan fouten dicht bij de frontwall. Dit komt doordat hoe dieper het ultrasoonsignaal het werkstuk binnendringt, hoe meer verlies van energie het signaal zal ondervinden. Om dit verlies op te vangen is er in de USIP 40 een functie toegevoegd die dit compenseert, nl. de DAC-functie. De functie kan men opstellen met behulp van een kalibratieblok waar boringen met gelijke diameters maar op verschillende dieptes zijn ingebracht. Op de Figuur 41 ziet men een A-scan van 3 dezelfde boringen op verschillende dieptes. Door van deze boring de amplitude en de diepte van de fouten in te geven, kan de USIP 40 hiervan een DAC-curve opstellen. Als men dan deze meting opnieuw doet, verkrijgt men een A-scan waar al deze boringen een gelijke amplitude krijgen, zie lichtgrijze pieken op Figuur 41.



Figuur 41: DAC-curve

### 6.1.2 Kalibratie methode

Het is belangrijk om het toestel juist te kalibreren zodat er geweten is hoe groot de gemeten fout is. Indien er niet gekalibreerd zou worden, dan is het zo dat dezelfde fouten in hetzelfde of in een ander werkstuk een andere amplitude kunnen hebben. Dit komt omdat er heel wat factoren zijn die de amplitude van een fout beïnvloeden. Bij een kalibratie is het de bedoeling om deze factoren zo veel mogelijk te elimineren.

Er bestaan verschillende normen om deze kalibraties uit te voeren. Eén daarvan is de SEP 1927. Dit is van toepassing op gewalste of gesmede proefstukken met een massieve geometrie. Meer info hierover te vinden in een vorige masterproef: Ontwerpen en opbouw van een ultrasone C-scanner voor detectie van inclusies in staal. [16]

Verder is er ook nog de MIDAS-norm. Deze norm geldt voor plat gewalste platen. Hierover is ook meer info te vinden in de masterproef van hierboven. [16]

Maar omdat er niet een uitgeschreven methode bestaat om te kalibreren voor de lagerschalen en andere werkstukken bij ZF, is hierover samen met ir. David Chiaradia nagedacht om een interne kalibratiemethode te definiëren. De parameters die bij deze kalibratie geëlimineerd moeten worden, zijn de volgende:

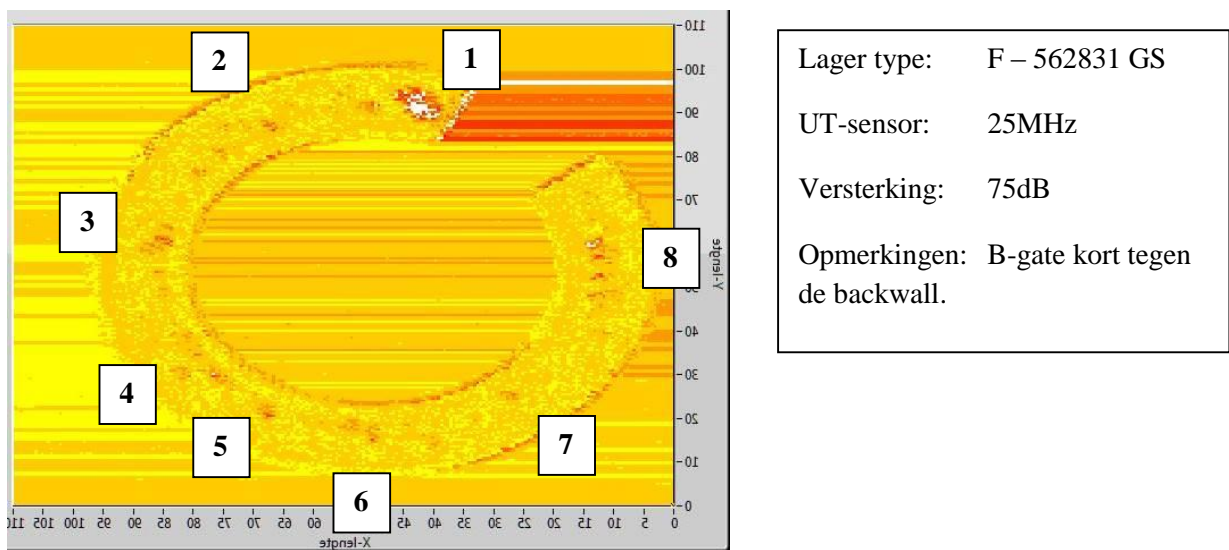
- Afstand van de sensor tot het werkstuk (waterkolom)
- Diepte van de fout in het werkstuk
- Dikte van het werkstuk

Dit zal in de nabije toekomst binnen ZF verder onderzocht worden om zo naar hun klanten de staalkwaliteit van hun producten te garanderen.

### 6.1.3 Resultaat UT-meting oppervlakte schade

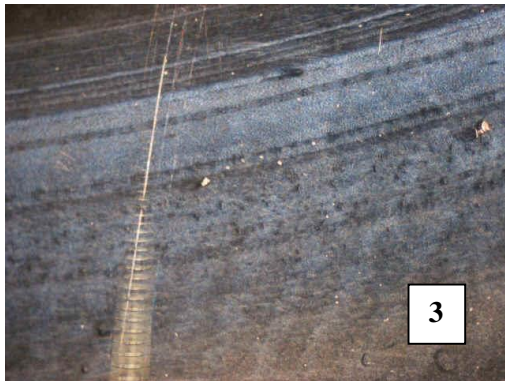
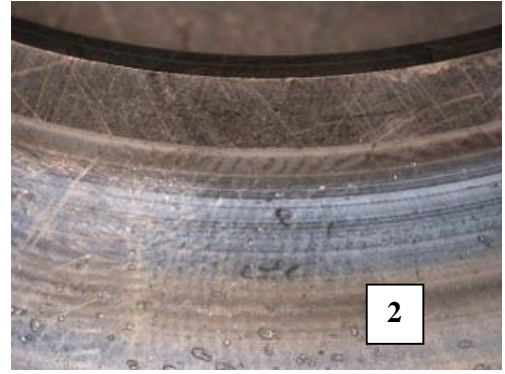
Als eerste is een lager met zichtbare schade aan het oppervlak gemeten. Dit vergemakkelijkte de interpretatie van de gemaakte mapping. Er is gekeken naar de puntenwolken die rood zichtbaar werden op de mapping en deze zijn genummerd van 1 tot en met 8. Elke punten wolk toont een fout. Het is aan de operator om verder te onderzoeken over welk soort fout het gaat. Omdat uit deze lager al het stuk met WEC gesneden is zullen de fouten hierop een andere aard zijn. Maar de meting was wel kort tegen het lageroppervlak gemeten. Daarom is geprobeerd om de fouten op te sporen met een microscoop.

De resultaten van de microscoop zijn te zien in het volgende Hoofdstuk 0. De posities van de puntenwolken zijn bekeken en op al de aangeduide punten wolken was er oppervlakte beschadiging zichtbaar als witte punten op de donkere achtergrond van het lageroppervlak. Enkel bij puntenwolk 2 was niet direct een oppervlaktefout zichtbaar. Hier zou er zich eventueel een fout, vlak onder het oppervlak, kunnen bevinden en dit zou om WEC-schade kunnen gaan. Het lager is naar aanleiding hiervan ter hoogte van deze puntenwolk doorgeslepen en nogmaals microscopisch onderzocht. Maar ook hier was er geen WEC kunnen vaststellen. Dit kan komen doordat de puntenwolk 2 een fout in de meting is. Maar dit lijkt onwaarschijnlijk omdat dit gebied bij elke meting die uitgevoerd werd opnieuw zichtbaar werd. Experts van het labo hebben dan verteld dat het dan waarschijnlijk niet zichtbaar is geworden omdat de plaats van uitsnijding niet nauwkeurig genoeg aangeduid was. Het onderzoek om WEC met het UT-toestel zichtbaar te maken moest dus voortgezet worden.



Figuur 42: UT resultaat + foutennummering

6.1.3.1 Microscop beelden oppervlakte schade

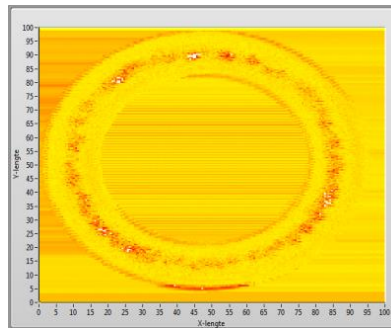


### 6.1.4 Resultaat UT-meting voor WEC detectie

Om WEC schade te gaan detecteren met het UT-toestel is er op zoek gegaan naar lagerschalen waarvan een sterk vermoeden was dat ze dit type van fout hadden. Er zijn voor het testen enkele ronde vlakke lagerschalen (type: F-562831-011 en SKF 81212 TN/X1) ter beschikking gesteld waarvan geweten was dat er WEC schade zit omdat deze speciaal gebruikt zijn om WEC te bevatten. En later ook nog grotere ronde lagers die op de draaitafel van het UT-toestel onderzocht werden.

#### 6.1.4.1 Lager type 81212

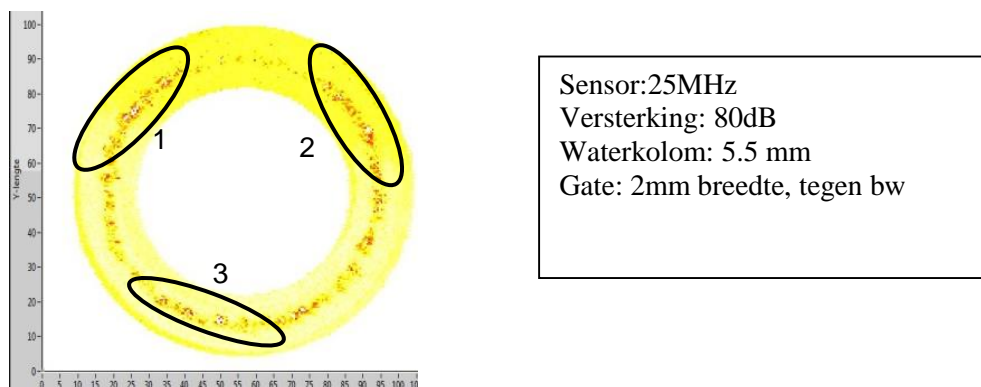
Op deze lagerschalen zijn er metingen uitgevoerd. De lagerschalen werden met hun loopvlak naar beneden gericht zodat het loopvlak als backwall van de UT meting in beeld zou komen. De backwall kan nauwkeuriger gemeten worden als de frontwall. Dit is omdat er vlak na de frontwall nog oppervlaktereflectie optreedt omdat het UT-signaal vanuit de waterkolom het materiaal binnendringt. De breedte van deze oppervlaktereflectie is afhankelijk van de frequentie en het type sensor. De gate waarvan het signaal wordt doorgestuurd is Gate B (zie Bijlage 9.1.1). Deze wordt dan zo kort mogelijk tegen de backwallpiek gelegd zodat fouten die er net voor liggen kunnen gedetecteerd worden. Door dit toe te passen is een eerste positieve resultaat gemeten. (zie Figuur 43) Er is hierop duidelijk een band te zien die aan de binnenkant t.o.v. het midden van de lager gelegen is. Naast de figuur staan de parameters waarmee gemeten is:



**Figuur 43: 1ste meting 25MHz-75dB**

Sommige fouten waren zichtbaar, andere niet. Om zeker te zijn dat de mapping een correct beeld gaf, zijn er nog enkele metingen uitgevoerd en zijn de parameters (zie Hoofdstuk 6.1.1) aangepast om een beter beeld te creëren. Tijdens verdere metingen zijn deze parameters ook bijgehouden in de verslagen die gemaakt werden op ZF zodat de metingen met dezelfde parameters opnieuw uitgevoerd kunnen worden.

Omdat er algemeen gezegd wordt dat WEC-schade zich bevindt tot 1,5 mm onder het loopvlak van lagerschalen is er gemeten over de laatste 2 mm in het oppervlak voor de backwallpiek. Hierdoor worden de fouten die zich eventueel voor het gebied van mogelijke WEC bevinden niet getoond. Uiteindelijk gaf dit een resultaat zoals te zien is op Figuur 44.

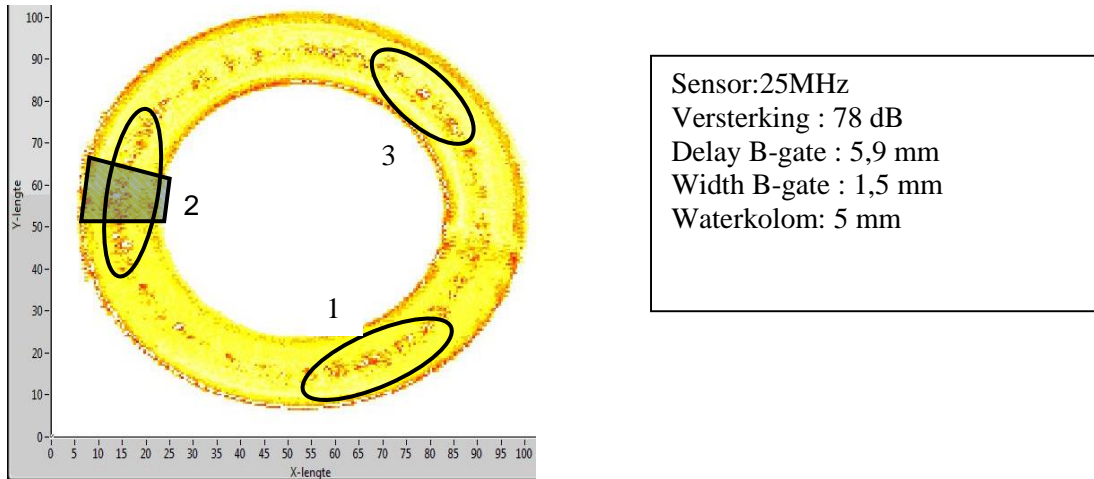


**Figuur 44: Meting met nodige parameters**

Wat opviel was dat er op de mapping van Figuur 44 drie gebieden zichtbaar waren die met het blote oog

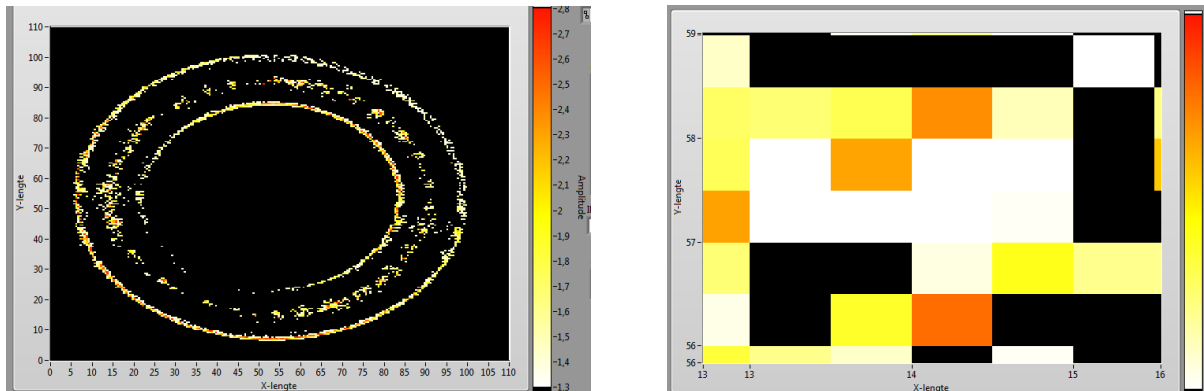
niet te zien waren op het lagerschaal loopvlak. Dit gaf al een eerste indicatie aan dat er zich hier WEC zou bevinden.

Uiteindelijk is er na finetunen van de parameters om WEC te kunnen detecteren een laatste meting gebeurd om te bepalen waar de lagerschaal opengesneden zal worden voor microscopisch onderzoek. Het resultaat hiervan is te zien op de onderstaande figuur:



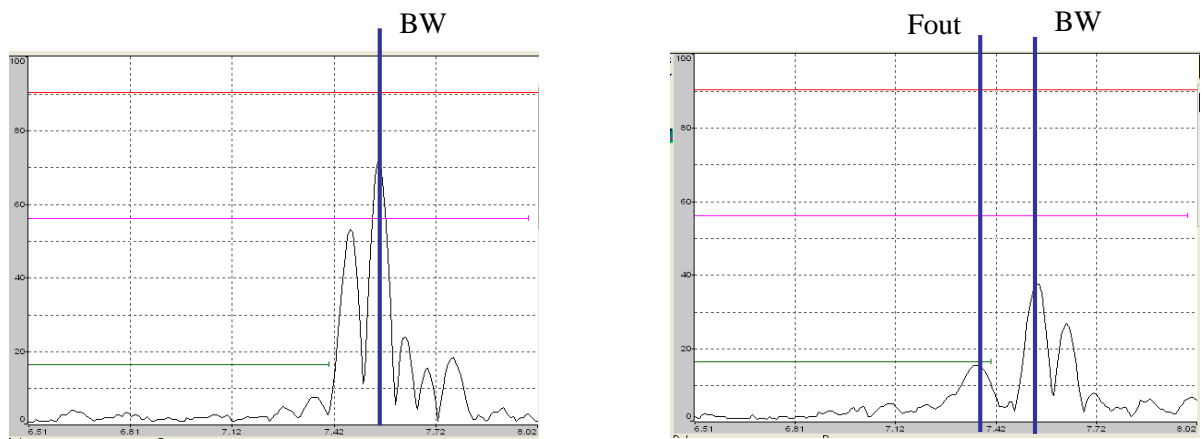
**Figuur 45: Meting voor uitsnijding**

De drie gebieden waren ook hier nog steeds zichtbaar. De ondergrens in de mapping van het programma “Scannen vlakke stukken” is vervolgens op 1,3 gelegd. Hierdoor worden alle pieken die onder de 13% liggen weggefilterd. Deze filtering zorgt ervoor dat de ruis dan niet meer op de mapping voorkomt. En zo zijn er enkel nog effectieve fouten op of veranderingen in de microstructuur van de lager zichtbaar op de mapping.



**Figuur 46: Mapping met wegfiltering ruis onder 13% + Zoom**

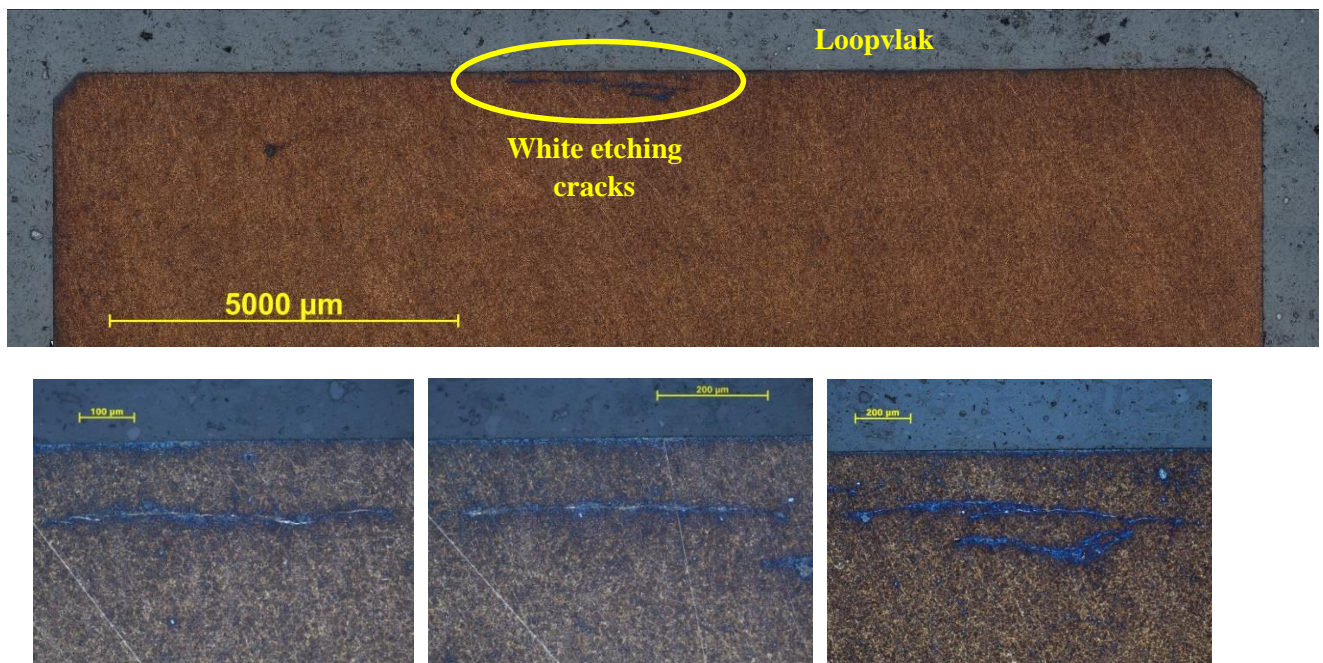
Er is dan via het programma “Vrijbewegen” naar de gebieden gegaan en deze zijn dan nog eens lokaal onderzocht door in elk gebied de mapping in detail te gaan bekijken (zie Figuur 46 rechts) en door naar de A-scan op de USIP 40 te kijken. (zie Figuur 47)



**Figuur 47: A-scan van WEC op de USIP 40 (links BW, rechts over de fout)**

Door A-scan op Figuur 47 te bestuderen is te zien dat het verschil tussen de lijn van de BW en de lijn door de piek van de fout ongeveer 1/3 is van één stap op de x-as. En omdat één verdeling op de x-as overeenkomt met een diepte verschil van 0.3 mm kan geschat worden dat de fout die we meten op 0.1 mm onder het loopvlak van de lagerschaal ligt. Dit gaf een goede indicatie dat het hier om WEC zal gaan.

Figuur 48 geeft uiteindelijk enkele beelden van het microscopisch onderzoek wat is uitgevoerd door het labo op ZF. Dit toont een heel mooi netwerk van WEC dat zich vlak onder het loopvlak van de lagerschaal bevindt. Het uitgebreid rapport is te vinden in bijlage 9.3. Hiermee kunnen we dus bevestigen dat op lagers van het type en SKF 81212 TN/X1 en lagers met dezelfde afmetingen en ingestelde parameters WEC gedetecteerd kan worden met het aanwezige toestel op ZF.



**Figuur 48: Microscopische bevestiging van WEC**

#### 6.1.4.2 Resultaten CARB lager

Deze CARB C3052 lager met diameter 40 cm is opgestuurd naar Vogt waar er een UT-meting is gebeurd op deze lager. Deze mapping van Vogt kon gebruikt worden om de mapping die met het UT-toestel van ZF gemaakt is te vergelijken.

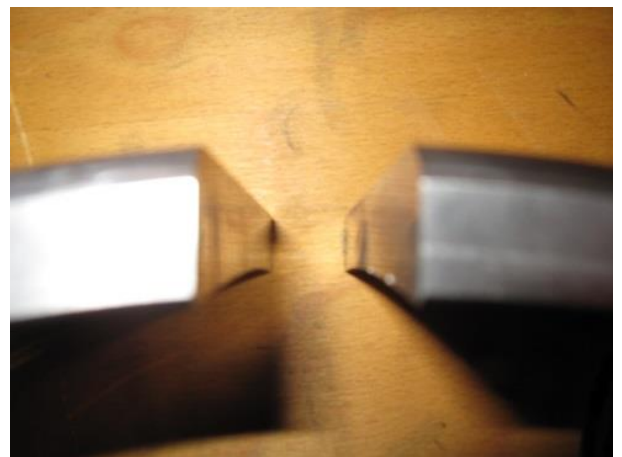


Figuur 49: CARB C3052 lager

Het lager heeft al oppervlaktebeschadigingen ten gevolge van WEC. (zie Figuur 51) Daardoor was deze lager al doorgesneden voor microscopisch onderzoek en hieruit bleek dat er WEC aanwezig was. Verwacht werd dat rond deze oppervlaktebeschadigingen nog veel meer WEC-netwerken zouden zitten. Dit is bevestigd op de mapping van Vogt. Deze lager is dus ideaal om het UT-toestel te testen voor grotere lagers.



Figuur 51: Zichtbare oppervlakteschade

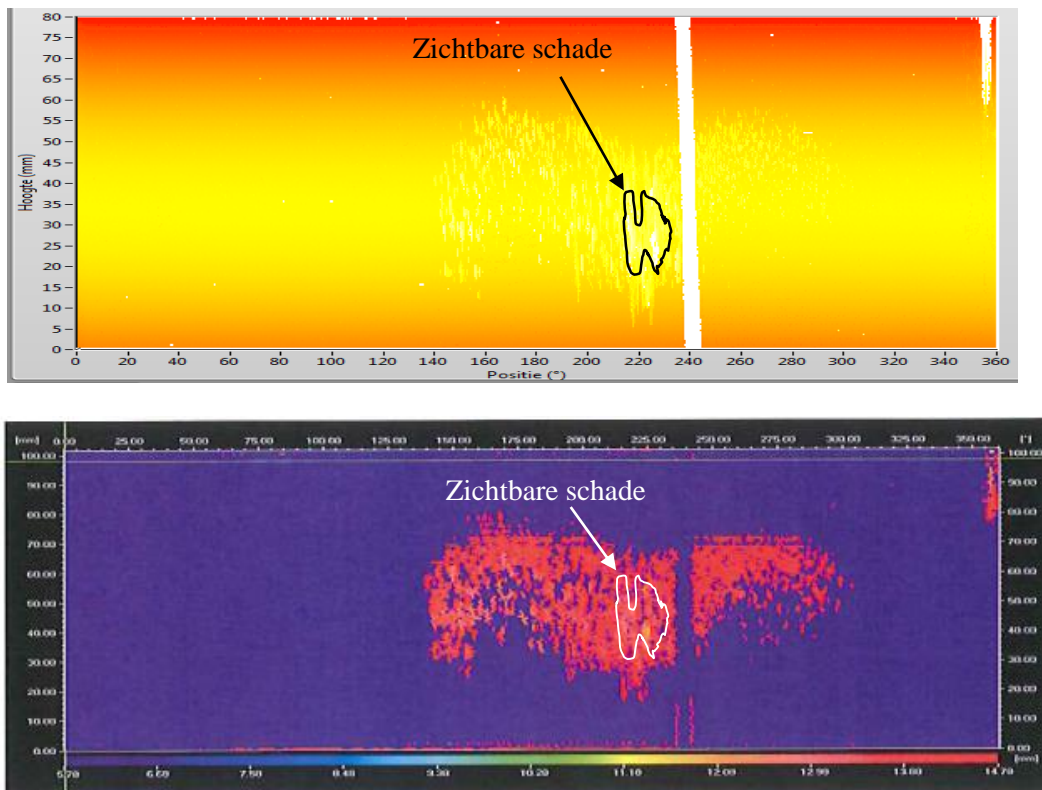


Figuur 50: Lager is licht hol

De eerste testen hierop verliepen moeilijk omdat de lager een variabele dikte heeft. (zie Figuur 50) De methode die normaal gebruikt wordt (zie Hoofdstuk 2.2.5, eerste methode) om WEC te detecteren was hierdoor niet mogelijk.



Er is dan gekozen voor een alternatieve methode die gebruik maakt van het TOF principe (zie Hoofdstuk 2.2.5, laatste methode). Met deze methode zijn er direct goede metingen bekomen die zo goed als perfect overeenkomen met de metingen van Vogt (zie Figuur 52)



**Figuur 52: Bovenste: eigen mapping; Onderste: externe mapping door Vogt**

De witte streep die op de eigen mapping te zien is, is de doorsnede die gemaakt is in de lager. Links van deze streep is een deel van de zichtbare oppervlakteschade te zien. Hierrond is duidelijk om de 2 mappings dat er zich WEC-netwerken bevinden. Rechts van de doorsnede is echter ook nog een groot deel waar er WEC-netwerken zijn. De streep rechts bovenaan de mappings is ook een zichtbare fout.

Wegens het drukke schema van het labo is op deze lager geen microscopisch onderzoek kunnen gebeuren. Maar het feit dat er dezelfde mapping is bekomen als de van Vogt, kan er gesteld worden dat het UT-toestel geschikt is om WEC te vinden om verschillende soorten lagers. Er is wel een nog vergelijking gebeurd tussen het resultaat van de ultrasoon mapping en een wervelstroommeting. (zie Hoofdstuk 6.3)

## 6.2 Wervelstroommetingen

### 6.2.1 Aanwezige toestel + probes

Het toestel dat ter beschikking is op het labo van ZF is een ELOTEST M2 V3. Bij dit toestel was de handleiding en een KAS 61-7 probe aanwezig. (zie Figuur 53) Dit is een absolute probe met een actief meetgebied van 9 mm. Sommige van de te meten lagerschalen hadden slechts een te onderzoeken loopvlak van 12 mm breedte. Naar aanleiding hiervan is er gezocht naar probes die een kleinere diameter hadden. Met deze probes kan het dan in de toekomst beter zijn om een mapping te maken voor lagers met zulke smalle loopvlakken.



Figuur 53: ELOTEST M2 V3 + Probe KAS 61-7

Tijdens het onderzoek is er contact opgenomen met de producent van het toestel (Rohmann GmbH). Er is dan een verantwoordelijke langsgekomen op de labo afdeling die een hele dag de verschillende mogelijkheden van probes overlopen heeft en enkel demometingen heeft uitgevoerd.

De verantwoordelijke had een ELOTEST M3 als meettoestel. De voordelen van dit toestel waren dat het een gekleurde display had met software die iets uitgebreider was dan dat van de M2 en dat er meer connectie mogelijkheden waren om de resultaten op een PC zichtbaar te maken. Maar de handelingen zoals het aansluiten en kalibreren van de probe voor het meten waren het zelfde. Daardoor bleek de aanschaf van de ELOTEST M3 niet meteen een meerwaarde voor het labo.

Wat wel geconstateerd is dat er vele probes waren die een veel kleinere actieve zone hadden. Hierdoor kunnen er beter mappings van lagerschalen gemaakt worden. Zo zijn er bijvoorbeeld de volgende sensoren aangekocht: KA 2-1 en KD 2-1. De KA is een absolute probe en de KD is een differentiaal probe. Beide probes zijn gekocht in een gestandaardiseerd potlooddesign uit kunststof van Rohmann. (zie Figuur 54) Doordat de probes dezelfde dimensies hebben kan men voor het ontwerp van een probehouder met één houder de twee probes gebruiken.



Figuur 54: Rohmann potlooddesign

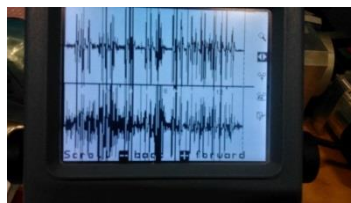
Uiteindelijk is er ook nog een KD 4-1 probe aangekocht die in een kunststof behuizing zat en reeds door zijn design geschikt was voor het meten van vlakke stukken. Meer uitleg over de aangekochte probes en het ELOTEST M2 V3 zijn te vinden in Bijlage 9.7.

### 6.2.2 Meetresultaten

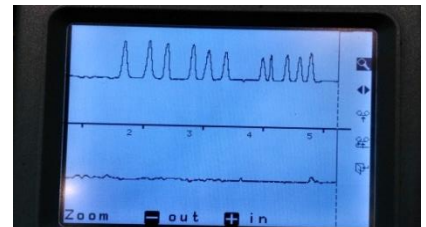
De ELOTEST + KAS 61-7 probe is aangekocht geweest is in 2008 en is het begin van deze masterproef nooit echt gebruikt geweest. Na het doornemen van de handleiding en kort experimenteren bleek al snel dat dit een zeer gebruiksvriendelijk apparaat was. Na het instellen van de belangrijkste parameters is het al mogelijk om zichtbare fouten te detecteren en zichtbaar te maken op het toestel. (zie Figuur 55)



Eerste meting



Auto-parameter instelling



Figuur 55: Eerste wervelstroommeetresultaten

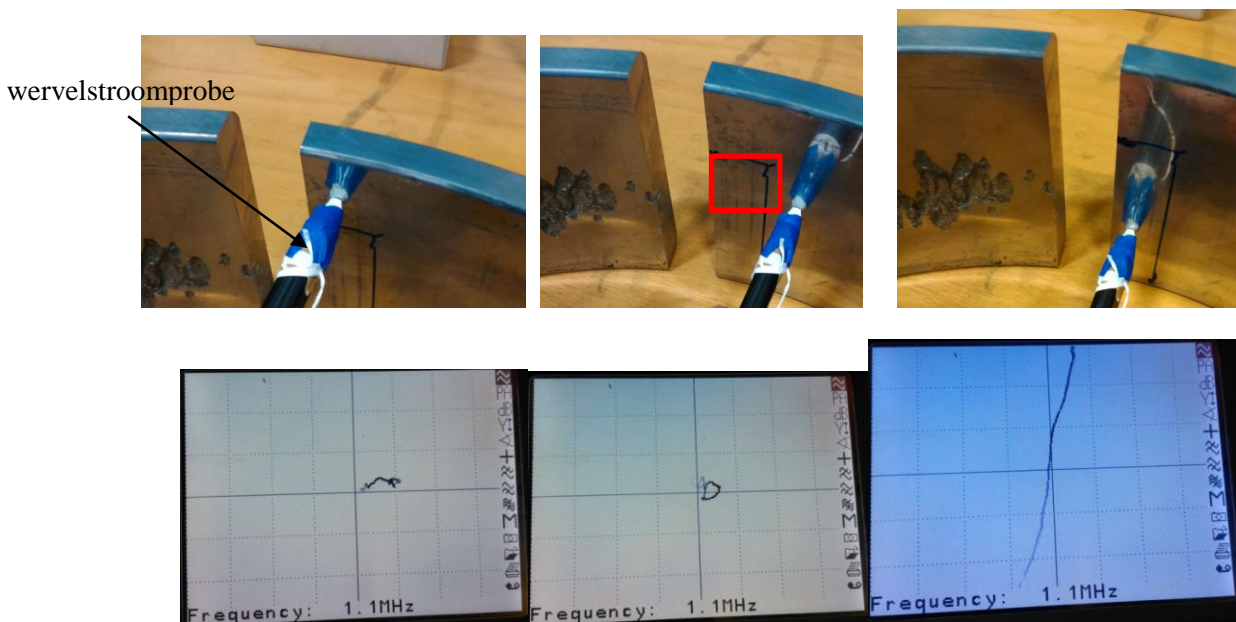
De volgende stap is om fouten onder het oppervlak te kunnen detecteren. Dit wordt besproken in volgende hoofdstuk.

### 6.3 Vergelijken van ultrasoon- en wervelstroommeting

Als vergelijking tussen de 2 methodes wordt gebruik gemaakt van het CARB C3052 lager die ook al besproken is in Hoofdstuk 0. Door de ultrasoonmetingen (zowel intern als extern door Vogt) is geweten waar er zich WEC bevindt in deze lager. In dit deel komt dus het zoeken van fouten onder het oppervlak aan bod.

Voor de wervelstroommeting is gebruik gemaakt van de KA2-1 probe. Omdat WEC-netwerken niet allemaal in één richting liggen is er gekozen voor deze absolute probe en niet voor een differentiaal probe (zie Hoofdstuk 2.3.2) De probe is correct ingesteld

Met deze probes is er dan naar het gebied van de lager gegaan waar ook op de UT-resultaten puntenwolken van fouten die vlak onder het oppervlak liggen. (zie Figuur 56)



Figuur 56: Wervelstroomonderzoek voor WEC detectie

Er zijn duidelijk pieken geregistreerd in een gemeenschappelijk deel waar ook de ultrasoonmeting fouten waarnam. (zie rechts tekening Figuur 56) De vorm van het gebied was echter beperkt tot een rechthoekig gebied van de eerste 10° langs de snijlijn van een eerdere destructieve test.

Voor het microscopisch onderzoek wordt dus aangeraden om de lager in het gemeenschappelijk gebied van de UT-meting en het gebied waar fouten waargenomen worden met het wervelstroomtoestel de lager door te snijden. (zie rode kader op Figuur 56) Dit is wegens tijdgebrek nog niet kunnen gebeuren. Aangezien er 3 verschillende metingen (2 ultrasoon- en 1 wervelstroommeting) zijn die allemaal dezelfde resultaten geven, en er in de eerder gebeurde uitsnijding voor microscopisch onderzoek een volledig gebied vol met WEC gevonden is, kan hieruit besloten worden dat er WEC-netwerken zitten in deze lager en dat zowel het ultrasoontoestel als het wervelstroomtoestel geschikt is om deze WEC te vinden. Met het verschil dat het ultrasoontoestel hiervan al een mapping kan maken en het wervelstroomtoestel nog niet.

## 7 Conclusie

De vooropgestelde doelstellingen zijn gerealiseerd.

Het UT-toestel is afgewerkt en is klaar om gebruikt te worden door ZF Windpower:

- mechanische uitbreidingen ,
- testen en kalibratie met de nieuwe 25MHz sensor,
- succesvolle metingen op vlakke stukken, cilinders en lagers,
- het verminderen van kinderziektes zoals software problemen, trillingen en EM-ruis,
- succesvolle reproductie van een externe meting,
- extra: schrijven van het programma voor het meten van cilinders.

Met het wervelstroomtoestel zijn de eerste stappen ondernomen om metingen voor WEC-detectie uit te voeren:

- testen en instellen van het toestel
- aankopen van nieuwe sensoren voor WEC detectie
- succesvol brandschade en WEC gedetecteerd
- schrijven van een handleiding

Uiteindelijk zijn er op een lager met een gekende mapping van WEC-schade controlemetingen uitgevoerd zowel met het ultrasoon- als met het wervelstroomtoestel. Het ultrasoon-toestel kon eenzelfde mapping genereren en met het wervelstroomtoestel werd in en rond hetzelfde gebied van WEC-schade, fouten gedetecteerd. Voor effectief het lager open te slijpen voor microscopisch onderzoek wordt uiteindelijk aangeraden om dit te doen op de plaats waar het gebied met fouten uit de ultrasoonmapping en het gebied waar fouten gedetecteerd zijn met het wervelstroomtoestel elkaar overlappen.

Er zijn nog enkele verbeterpunten/uitbreidingen die aangebracht kunnen worden aan het UT-toestel:

- de ruis kan nog meer onderdrukt worden door ervoor te zorgen dat storing van de motoren het reservoir met water niet meer kan bereiken;
- de sensorhouders zijn nu handmatig in te stellen zodat het beste signaal wordt bekomen. Dit kan nog geautomatiseerd worden zodat dit nauwkeuriger gebeurt en dus een beter resultaat bekomen wordt;
- er kan een filter installatie op het waterreservoir geplaatst worden om de waterkwaliteit langer goed te houden voor het uitvoeren van UT-metingen;
- de uitlijning van de H-brug dient nog geoptimaliseerd te worden zodat deze minder last heeft van schokken tijdens het bewegen in de Y-richting. Dit kan vooral voordelig zijn voor het scannen van assen.



## 8 Bibliografie

- [1] ZF Wind Power, „ZF Wind Power,” [Online]. Available: <http://www.zf.com/corporate/en/homepage/homepage.html>. [Geopend 5 April 2015].
- [2] M.-H. Evans, „White structure flaking (WSF) in wind turbine gearbox bearings: effects of 'butterflies' and white etching cracks (WECs),” 2011.
- [3] A. Greco, „Bearing Reliability-White Etching Cracks (WEC),” Argonne, 2014.
- [4] H. Uyama, „The Mechanism of White Structure Flaking In Rolling Bearings,” Japan, 2011.
- [5] SKF, „Premature wind gearbox bearing failures & white etching cracks (WEC),” 2014.
- [6] P. Perry Sprawls, „Ultrasound Production and Interactions,” in *The Physical Principles of Medical Imaging, 2nd Ed.*.
- [7] G. M. & Control, „Ultrasonic Transducers,” 2008.
- [8] „Nihon Dempa Kogyo CO LTD,” [Online]. Available: <http://www.ndk.com/en/products/search/ultrasonic/>. [Geopend 26 april 2015].
- [9] T. N. a. C. Calderwood, „Introduction to Eddy Current Testing,” Olympus, [Online]. Available: <https://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/>. [Geopend 3 Maart 2015].
- [10] R. Gmbh, Product Catalog, 2008.
- [11] Rohmann Gmbh, „Powerpoint Basic ET Kurz,” 2015.
- [12] SKF, SKF Rolling bearings, PUB BU/P1 10000 EN, October 2012.
- [13] ZF Windpower, „Labo UT-meettoestel: Documentatie,” Lommel, 2015.
- [14] „National Instruments,” [Online]. Available: <http://www.ni.com/labview/>. [Geopend 25 4 2015].
- [15] L. A. Riccardo Delvax, Masterproef: Detectie van insluitsels in staal met behulp van ultrasone C-scans, Hasselt, 2014-2015.
- [16] J. K. Thomas Voets, „Ontwerpen en opbouw van een ultrasone C-scanner voor detectie van inclusies in staal,” 2013-2014, pp. 24-31.
- [17] O. L. L.K. Porter, „Ultrasonic's,” in *A Handbook for Underwater Inspectors*, Stationery Office Books, 1988, p. 518.
- [18] L. W. H. J. R. W. M.-H. Evans, „White etching crack (WEC) investigation by serial sectioning, focused ion beam and 3-D crack modelling,” Elsevier Ltd., 2012.

[19] Olympus, „Ultrasonic Transducers Technical Notes,” Olympus NDT, 2006.



## 9 Bijlagen

9.1	Werking UT-toestel.....	64
9.1.1	Werking Usip 40 .....	64
9.1.2	Stappenplan bij TOF metingen voor lager met variabele dikte.....	65
9.1.3	Ultrasoonsensoren: .....	66
9.1.4	Soorten metingen.....	67
9.1.5	Verwerken resultaten met ImageJ .....	68
9.1.6	Labview .....	69
9.2	Volledig rapport UT-meting.....	71
9.2.1	Worddocument .....	71
9.2.2	Excelandocument .....	72
9.3	Verslag WEC-detectie op lager SKF 81212 TN/X1 .....	73
9.4	Printscreens twincat.....	75
9.4.1	Scannen lagers.....	75
9.4.2	Scannen assen.....	76
9.5	Opbouw UT-toestel .....	77
9.5.1	Opbouw assen-opstelling .....	77
9.5.2	Opbouw lagers-opstelling .....	81
9.6	Handleiding Elotest M2 .....	85
9.7	Documentatie wervelstroomtoestel + probes .....	88
9.8	Onderdelenlijst .....	94
9.9	Samenstellingstekeningen .....	95
9.10	Onderdeel tekeningen.....	98

## 9.1 Werking UT-toestel

### 9.1.1 Werking Usip 40

- Instellingen:
  - IF start = uit
  - Echomax = uit
  - Compare = uit
  - Link display = aan
  - Delay = 0 mm
- Plaats de sensor boven het werkstuk
- Range: eerst op 200 mm zetten zodat duidelijk te zien wat uw front-en backwall is en eventueel de ghostreflecties.
- Gate I (rood): wordt gezet op de frontwall, breed genoeg nemen zodat als het werkstuk niet evenwijdig staat er nog altijd gemeten kan worden en hoog genoeg zodat andere reflecties niet tot de I-gate geraken.
- Gate C (roze): wordt gezet op de backwall zodat de dikte van het werkstuk afgelezen kan worden.
- Gate B (groen): het hoogste signaal wat zich tussen deze gate bevindt wordt doorgestuurd naar Labview. Het percentage wat op dat moment gemeten wordt, vindt men onderaan de parameterlijst. Deze wordt dus ingesteld afhankelijk van waar de fout gezocht wordt.
- Gate A (blauw): wordt momenteel nog niet gebruikt maar kan als extra signaal gebruikt worden om positie van de fout beter te weten.
- Instellingen en posities van de gates kunnen ingesteld worden in het menu – gate-... . Vooral *Gate position* is handig omdat hier de gates perfect ingesteld kunnen worden.
- IF-start aanzetten ( er wordt getriggerd op de I gate)
- Range: instellen op dikte werkstuk + enkele mm's
- Kalibratie van midas metingen:
  - Range 200 (if start uit)
  - Sensor opstellen zodat bij 40db ongeveer frontwall 80% (zo hoog mogelijk) (10 MHz)
  - Range op dikte werkstuk + een beetje en if start opzetten
  - Fout zoeken met vrijbewegen
  - Fout 80% te maken door gain te verhogen maar oppassen met ruis.
  - Afhankelijk van klasse nog x dB optellen

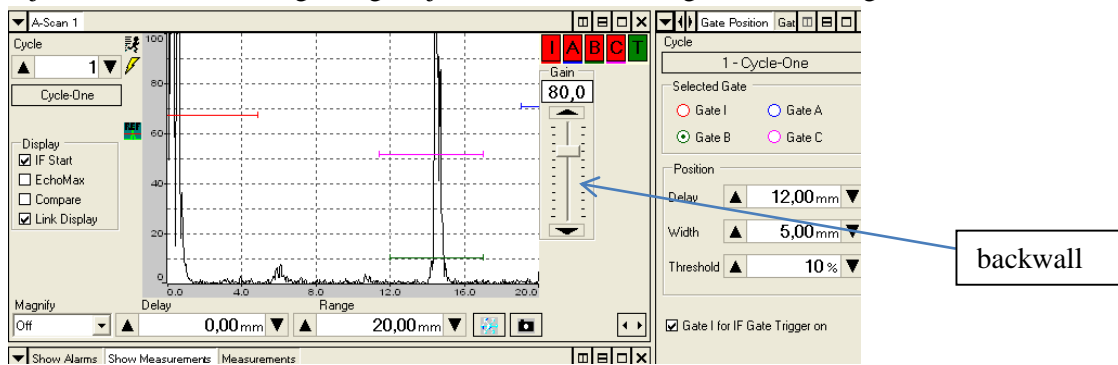
### 9.1.2 Stappenplan bij TOF metingen voor lager met variabele dikte

- Zet het lager op de draaitafel, ongeveer in het midden indien er geen gaten beschikbaar zijn)
- Richt de sensor (10MHz/25MHz) naar het werkstuk zodat er een signaal zichtbaar is op de USIP (IF-start af en range 100).
- Indien er geen gaten beschikbaar waren in de draaitafel draai de stappenmotor 360° in Labview bij vrijbewegen en naar het waterkolom tussen sensor en werkstuk. Indien niet zichtbaar zet show measurements op. Met kunststof hamer kleine tikjes op lager geven zodat waterkolom niet meer dan 0.5 mm verschilt.

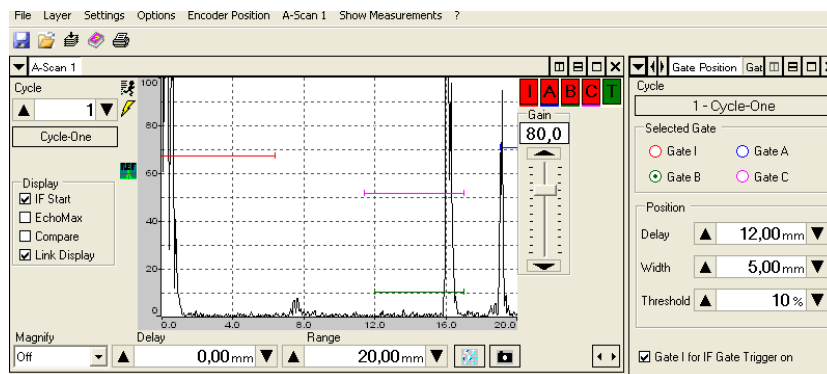
Position	Cycle	Mode	Source	Value	Unit
1	1	TOF Max.	Gate I	5,29	mm
2	1	Thickness Min	Gate B-I	14,92	mm
3	1	Thickness Max.	Gate C-I	15,04	mm
4	1	Amp [%]	Gate I	102,0	%
5	1	Amp [%]	Gate B	53,2	%

**Figuur 57: Waterkolom bij dit voorbeeld bedraagt 5.29 mm**

- Draai aan de sensorhouder van beneden naar boven totdat de beste frontwall reflectie wordt verkregen.
- Verplaats dan in de x-richting totdat de beste frontwall reflectie wordt verkregen.
- Zorg door y te bewegen dat de waterkolom 5 à 6 mm bedraagt (kan veranderen afhankelijk van kalibratiemethode)
- Zet de gate position van gate b goed. Delay van de B-gate zo zetten dat bij dunste deel van het lager er nog 1.5 mm van de lager gemeten wordt, zie Figuur 58. En Range zodat bij dikste deel van het lager nog altijd de backwall wordt gemeten, zie Figuur 59



**Figuur 58: TOF-meting van variabele dikte: dunste deel van de lager**



**Figuur 59: TOF-meting van variabele dikte: dikste deel van de lager**

- Ga naar het nulpunt van de lager met de stappenmotor (zelf te kiezen, best ergens oprassen).
- Zet de sensor het meest onderaan mogelijk is. Pas op dat de houder niet tot de draaitafel komt.
- Stel de parameters in in Labview. Geef alle instellingen in bij opmerkingen( delay, width, waterkolom, versterking,...)
- Begin te meten.

Hoe hoek van een lager bepalen met behulp van USIP?

- Zorg dat frontwall piek zichtbaar is op toestel (bovenaan de lager)
- Bekijk TOF van I-gate(frontwall) en schrijf waarde op (1)
- Ga 10mm omlaag
- Bekijk TOF van I-gate(frontwall) en schrijf waarde op (2)
- Hoek bedraagt dan :  $180^\circ - \tan^{-1}(10/(1-2))$

Enkele parameters die interessant kunnen zijn:

- Reciever: hier kan ingesteld worden wat de frequentie is van de sensor indien er andere sensoren worden aangekocht;
- Material velocity: deze staat standaard op staal. Moest er ander materiaal gemeten worden, moet dit hierin aangepast worden;
- Global - PRF: hoeveel pieken er uitgestuurd worden in een seconde, nu 999Hz. Bij veelvouden van 16 loopt de ruis heel snel door uw beeld;
- Automatic gain control: Amplitude correctie omdat dezelfde fouten op verschillende dieptes niet dezelfde amplitude hebben door verlies van energie doorheen het werkstuk. Met behulp van calibratieblok kan deze opgesteld worden;
- Analog out: welke signalen naar welke poort gaat
  - Analog 9: is gate b signaal → AI5 (gele kabel)
  - Analog 7: eventueel extra signaal wat kan doorgestuurd worden → AI3 (witte kabel)
  - Diagnose (laatste vak): kan men op bepaalde waarde zetten indien er iets fout in de metingen loopt.

Exceldocument *klemming\_lagers* staat in uitgelegd voor de verschillende lagers hoe men deze moet klemmen op de draaitafel. Indien de lager er niet tussenstaat kan er onderaan de diameter van de lager ingegeven worden en kijken in welk gat er geklemd kan worden. Indien het gat er niet in staat, kan deze nog geboord worden.

### 9.1.3 Ultrasoonsensoren:

#### 9.1.3.1 Verschil 10 MHz en 25MHz:

10 MHz	25 MHz
Dringt beter in materiaal door	Beperkter(20 mm gaat, 30 mm te veel)
Lagere resolutie	Betere resolutie
Oppervlaktereflectie: $\pm 4$ mm	Oppervlaktereflectie: van 0.4 tot 0.8

#### 9.1.3.2 Positie ten opzichte van het werkstuk

Meestal 2 mogelijkheden: belast of onbelaste kant. Afhankelijk van welk werkstuk en welke fout gezocht wordt, wordt deze keuze gemaakt. Onder het oppervlak van de belaste kant van de lager is er het meeste kans op fouten. Zo ook WEC, bevindt zich tot 1.5 mm onder het oppervlak van de belaste kant. Maar dit wil niet zeggen dat er ook gemeten wordt met de sensor naar die kant gericht. Want de dode zone van de sensor zal ervoor zorgen dat een deel van de fout hier niet gevonden zal worden. Het nadeel van aan de onbelaste kant te meten is dat het signaal eerst door veel materiaal moet vooraleer de fout wordt gevonden. Dit wil zeggen dat al veel energie verloren is gegaan totdat de fout bereikt wordt.

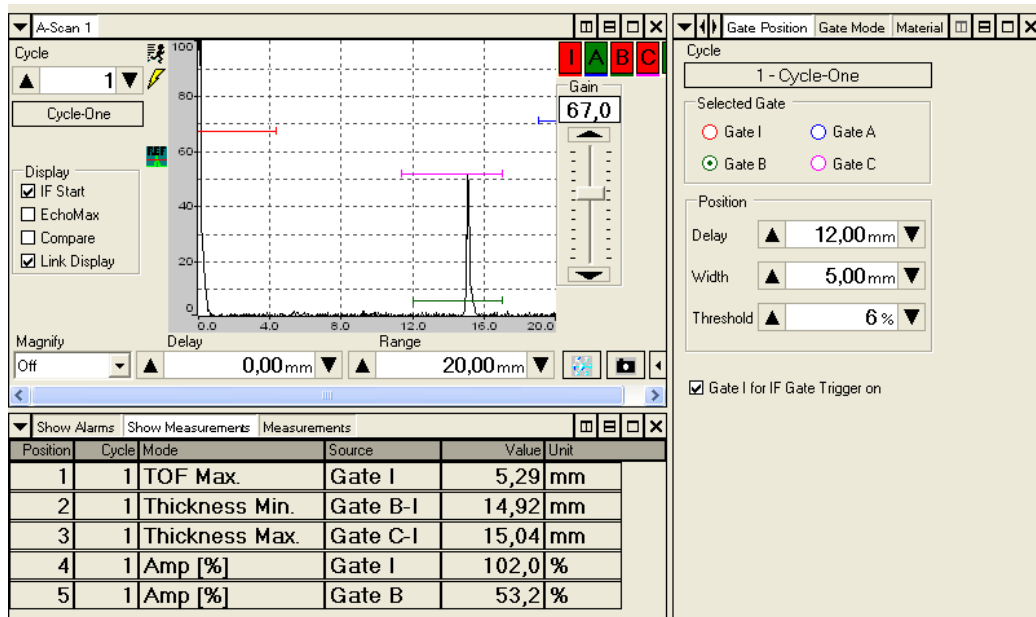
#### 9.1.4 Soorten metingen

Er kunnen 3 soorten metingen uitgevoerd worden:

1. B-gate op de plaats zetten waar de fout gezocht wordt. Threshold van de b-gate is niet belangrijk (dus eigenlijk de hoogte van de gate). Omdat de USIP altijd het signaal doorstuurt van de piek met de hoogste amplitude (ook als die onder de b-gate ligt).
2. Backwall: zet de B-gate op de backwall

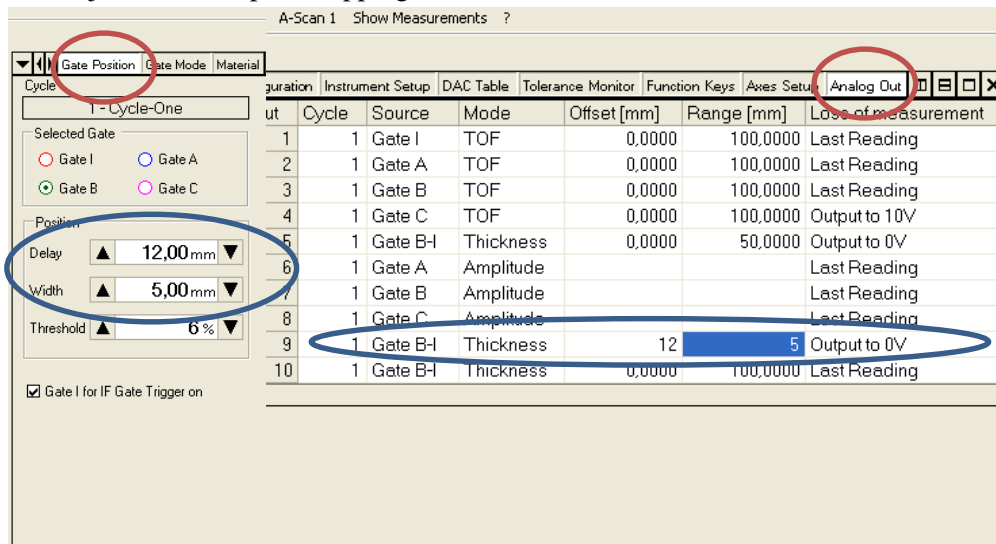
#### Voor TOF methodes kies 10 MHZ\_TOF of 25 MHZ\_TOF

3. TOF: kies programma TOF: B-gate zetten van front- tot backwall, afstand van frontwall tot hoogste amplitude wordt doorgestuurd. Zorg ervoor dat de waardes van de B-gate (delay en range ==> te vinden bij gate position) hetzelfde zijn als delay en range bij analog out / 9. Belangrijk hierbij is de threshold van de b-gate (zie ook gate position), **plaats deze zeker boven de ruis**. Indien er geen enkele piek boven de threshold uitkomt zal de USIP 0V uitsturen. De eerste piek die erboven komt wordt doorgestuurd naar Labview. De waarde wat doorgestuurd wordt hangt af van uw analog out instellingen. Deze moeten zoals eerder vermeld hetzelfde zijn als de b-gate delay en width. In het geval van Figuur 60 zijn de instellingen van delay = 12 mm en width = 5mm. De begin van de fout bevindt zich ongeveer in de helft van de b-gate dus de USIP zal dan 5V uitsturen.



Figuur 60: Fout in werkstuk bij TOF methode

4. Een methode om WEC de detecteren in werkstukken met variabele diepte is om via TOF te werken. De instelling van de B-gate is heel belangrijk. De gate wordt zo ingesteld dat er in het dikste deel nog net de backwall wordt gemeten en dat bij het dunste deel ongeveer 1.5 mm van de backwall af wordt gemeten. Hierdoor zal de USIP indien er geen fout is altijd de diepte van de backwall doorsturen als waarde. Indien er zich wel een fout bevindt, is er plots een vermindering van de diepte. Dit wordt duidelijk zichtbaar op de mapping.



Figuur 61: Instellingen van Gate Position en Analog Out bij TOF methode

### 9.1.5 Verwerken resultaten met ImageJ

Om te weten hoeveel procent fouten zich bevindt op het gemeten werkstuk kan er gewerkt worden met ImageJ (gratis te downloaden). Hieronder wordt uitgelegd hoe dit programma gebruikt kan worden:

1. Start het programma op
2. File-Open, klik de tekening open van de mapping zonder grid
3. Image- Adjust – Threshold ( hoe dit werkt weten we nog niet juist)
4. Oftwel kan er via image-type-8bit en dan image-adjust-auto threshold(hier een kiezen)
5. Analyze- Analyze Particles
  - a. Size: kies vanaf ongeveer 3 à 4 pixels
  - b. Show: count masks
  - c. Vink aan: display results, summarize

### 9.1.6 Labview

#### Eerst PLC aanzetten dan pas Labview!

##### 9.1.6.1 Vrijbewegen

Hier kunnen de motoren apart bewogen worden naar de gewenste plaats. Er is een knop voorzien indien er lagers ofwel cilinders gemeten worden. Dit verandert de snelheid en de schaal zodat de stappenmotor optimaal deze beweging kan uitvoeren. In de Ref blokjes staan alle bewegingen opgeteld van de bijhorende motor. Dit kan handig zijn als men terug wilt gaan naar een referentiepunt.

##### 9.1.6.2 Scannen vlakke werkstukken

De parameters in lengte (x-richting) en breedte (y-beweging) ingeven. Het programma scant de volledige lengte, zet een stap van 0.5 mm in de y-richting, scant de lengte in de andere richting, zet terug een stap van 0.5 mm. Deze cyclus duurt tot de volledige breedte gescand is.

##### 9.1.6.3 Scannen lagers

De parameters die via Labview doorgegeven moeten worden aan de PLC zijn de hoogte van de lager en de hoek van de lager. Zet de sensor onderaan de lager en zorg voor een referentiepunt op de lager. De draaitafel begint te draaien aan een constante snelheid van 14°/s. Als er 1 toer is gemaakt dan gaat de sensor een stap van 0.5 mm naar boven (z-richting) en afhankelijk van de hoek gebeurt er ook een y-beweging. De meting is klaar wanneer de ingestelde hoogte is bereikt.

##### 9.1.6.4 Scannen cilinders

De assen worden op de opstelling gezet die ervoor zorgt dat deze om hun eigen as kunnen draaien. Het programma verloopt als volgt: de sensor wordt eerst in de beginpositie gezet aan de negatieve y-kant (zorg voor een referentiepunt op de cilinder). Sensor beweegt de in de positieve y-richting over heel de cilinder. Er wordt 0.5° gedraaid en dan beweegt de H-bot in de negatieve y-richting naar de beginpositie. Dit wordt 720 keren gedaan tot de as helemaal rond is dus 360°. De ingestelde parameter die via Labview wordt doorgegeven is enkel de lengte van de as. Dit komt overeen met de y-beweging.

#### 9.1.6.5 **Resetten**

Alle motoren worden in gereset.



## 9.2 Volledig rapport UT-meting

### 9.2.1 Word-document

Date: 8/04/2015

Time: 10:25

Name	ID
Pieter	F-562831

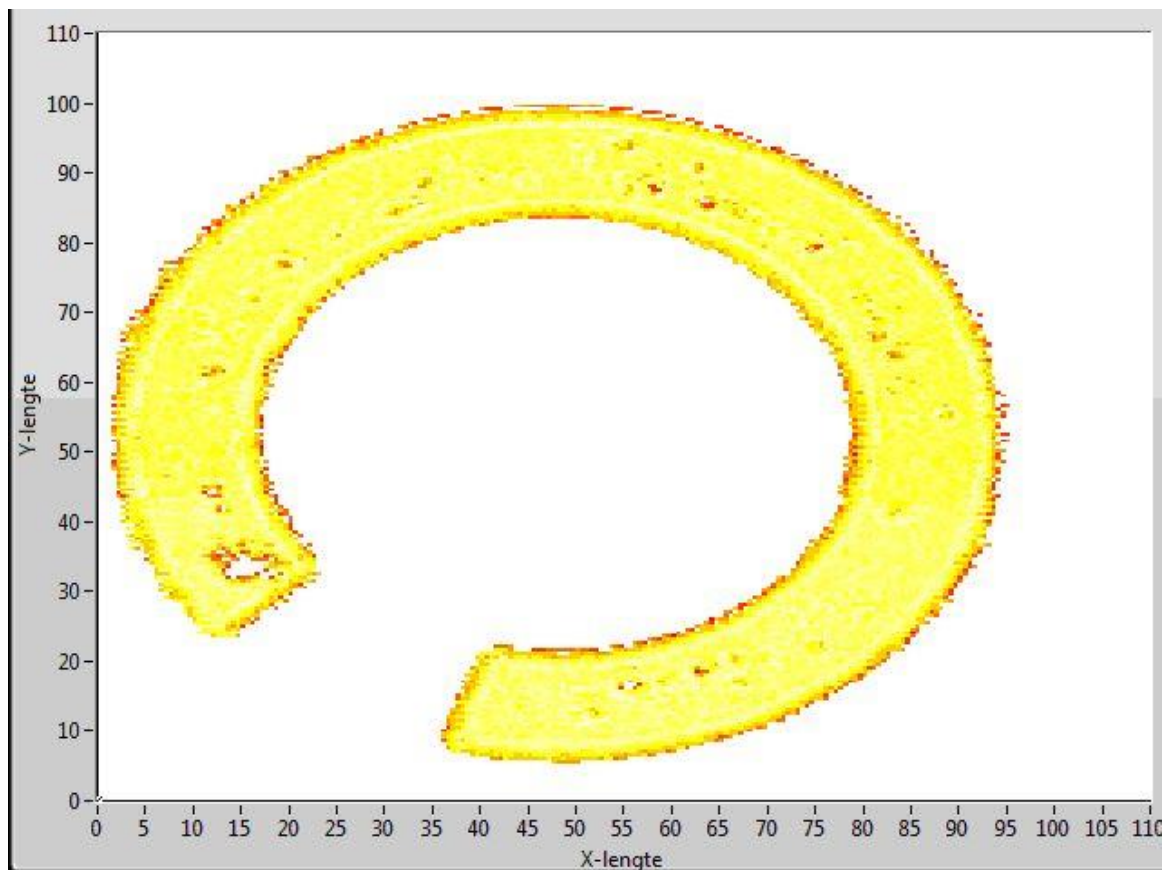
Beschrijving

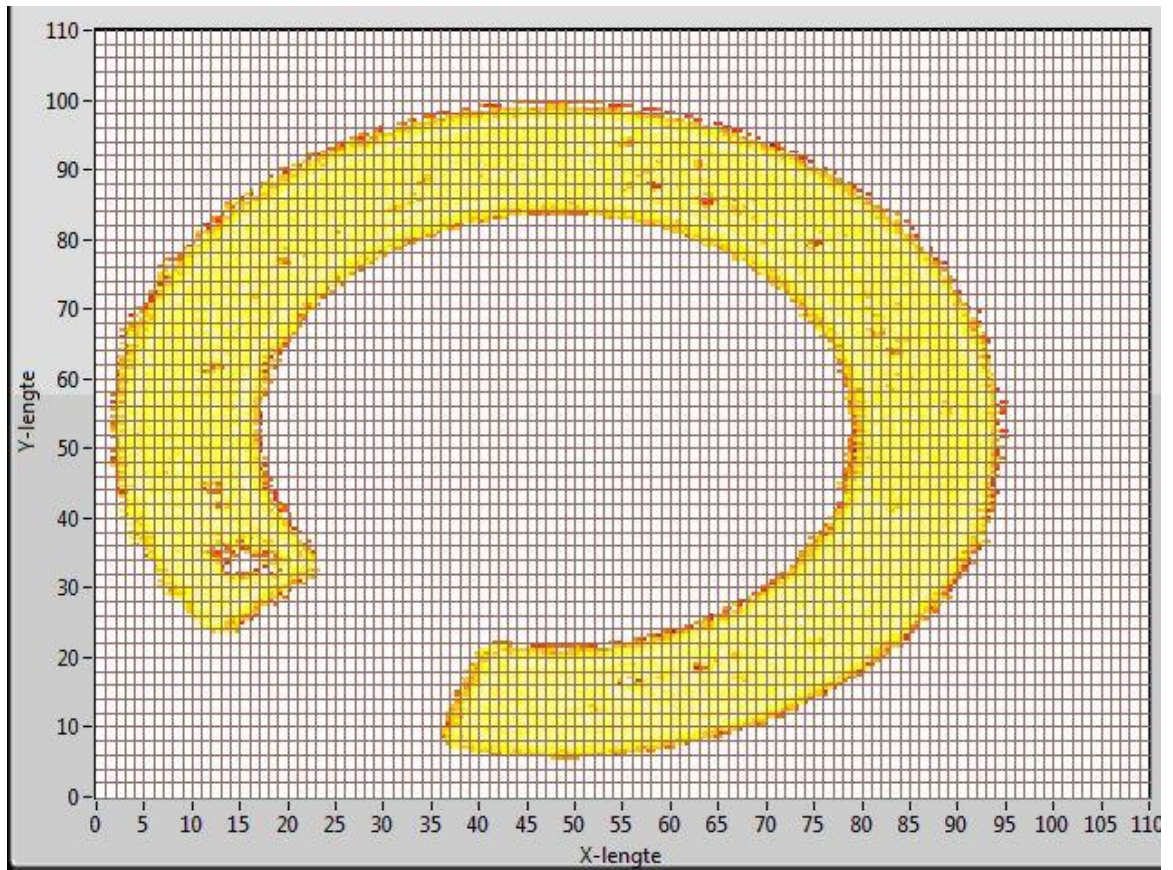
Sensor:25MHz

Versterking(dB): 77dB

Waterkolom 6mm

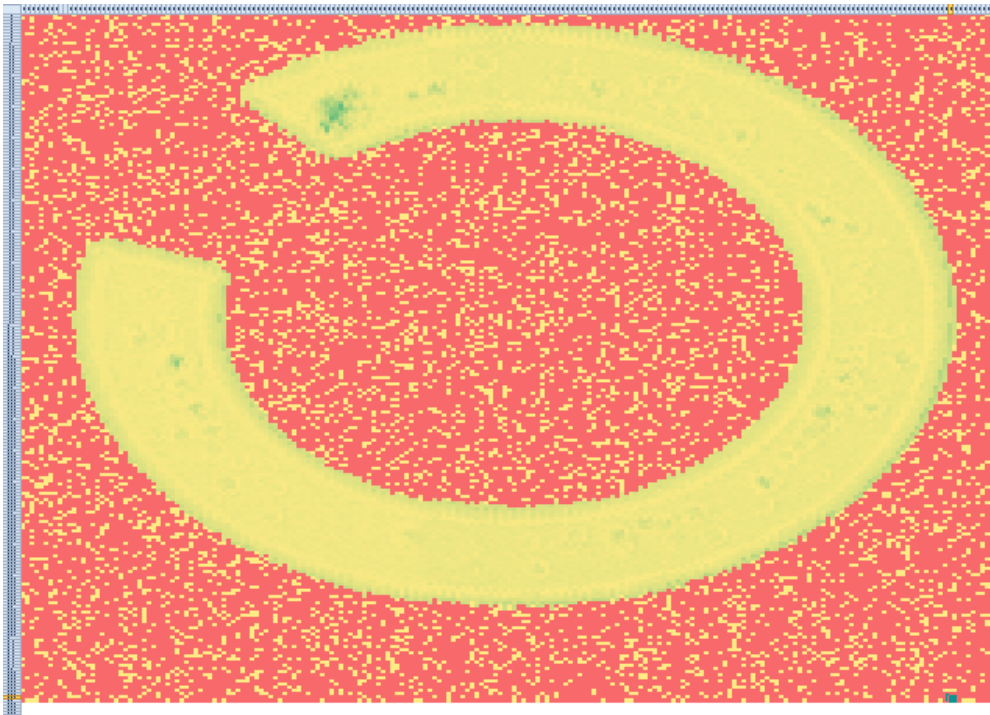
Een print screen van het gemeten stuk






### 9.2.2 Excel-document

Hierop is ook een kleurschaal toegevoegd om duidelijk te fouten te herkennen.



### 9.3 Verslag WEC-detectie op lager SKF 81212 TN/X1

 ZF Wind Power Dept. MatTech		Memo		Page 1/2		
Antwerpen NV		Report no.: - ed.A				
Requested by	Phone	Department	Location	Account assignment	Date of receipt	
Panis Pieter		Lab	I-Antwerpen		2015-05-08	
Kuypers Sean						
Designation	Material no. ZF/item no.	Supplier company	ZF-serial no.	Other serial no.		
Master thesis UT inspection	X1W4	SKF				
Model	Cross reference	Process no. requesting dept.	Batch no./no. of items	Language		
bearing disk			1	en		
<b>Reason for investigation:</b>						
White etching crack investigation						
<b>Test procedure/parameters:</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cut bearing on area where UT gives a possible indication of surface fracture.</li> <li>Search for white etching cracks on the indicated area.</li> </ul>						
<b>Result:</b>						
White etching	Total length of observed raceway (mm)	WEA type	Distance from edge (µm)	Total length of WEC (µm)	Size wings <sup>1</sup> (µm)	BF density (#/mm)
X1W4	17,5	WEC	135	650		
		WEC	120	645		
		WEC	210	1280		
		WEC	365	675		
<small><sup>1</sup> only in case of type Butterfly</small>						
<b>Evaluation/Conclusion:</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>White etching cracks are observed on the microscopic sample. See § 1.1.1, Figure 1 to 4.</li> </ul>						
<b>Release recommendation: Yes</b>			<b>Status of report: completed and distributed</b>			
Distribution list	Prepared by/Phone	Approved by/Phone	Date			
Public	Panis Pieter Kuypers Sean	Belmans 9783	Chiaradia 9377	2015-05-21		

**APPENDIX**  
Microscopic analysis  
Microstructure



Figure 1 (4:1)  
Nital etched 3% Raceway surface overview with white etching cracks

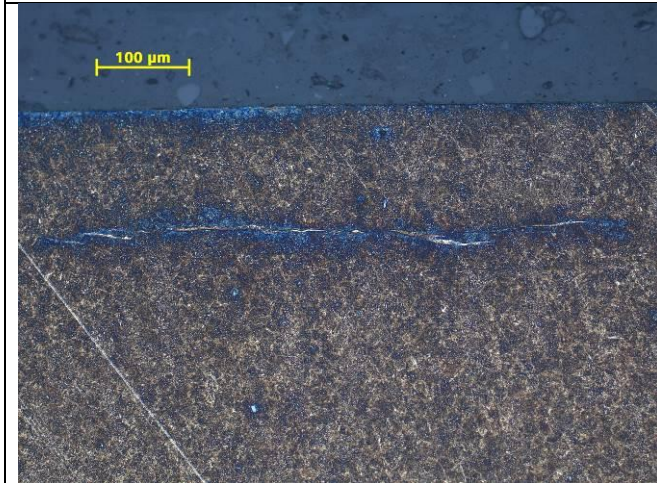


Figure 2 (200:1)  
Nital etched 3% White etching crack

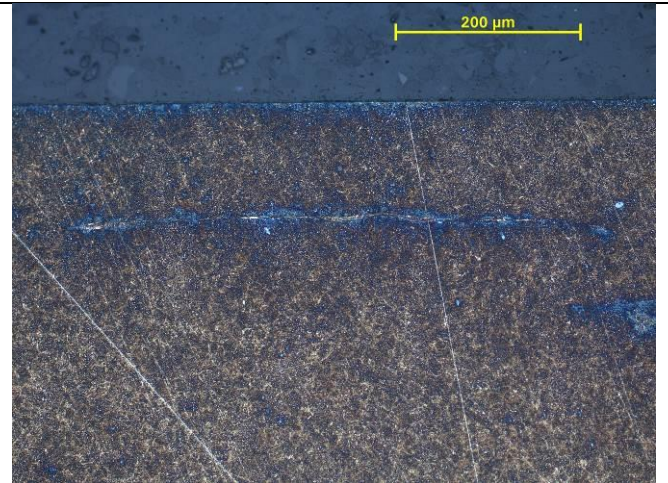


Figure 3 (200:1)  
Nital etched 3% White etching crack



Figure 1 (100:1)  
Nital etched 3% White etching cracks

## 9.4 Printscreens twincat

### 9.4.1 Scannen lagere

```
ELSIF start_lager THEN
MC_ZetSchaal.ScalingFactor :=0.001389; (* scaling factor van stappenmotor is anders bij lagere dan bij cilinders*)
MC_ZetSchaal.Execute:=TRUE;
Stap_Velocity :=14; (*snelheid van stappenmotor is anders bij lagere dan bij cilinders*)
Stop:= FALSE;
(*enable motoren*)
XY_Tafel.bEnable := TRUE;
XY_Tafel.bReset :=FALSE;
enableStap:=TRUE;
resetStap:=FALSE;
enableZ:=TRUE;
resetZ:=FALSE;
stap_lager :=1;
Aantal_Moves_Lager:=LREAL_TO_INT(hoogte * 2)+1; (* aantal stappen is de hoogte van de lager *2 omdat het stappen zijn 0.5mm*)
Stap_Afstand :=(Aantal_Moves_Lager) * 360; (*lager draait in 1 keer 360* aantal stappen*)
  IF alpha = Pi/2 THEN (* als hoek 90 ° is dan moet y geen afstand afleggen omdat lager loodrecht*)
    Y_Afstand :=0;
  ELSIF alpha = Pi THEN (*voor platte ronde lager*)
    Y_afstand := 0.5;
    Z_afstand := 0;
  ELSE (*bij een andere hoek zal y een (kleine) afstand afleggen*)
    Y_Afstand :=-0.5/TAN(Pi-alpha);
  END_IF
MC_ZetSchaal.Execute:=FALSE;
MC_MoveRelative_Stap.Execute := TRUE;
step:=200;
```

Figuur 62: Initialisatie scannen lager

```
200: start_lager :=FALSE;
MC_MoveRelative_Stap.Execute := FALSE;
IF stappenmotor.NcToPlc.ActPos > 360*stap_lager THEN (*als de positie 360° bedraagt dan wordt het volgende uitgevoerd*)
  (*ZetPositie_stap0.Execute :=TRUE; (*positie wordt terug 0° zodat mapping in orde is*) *)
  MC_MoveRelative_Z.Execute :=TRUE; (* z en y bewegen*)
  MC_MoveRelative_Y.Execute :=TRUE;
  step :=210;
  (*er wordt gestopt als stap lager groter is dan aantal moves lager en de positie van de stappenmotor 360° is*)
  ELSIF (ErrorMoveStap OR ErrorMoveZ OR Error_X OR Error_Y OR ErrorMoveZ OR Stop OR stap_lager > Aantal_Moves_Lager
  AND (LREAL_TO_INT(stappenmotor.NcToPlc.actpos) ) = 360) = TRUE THEN
  Step := 240;
  ELSE
  Step :=200;
  END_IF

210:MC_MoveRelative_Z.Execute :=FALSE;
MC_MoveRelative_Y.Execute :=FALSE;
ZetPositie_stap0.Execute :=FALSE;
stap_lager := stap_lager+1;
Step :=200;
(*er wordt gestopt als stap lager groter is dan aantal moves lager en de positie van de stappenmotor 360° is*)
IF (ErrorMoveZ OR Error_X OR Error_Y OR ErrorMoveZ OR ErrorMoveStap OR Stop OR (stap_lager > Aantal_Moves_Lager
AND (LREAL_TO_INT(stappenmotor.NcToPlc.actpos) ) = 360)) THEN
Step := 240;
END_IF
```

Figuur 63: Uitvoering scannen lagere

## 9.4.2 Scannen assen

```

0034
0035 ELSIF start_cilinder THEN
0036 MC_ZetSchaal.ScalingFactor := 0.004168; (* scaling factor van stappenmotor is anders bij cilinders dan bij lagere*)
0037 MC_ZetSchaal.Execute := TRUE;
0038 Step_Velocity := 8; (*snelheid van stappenmotor is anders bij cilinders dan bij lagere*)
0039 Stop := FALSE;
0040 (*enable motoren*)
0041 XY_Tafel.bEnable := TRUE;
0042 XY_Tafel.bReset := FALSE;
0043 enableStep := TRUE;
0044 resetStep := FALSE;
0045 resetZ := TRUE; (*z-as is niet nodig*)
0046 resetZ := FALSE;
0047 stap_cilinder := 0;
0048 Aantal_Moves_Cilinder := 720; (*totaal aantal stappen dat programma doorloopt, 719+1 omdat ge vanaf 0 begint, 720 omdat er 360° worden doorlopen met stappen per 0.5°*)
0049 MC_ZetSchaal.Execute := FALSE;
0050 step := 100;

```

Figuur 64: Initialisatie scannen assen

```

100: (* Beweeg Y_positief*)
start_cilinder := FALSE;
MC_MoveRelative_Neg_Y.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Step.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Y.Execute := TRUE; (*y-afstand wordt ingegeven via labview*)

IF MC_MoveRelative_Y.Done THEN
Step := 110;
ELSIF (Error_X OR Error_Y OR Stop) = TRUE THEN
Step := 50;
END_IF

110: (* Roteer As*)
MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Step.Execute := TRUE;

IF stappenmotor.NcToPlc.ActPos > 0.48 + 0.5 * stap_cilinder THEN (*via actuele positie want MC_relativeStep.done werkt niet tegoei*)
stap_cilinder := stap_cilinder + 1;
Step := 120;
ELSIF (Error_X OR Error_Y OR ErrorMoveStep OR Stop) = TRUE THEN
Step := 50;
END_IF

120: (* Beweeg Y_negatief/ is ook de laatste stap bij 360°*)
MC_MoveRelative_Step.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Neg_Y.Execute := TRUE;

IF MC_MoveRelative_Neg_Y.Done THEN
Step := 130;
ELSIF (Error_X OR Error_Y OR ErrorMoveStep OR Stop OR stap_cilinder >= 720) = TRUE THEN
Step := 50;
END_IF

130: (*Roteer As*)
MC_MoveRelative_Neg_Y.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Y.Execute := FALSE;
MC_MoveRelative_Step.Execute := TRUE; (*heel kleine hoek*)

IF stappenmotor.NcToPlc.ActPos > 0.48 + 0.5 * stap_cilinder THEN
stap_cilinder := stap_cilinder + 1;
Step := 100;
ELSIF (Error_X OR Error_Y OR ErrorMoveStep OR Stop) = TRUE THEN
Step := 50;
END_IF

```

Figuur 65: Uitvoeren scannen assen

## 9.5 Opbouw UT-toestel

### 9.5.1 Opbouw assen-opstelling

Eén tandriemwiel en 4 bouten (m8) en 4 geleidingsmoeren worden herbruikt voor de beide opstellingen



Bevestig eerst de twee blokken met de centerpunten op de tafel met de bouten en geleidingsmoeren.

Zet de blok met de grijppin al vast en laat bij de andere blok één bout los.



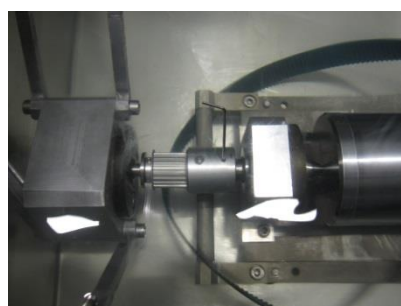
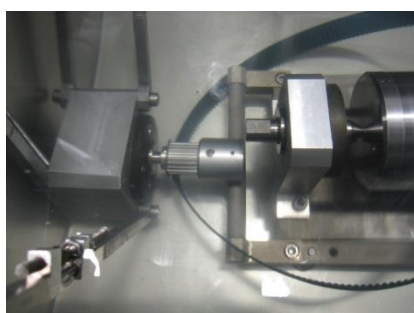
Om cilinder in de houder te plaatsen plaats dan eerst de kant met de 2 gaten, dan de andere kant erin en draai dan ook de laatste bout vast zodat de cilinder geklemd blijft tussen de centers.



Plaats nu het geheel in het waterreservoir. (Dit gebeurt best met twee vanwege het gewicht.)

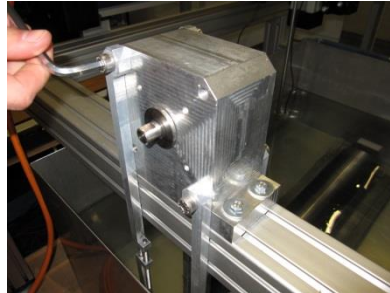
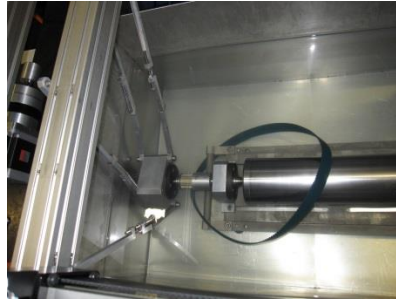
Zorg hierbij dat de XY-tafel op zijn uiterste stand staat om deze plaatsing te vergemakkelijken.

Leg de riem rond de draai-as van de cilinder en bevestig de opspanblok met stangen aan de draai-as.

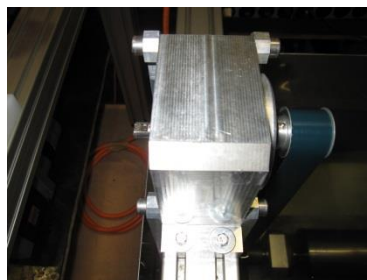


Plaats de aandrijfblok op het frame (bouten nog niet volledig vast) en maak de opspanstangen vast.



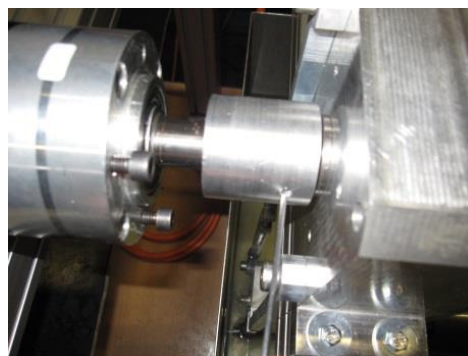


Schuif het tandriemwiel op de aandrijfjas en trek de riem hierover. Vervolgens span je de riem op met de twee bouten tussen de opspanstangen.

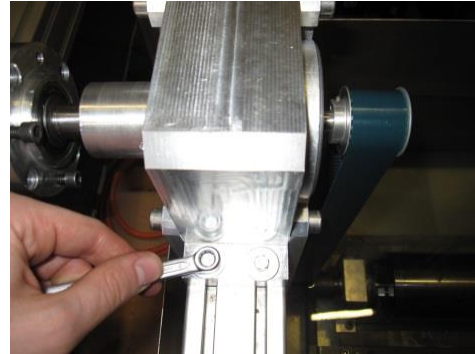
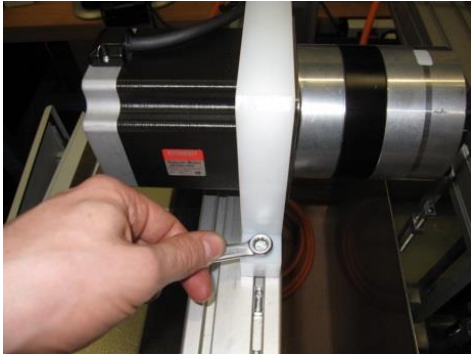


Maak de mal van de stappenmotor vast op het frame (niet helemaal vastdraaien) en schuif de motor door deze mal.

Maak de motoras vast aan de aandrijfjas van de riem en draai het koppelstuk vast.



Maak nu de mal van de motor en de aandrijving goed vast aan het frame.



Voor dat effectief met de meting gestart kan worden kan er best een test gedaan worden via het programma “Vrijbewegen” binnen “UT-main” door de cilinder één maal te laten ronddraaien. Op deze manier kan dan gezien worden of de uitlijning en overbrenging in orde zijn

Vergeet niet om voor het meetprogramma op te starten de schakelaar aan de elektriciteitskast AAN te schakelen.

Ook tijdens het werken met het programma mag deze schakelaar niet UIT geschakeld worden.

Zorg er ook voor dat altijd eerst het meetprogramma afgesloten wordt alvorens de schakelaar aan de elektriciteitskast op “UIT” gezet wordt.

Indien dit niet zou gebeuren zal het programma vastlopen.

### 9.5.2 Opbouw lagers-opstelling



Tandriemwiel en schroeven met moeren zijn te hergebruiken voor beide opstellingen



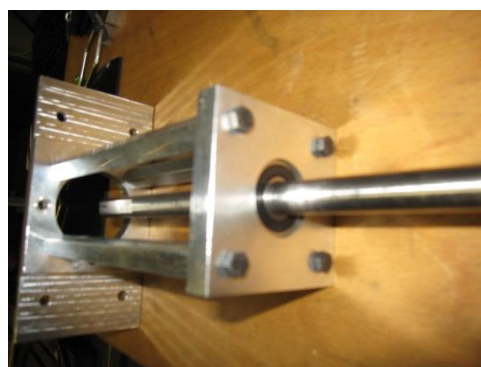
Bevestig de grondplaat op de bodemplaat met de schroeven bovenaan de foto



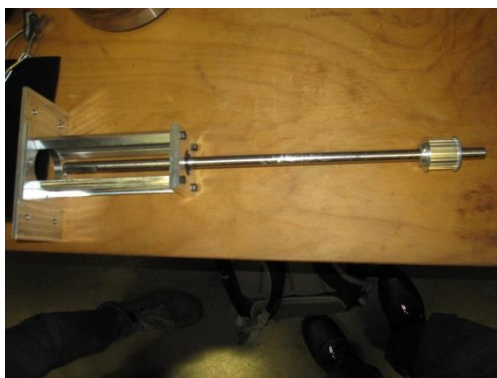
Zorg dat de grondplaat in het midden staat van de bodemplaat en zet het tandwielriem erop



Bevestig de draaischijf op het tandwielriem met de m10 bout die in de verzinking aangedraaid wordt van de draaischijf zodat deze vlak blijft.



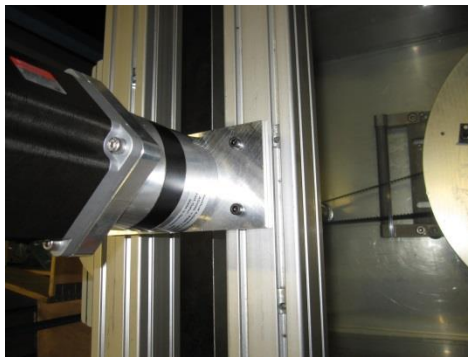
Schroef de opstelling voor de motorhouder en overbrenging in elkaar



Bevestig het tandwielriem op de staaf op de aangeduide plaats



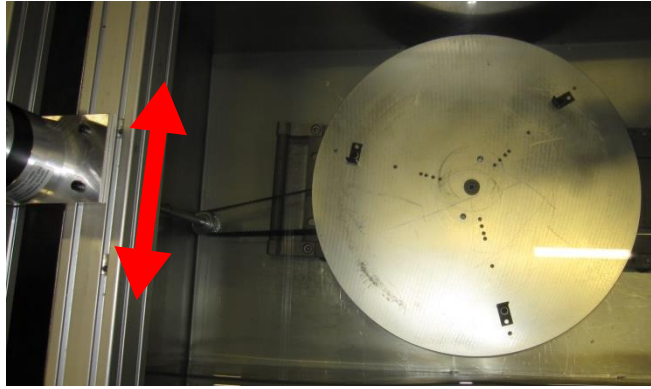
Bevestig de stappenmotor aan de overbrengings-as en draai de houder vast aan de motor.



Plaats vervolgens de houder van de motor tussen de twee hiervoor geplaatste profielen op het frame en bevestig deze met de vier bouten.



Zet de tafel in het water met de riem rond beide tandriemwielen



Uiteindelijk kan de riem dan op spanning gebracht worden door de motorhouder in de framegeleidingen zijdelings te verschuiven en hierdoor de afstand tussen de tandriemwielen te vergroten.

Voor dat effectief met de meting gestart kan worden kan er best een test gedaan worden via het programma “Vrijbewegen” binnen “UT-main” door de draaitafel één maal te laten ronddraaien. Op deze manier kan dan gezien worden of de riemoverbrenging goed is.

Vergeet niet om voor het meetprogramma op te starten de schakelaar aan de elektriciteitskast AAN te schakelen.

Ook tijdens het werken met het programma mag deze schakelaar niet UIT geschakeld worden.

Zorg er ook voor dat altijd eerst het meetprogramma afgesloten wordt alvorens de schakelaar aan de elektriciteitskast op “UIT” gezet wordt.

Indien dit niet zou gebeuren zal het programma vastlopen.

## 9.6 Handleiding Elotest M2

Hier volgt de handleiding voor het deels automatisch laten instellen van de Elotest wervelstroom toestel uitgelegd in enkele stappen.

### Display:

*Voor detectie met de hand*

Ga naar de display modus in de balk rechts in beeld, en zet deze op y/x-modus, dit maakt het mogelijk om foutendetectie uit te voeren.

*Voor opname*

Ga naar de display modus in de balk rechts in beeld, en zet deze op y/t-modus, dit maakt het mogelijk om opnames te doen in functie van de tijd.

Automatische afstand tot het werkstuk compensatie

- Druk op de knop rechtsboven op het bedieningspaneel vh toestel

### Auto-probe

Dit wijzigt de frequentie waarmee het toestel zijn meting uitvoert.

- Ga naar het symbool frequency adjustment in de lijst rechts op de display.
- Druk op de rode stip in het midden van het bedieningspaneel. Er is te zien dat het signaal zich nu in het center van de display bevind.

### Auto preamp

- Ga naar pre amp in de lijst
- Plaats de probe tegen het te meten werkstuk
- Druk de rode stip in (+- 3sec.)

### Handmatige preamp:

- Ga naar pre amp in de lijst
- Houd de sensor op ene goed stuk materiaal en versterk tot OverLoad lampje aan gaat
- Verminderd dan met +- 4 dB

### Auto gain

- Ga naar Gain in de lijst
- Plaats de probe tegen het werkstuk met een gewenste druk (langs een fout)
- Druk op de rode stip (+3sec), Er verschijnt een scherm met de te volgen handeling
- Druk op F
- Verplaats de probe heen en weer over de te meten fout zonder deze van het werkstuk op te tillen
- Druk nogmaals F

### **Auto filter**

Hiermee pas je de high pass-, lowpass filter en bandbreedte aan

### **Voor detectie met de hand**

Lowpass filter instellen, maar niet te hoog, dit snijdt de hoogte van het signaal af.

De Highpassfilter staat normaal op static, maar het is aangewezen om wanneer je deze instelt gewoon één keer op “+“ duwt, hierdoor zal het signaal zich in het midden van het assenkruis zetten.

### **Voor opname**

Lowpass is de gevoeligheid van de foutmeting, als deze laag staat lagere pieken

Alles onder deze frequentie wordt weergegeven, HP alles erboven wordt weergegeven --> bandbreedte

### **Phase:**

Hiermee wordt het liftoffeffect weggewerkt. Kantel de sensor heen en weer in de beweging waarin tijdens de rest van de meting je het meest waarschijnlijke zal gaan kantelen en verdraai de fase zo zodat de uitwijking die plaatsvindt tijdens het kantelen volledig horizontaal weergegeven wordt op de display. Wanneer er vervolgens gemeten wordt zal de verticale uitwijking zichtbaar zijn wanneer er een fout in het materiaal zal zijn.

### **Opname van de meting**

Ga naar de opname functie in de lijst

Druk op +

Druk op F om de opname te starten en vervolgens nog eens op F om de opname te eindigen

Vervolgens kan je in en uitzoomen, en naar links en rechts bewegen om de meting te analyseren.

### **Probes**

*Absolute: (KA 2-1)*

Deze kunnen fouten met verschillende oriëntaties meten.

*Differentieel: (KD2-1, KD4-1)*

Deze wordt gebruikt wanneer de oriëntatie van de fouten gekend is. De beweging van de sensor moet dan loodrecht op die van de fouten zijn.

Om de probe makkelijker over het te meten oppervlak te laten glijden is er door Rohmann GmbH aangeraden om teflon tape rond de probe te doen.



### Fase:

De in te stellen fase hoek wordt gewijzigd met de + en – knop. Deze wordt zo ingesteld dat de kantelbeweging, die de sensor ten opzichte van het te onderzoeken oppervlak kan maken, voor een horizontale uitwijking zorgt.

Hierdoor zal de verticale uitwijking die zichtbaar wordt op de display een fout voorstellen.

### Doordringdiepte

Deze is afhankelijk van de frequentie en kan nagerekend worden met de onderstaande formule. En afgelezen worden op de grafiek.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \kappa}}$$

$\delta$  = doordringdiepte [m]

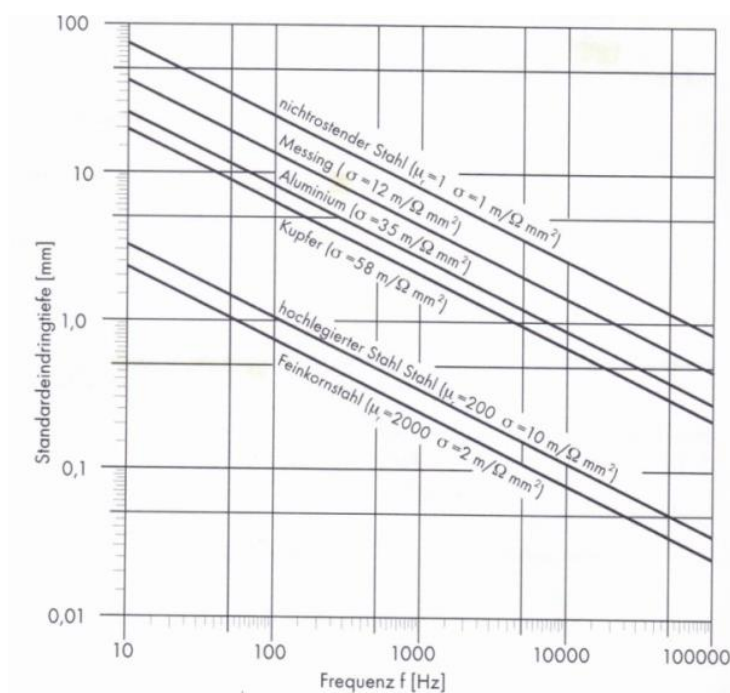
$\kappa$  ( $\sigma$ ) = elektrische conductiviteit [S/m]

$\mu$  = magnetische permeabiliteit [H/m] =  $\mu_0 * \mu_r$

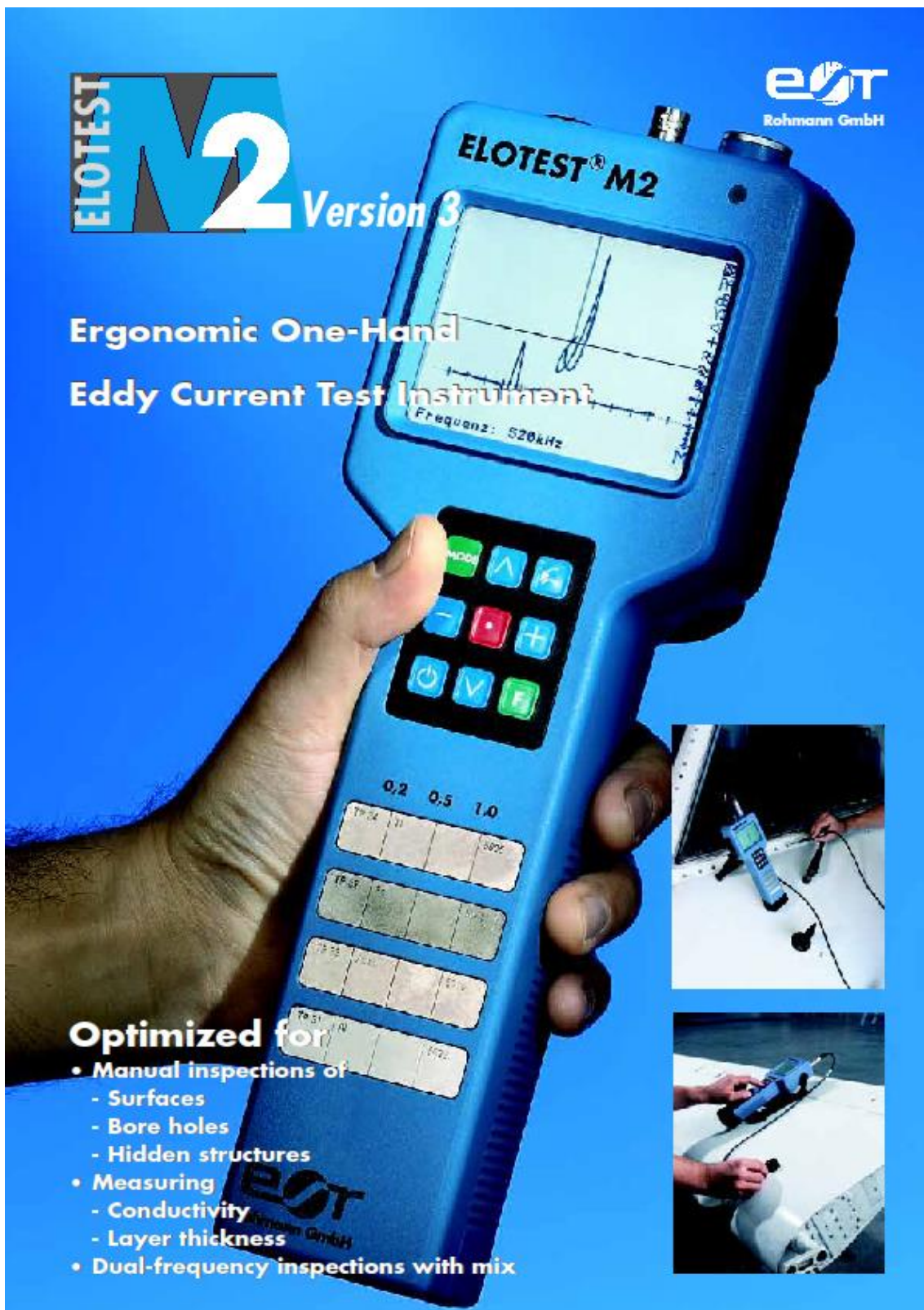
$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  H/m

$\mu_r$  = relatieve permeabiliteit van het materiaal

$f$  = in te stellen frequentie van de eddy current sensor [Hz]



## 9.7 Documentatie wervelstroomtoestel + probes



The image shows a blue handheld eddy current test instrument, the ELOTTEST M2 Version 3, being held by a person's hand. The device features a color LCD screen displaying a waveform and the text "ELOTTEST M2" and "Frequenz: 520kHz". Below the screen is a keypad with various function buttons. At the bottom of the device, there are four test coils labeled with frequencies: 0,2, 0,5, and 1,0. The ELOT logo and "Rohmann GmbH" are visible at the bottom of the device's casing.

**ELOTTEST M2** Version 3

**ELOTTEST**  
Rohmann GmbH

**ELOTTEST M2**

Ergonomic One-Hand  
Eddy Current Test Instrument


Frequenz: 520kHz

0,2 0,5 1,0

**Optimized for**

- Manual inspections of
  - Surfaces
  - Bore holes
  - Hidden structures
- Measuring
  - Conductivity
  - Layer thickness
- Dual-frequency inspections with mix

**ELOT**  
Rohmann GmbH



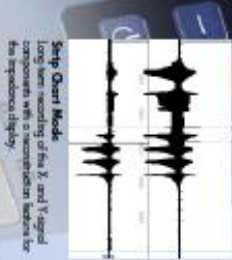
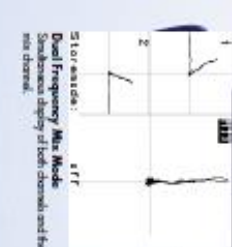
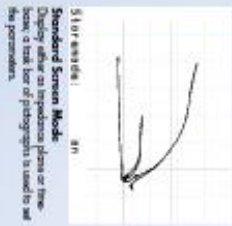
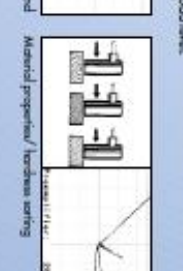
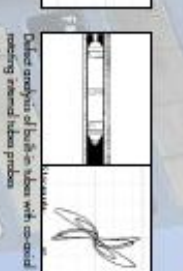
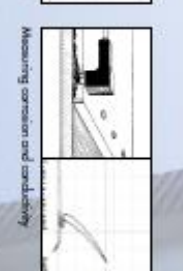
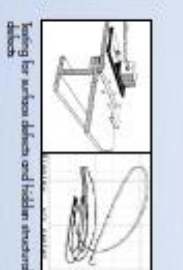
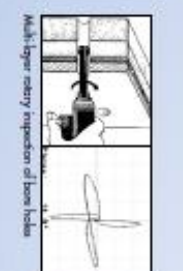


**ELOTEST M2 V3** - designed as a "one-hand instrument" based on ergonomic, industrial grade, ruggedized components. The center of gravity rests in the palm to provide long fatigue-free work.



Conductivity and layer thickness measurement with the ELOTEST M2 V3

- The "one-hand" generation with full eddy current functionality
- Dual frequency operation, independently adjustable
- Full frequency range from 10 Hz to 12 MHz. All filter functions (LP, HP, BP) to optimize the signal for static and dynamic testing.
- High-definition LCD-display with LED-backlight. Full contrast in any kind of light.
- Integrated reference standards to promptly verify signals.
- Pictograph-guided unambiguous "one-hand operation" via 9 Keys for all selected functions via the set-up menu.



The docking station converts the one-hand instrument into a desktop instrument with a connector for PC or printer. By simply plugging it in, the intelligent charger electronics is activated and keeps the battery pack hot & integrated in the instrument at its optimum level.



The **ELOTEST M2 V3** allows all types of manual inspection beginning with the high-frequency conduct detection of high-voltage components to medium-frequency crack and corrosion test to low-frequency tests of multi-layer structures for stress-corrosion.

## Technical Data

### User-Interface ELOTEST M2

- Pictograph-based, one-hand operation via key pad with key-click
- 6 languages: English, German, French, Italian, Swedish and Spanish
- Direct-function keys for offset- and liftoff-compensation
- Programmable function key
- Intuitive operation using only one submenu-level

### Probe Connection

- 11-pin Fischer socket, compatible with the 8-pin Rohmann connector
- BNC connector for parametric probes (resonant probes)
- OEM probes to be connected via an adapter or directly to the BNC connector
- Speed control for rotor (torque compensated) in 10 steps (corresponds to approx. 900 rpm to 2700 rpm using Rohmann standard rotors)

### Active Probe Compensation

- Compensation of the probe response signal for optimum signal dynamics
- Automatic test frequency selection using the probe characteristics
- Automatic balancing of single-coil probes using finely graduated, internal compensating loads (no external elements required)

### Frequency Range

- 10 Hz to 12 MHz, continuously adjustable, display in Hz, kHz, MHz
- Adjustable driver current, from 0 % to 100 % in 2 % steps
- Frequency variation from nominal less than 1 %; frequency stability 50 ppm
- Dual-frequency operation in multiplex-mode

### Gain

- Pre-amplification 0 to 60 dB in 0.5 dB steps (0 to 40 dB in 100 kHz range)
- Gain 0 to 60 dB in 0.5 dB steps
- Axis spread 0 to 20 dB in 1 dB steps
- Automatic selection of pre-amplification and gain

### Phase

- 0-359.5° in 0.5° steps; step size adjustable

### Filter

- Low-pass filter 1.3 Hz to 10 kHz in 40 steps
- High-pass filter 0 Hz to 10 kHz in 40 steps
- Band-pass filter 0 Hz to 10 kHz; combination of HP and LP
- Selectable automatic filter for rotor operation

### LCD-Display

- LCD featuring long-life LED backlight, 80 x 60 mm (3.15" x 2.36")
- Temperature-compensated contrast setting
- Resolution 320 x 240 Pixel; refresh rate 75 Hz,
- 220,000 data samples/second, no signal delay
- Signal display covering 100 % of the screen; over 89 % with menu displayed

- 80° viewing angle

### Display Modes

- Impedance plane / spot display (X/Y), available for all probes
- Time-base/sweep display (Y/t), 5 ms to 60 s in 17 steps; synchronized

- Simultaneous X/Y- and Y/t-display (dual-screen mode)

- Reference signal may be displayed in the background

- 2 screen grid sizes with adjustable intensity

- Selectable display range:

X/Y center – X/Y center bottom – X/Y bottom right

- Freely positionable zero/null point

- Automatic trigger during rotor operation

- Simultaneous multi-signal display during multi-frequency

operation

- Persistence: 0.1 s to 70 s adjustable in 12 steps

- On-screen signal storage; cleared manually or via auto-erase (2 - 80 s)

### Gates/Alarm

- Alarm: optical and acoustic

- Active in all display modes; may be inverted

- Adjustable gates: +Y-gate, Box-gate, Circle-gate with adjustable flat in the Y-direction

### Parameter Settings/Image Memory

- 99 user settings may be programmed, stored and recalled

- 50 application-related factory default settings (cannot be overwritten)

- 32 signal memories incl. parameter settings for documentation

- Parameter setups and images may be named using

alphanumerical

characters

- Image and parameter data may be printed and transmitted to personal computer

- Long-term recording (strip chart) of X- and Y-signals, from 20 s to 24 hours; 90,000 min/max-values (envelope, without data-loss)

- Data storage maintained (backup-battery)

### Conductivity Measurement

- Measurement in % IACS or MS/m from 1 % IACS to 110 % IACS.

- Measuring frequency: 60 kHz

- Calibration using 2 individually adjustable calibration points

### Coating Thickness Measurement

- Measurement of non-conductive layers on conductive non-ferromagnetic materials

- Measurement range up to 1000  $\mu$ m or 40 mils

### Multi-Frequency Operation

- 2-frequency multiplex

- Multiplex rate up to 1 kHz

- Both frequencies fully adjustable, independent of each other

- Signal mix-function to suppress unwanted effects

### Interfaces

- RS232-interface for PC or printer (HP Laserjet and Epson LX80)

### Operation with Lithium-Ion Batteries

- Without background light and rotor: approx. 8 hours

- With light and rotor: approx. 6 hours

- Indication of remaining charge capacity

- Acoustic and optical alarm for low battery

- Charge time Li-Ion battery from 0 % to 70 % - approx. 1 hour

- Charge time Li-Ion battery from 0 % to 100 % - approx. 6 hours

- Battery may be replaced in less than 10 seconds

### Ambient Conditions

- Operation between -20 °C (-4 °F) and 50 °C (122 °F) at max. 85 % rel.

humidity (non-condensing)

- Storage between -30 °C (-22 °F) and 80 °C (176 °F) at max. 85 % rel.

humidity (non-condensing)

- Battery charge between 0 °C (32 °F) and 40 °C (104 °F) at max. 85% rel.

humidity (non-condensing)

### Dimensions

- Ergonomic design

- Max. dimensions:

320 mm (12.6") / 125 mm (4.92") / 73 mm (2.87")

(length/width/depth)

- At display:

120 mm (4.72") / 107 mm (4.21") / 53 mm (2.08")

(length/width/depth)

- At handle:

185 mm (7.2") / 63 mm (2.48") / 44 mm (1.73") (length/width/depth)

### Weight

- Ergonomically optimized center of gravity (inside the operator's hand)

- Instrument without battery approx. 530 g (1.1 lbs)

- Lithium-ion battery approx. 390 g (0.85 lbs)

- Wide-range charger approx. 560 g (1.23 lbs)

- Table-top charger (docking station) approx. 1,070 g (2.35 lbs)

### Power Supply (Options)

- Li-ion battery (14.8 V/2300 mAh)

- Mains operation with desk-top docking station (88 – 265 VAC/47 – 440 Hz) featuring intelligent battery management separately for instrument and second battery pack

### Calibration Standards (optional)

- Calibration standards: titanium, aluminum, stainless and ferromagnetic steel with reference notches: 0.2/0.5/1.0 mm (0.039/0.02/0.008 inch) deep; may be inserted into the instrument handle

### Setting Manager

- PC-software to archive settings, generate test reports and screen shots



## KAS 61-7 ASP05750

### SENSORDATEN

#### ANWENDUNG

Vorzugsweise Korrosionsprüfung, manuelle Sortieraufgaben, Rißprüfung auf verdeckte Risse, ohne Kanteneinfluß, prüfrichtungsunabhängig.  
 Korrosionsprüfung an Klebe- und Nietverbindungen aus Aluminium. Durch austauschbares Kompensationsplättchen (Standard: Aluminium) auch für andere Materialien optimierbar.

#### SPULENSYSTEM

Absolute-Ferritkern ø 11,0 mm, transformatorisch, magnetisch abgeschirmt

#### FREQUENZBEREICH

200 Hz - 100 kHz

#### AKTIVER BEREICH

Ca. 9,0 mm

#### EINDRINGTIEFE

Ca. 4,0 mm in Aluminium

#### TECHNISCHE DATEN

KABEL: EK-X-HF/1, EK-X-007  
 GEHÄUSE: Kunststoff (Delrin)/ Gehäuse Nr. 61  
 ABMESSUNGEN: 37 x 13 x 23 mm  
 GEWICHT: 15 g

#### BESTELLDATEN

ASP05750

### PROBE DATA

#### APPLICATION

Preferably for the detection of corrosion, manual sorting applications, detection of hidden cracks, without edge influence; independent of the direction of the inspection  
 Detection of corrosion on bonded or riveted aluminum layers; may be optimized for other materials by using interchangeable compensation dies (standard: aluminum).

#### PROBE SYSTEM

Absolute probe, ø 11.0 mm transformer, magnetically shielded

#### FREQUENCY RANGE

200 Hz - 100 kHz

#### ACTIVE AREA

Approx. 9.0 mm

#### PENETRATION DEPTH

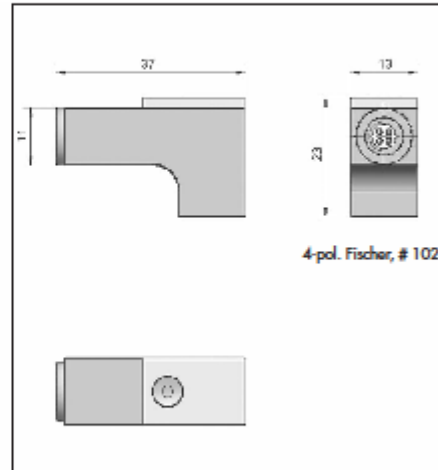
Approx. 4.0 mm in aluminum

#### TECHNICAL DATA

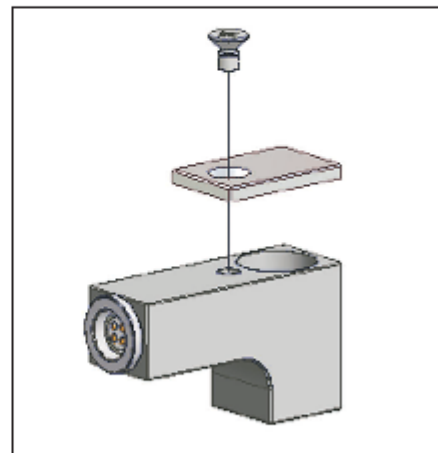
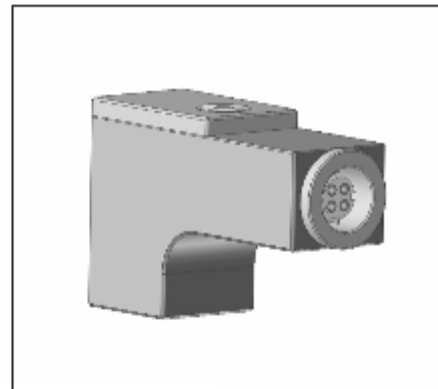
CABLE: EK-X-HF/1, EK-X-007  
 HOUSING: Plastics (Delrin), housing # 61  
 DIMENSIONS: 37 x 13 x 23 mm  
 WEIGHT: 15 g

#### ORDER-NO.

ASP05750



4-pol. Fischer, # 102



**SENSORDATEN**

**ANWENDUNG**  
Manuelle (dynamische) Rißprüfung, punktuelle Sortierprüfung, Oberflächenrisse in unbestimmter Lage (prüfrichtungsunabhängig).

**SPULENSYSTEM**  
Absolut-Ferritkern, Ø 1,0 mm, transformatorisch

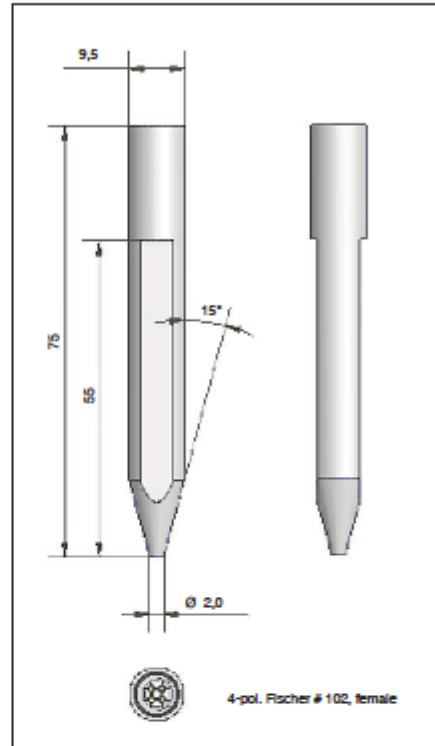
**FREQUENZBEREICH**  
10 kHz - 800 kHz

**AKTIVER BEREICH**  
Ca. 1,5 mm

**EINDRINGTIEFE**  
Gering

**TECHNISCHE DATEN**  
KABEL: EK-X-HF/1, EK-X-007  
GEHÄUSE: Kunststoff (Delrin), Stiftgehäuse # 2  
DURCHMESSER: 9,5 mm  
LÄNGE: 75,0 mm  
GEWICHT: 10 g

**BESTELLDATEN**  
ASPO0100



**PROBE DATA**

**APPLICATION**  
Manual (dynamic) crack detection; pointiform sorting; surface cracks in unspecified locations (independent of the direction of the inspection).

**PROBE SYSTEM**  
Absolute, ferrite core, Ø 1.0 mm; transformer

**FREQUENCY RANGE**  
10 kHz - 800 kHz

**ACTIVE AREA**  
Approx. 1.5 mm

**PENETRATION DEPTH**  
Very low

**TECHNICAL DATA**  
CABLE: EK-X-HF/1, EK-X-007-series  
HOUSING: Plastics (Delrin); pencil housing # 2  
DIAMETER: 9.5 mm  
LENGTH: 75.0 mm  
WEIGHT: 10 g

**ORDER-NO.**  
ASPO0100



**ABSOLUTE**

**SENSORDATEN**

**ANWENDUNG**  
Manuelle (dynamische) Rißprüfung.  
Oberflächenrisse in bestimmter Orientierung (prüfrichtungsabhängig).

**SPULENSYSTEM**  
Differenz-Ferritkern, ø 1,0 mm, transformatorisch

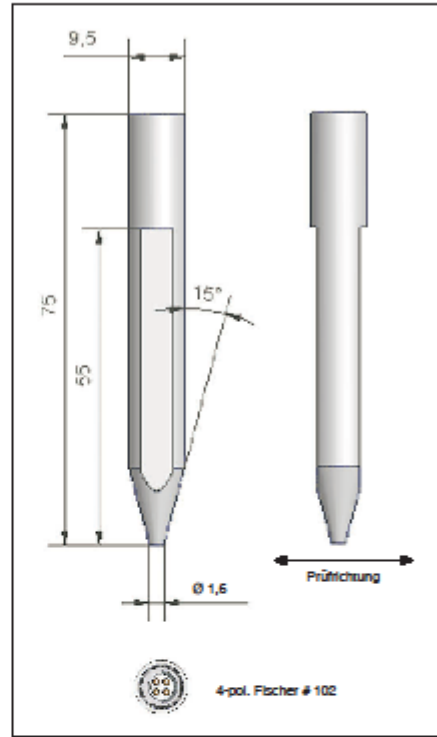
**FREQUENZBEREICH**  
10 kHz - 1 MHz

**AKTIVER BEREICH**  
Ca. 1,5 mm

**EINDRINGTIEFE**  
Gering

**TECHNISCHE DATEN**  
KABEL: EK-X-HF/1, EK-X-007  
GEHÄUSE: Kunststoff (Delrin)  
DURCHMESSER: 9,5 mm  
LÄNGE: 75 mm  
GEWICHT: 10 g

**BESTELLDATEN**  
ASP20010



**PROBE DATA**

**APPLICATION**  
Manual (dynamic) crack detection.  
Surface cracks with a certain orientation (dependent on the direction of the inspection).

**PROBE SYSTEM**  
Differential ferrite core; ø 1.0 mm; transformer

**FREQUENCY RANGE**  
10 kHz - 1 MHz

**ACTIVE AREA**  
Approx. 1.5 mm

**PENETRATION DEPTH**  
Low

**TECHNICAL DATA**  
CABLE: EK-X-HF/1; EK-X-007  
HOUSING: Plastics (Delrin)  
DIAMETER: 9.5 mm  
LENGTH: 75 mm  
WEIGHT: 10 g

**ORDER-NO.**  
ASP20010



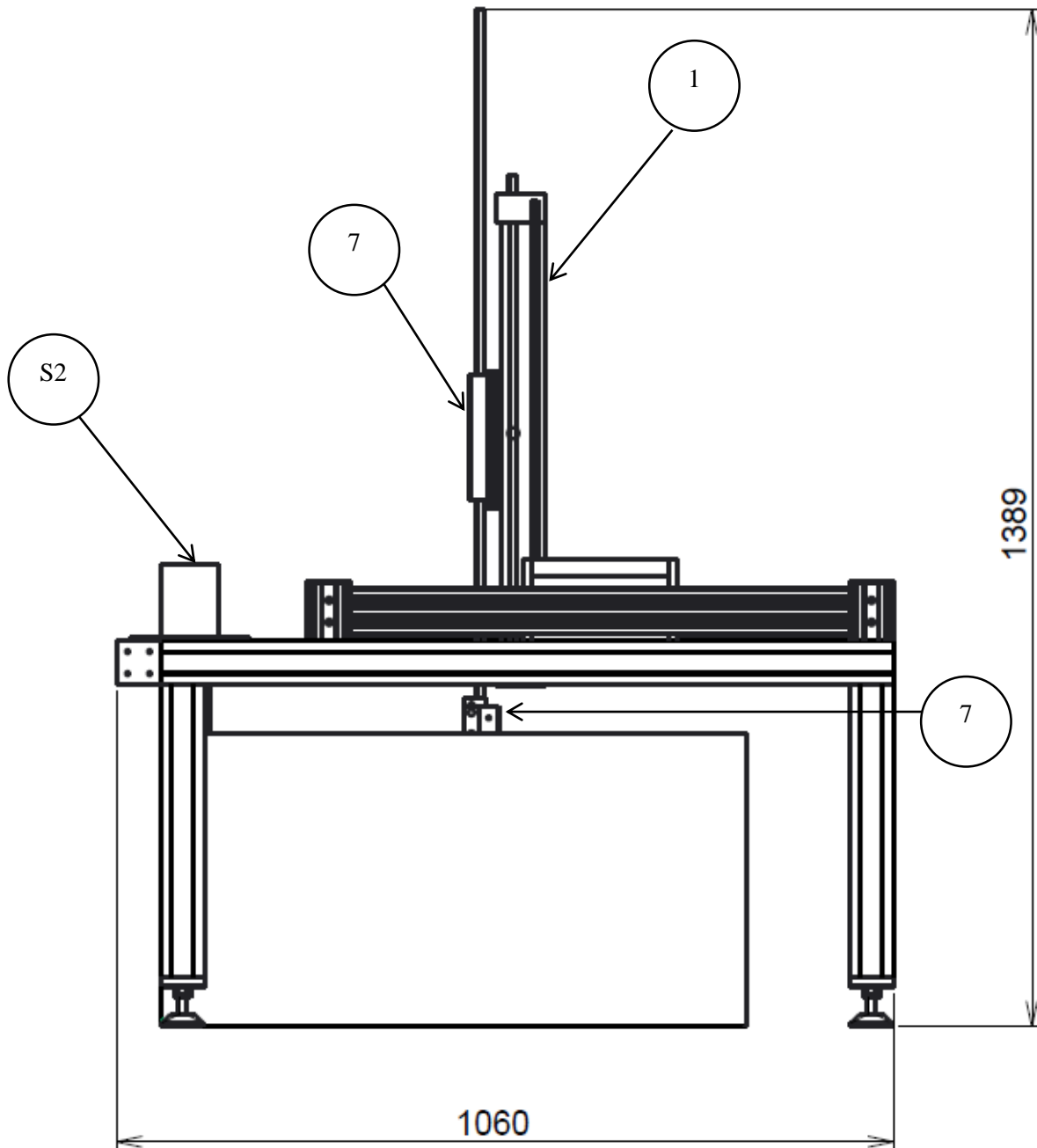
## 9.8 Onderdelenlijst

Onderdelenlijst labo UT-toestel						
<b>ZF</b>		<b>Masterthesis 2015 Kuypers Panis</b>				<b>Mach. Nr.: Lab-UT</b>
Stuknr.	Tek.nr.	Aant.	Benaming:	Materiaal	Leverancier (+Norm)	Opmerkingen
<b>Samenstellingen</b>						
S1	S1	1	UT-toestel			Buiten afmeting 1060x1390x810
S2	S2	1	Aandrijving draaitafel			
S3	S3	1	Draaitafel			
<b>Z-as</b>						
1		1	Z-as		Vansichen/Bahr	
2		1	Overbrenging		Vansichen/Bahr	
3		1	Motor		Vansichen/Beckhoff	
4		1	Bevestigingsplaat		Vansichen/Bahr	
5		4	Bevestigingsklemmen		Vansichen/Bahr	
6		8	Bevestigingsbout		Vansichen/Bahr	
7	1	1	Klemblok sensorstaaf	RVS	Feyen	
8	2	1	Sensorhouder 25MHz	Al	Feyen	
9	3	1	Sensorhouder 10MHz	Al	Feyen	
10		2	Klembout		ZF	
<b>Aandrijving draaitafel</b>						
20	4	1	Motorhouder	Al	Feyen	
21	5	4	Staaf	AL	Feyen	
22	6	1	Lagerhouder	Al	Feyen	
23		1	Lager		Eriks+Baudoin( SKF W6001-2RS1 )	
24	7	1	As	RVS	Feyen	
25		4	Bout M5 x 16		ZF	DIN EN ISO 106420
26		8	Inbus bout		ZF	DIN EN ISO 4762
27		4	Inbusbout voor frame		ZF	
28		1	Motorkoppelblok		Thesis 2014 Voets Knoops	
29		1	Tandriemwiel+bout M4		Thesis 2014 Voets Knoops	
<b>Draaitafel</b>						
40	8	1	Grondplaat		Feyen	
41	9	1	Lager binnenklem		Feyen	
42		2	Bout M5 x 20		ZF	DIN EN ISO 106420
43		1	Lager		Eriks+Baudoin (SKF W6010-2RS1 )	
44	10	1	Tandriemwiel		Vermeire Belting	
45	11a+b	1	Draaischijf		Feyen	
46		1	Bout M10 x 30		ZF	DIN EN ISO 106420
47		1	Spanplaat		Thesis 2014 Voets Knoops	
48	12	3	Centreerblok		UCLL	
<b>Elektrische uitbreiding</b>						
50		1	Voeding		Siemens SITOP PSU 200M 1	
51		1	Zekering		10A	
52		1	Motorkaart		Beckhoff EL 7201	
53		1	Motorkabel		Beckhoff ZK4704-0421-2050	
54		1	Servomotor		Beckhoff AM8121	
55		8	Verbindingsklemmen		Legrand 0 371 00	Blauw
56		4	Verbindingsklemmen		Legrand 0 371 61	Wit
57		3	Verbindingsklemmen		Legrand 0 371 71	Aarding
58						



## 9.9 Samenstellingstekeningen

Op de tekeningen staan ballonnen met de tekeningnummer uit de onderdelenlijst hierboven.

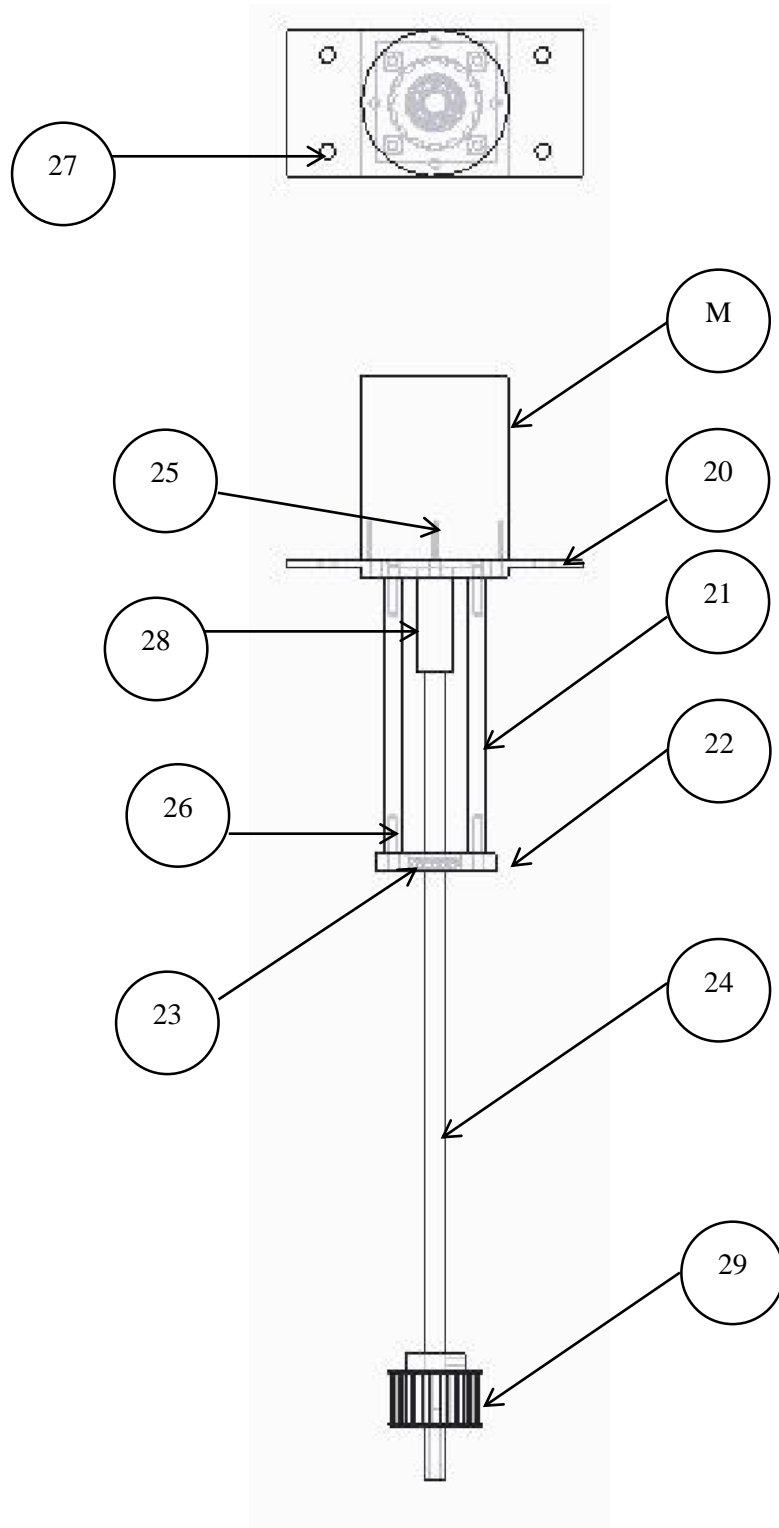


Naam: Totale samenstelling

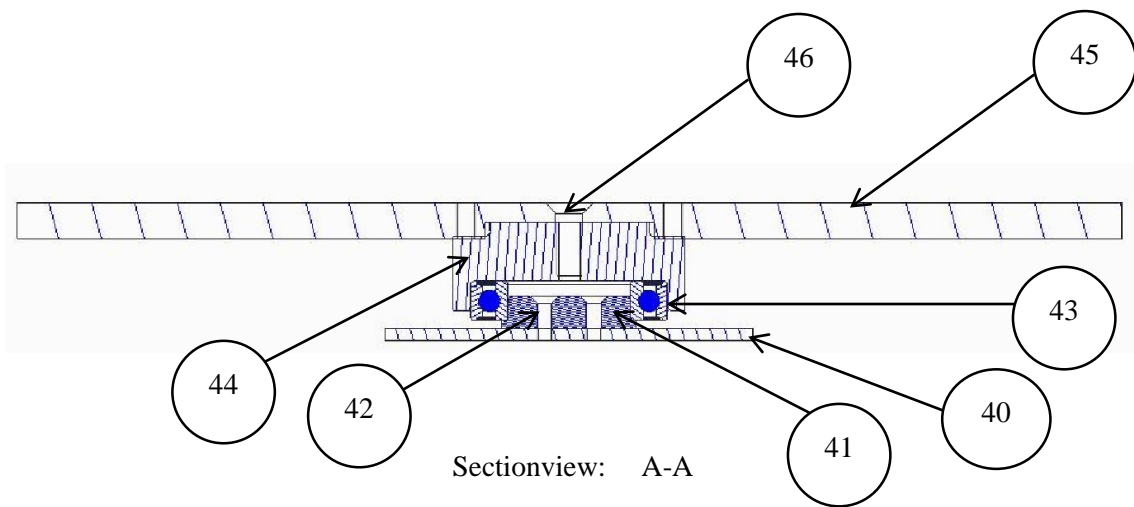
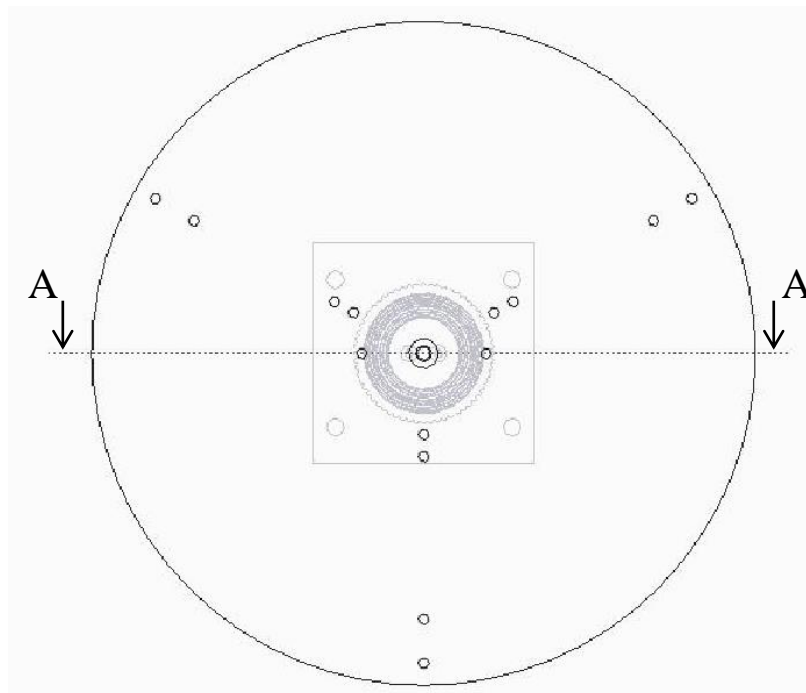
Mach.nr: Lab-UT

Stuknr: S1

Tek.nr: S1



Naam: Samenstelling aandrijving draaitafel  
 Mach.nr: Lab-UT      Stuknr: S2      Tek.nr: S2



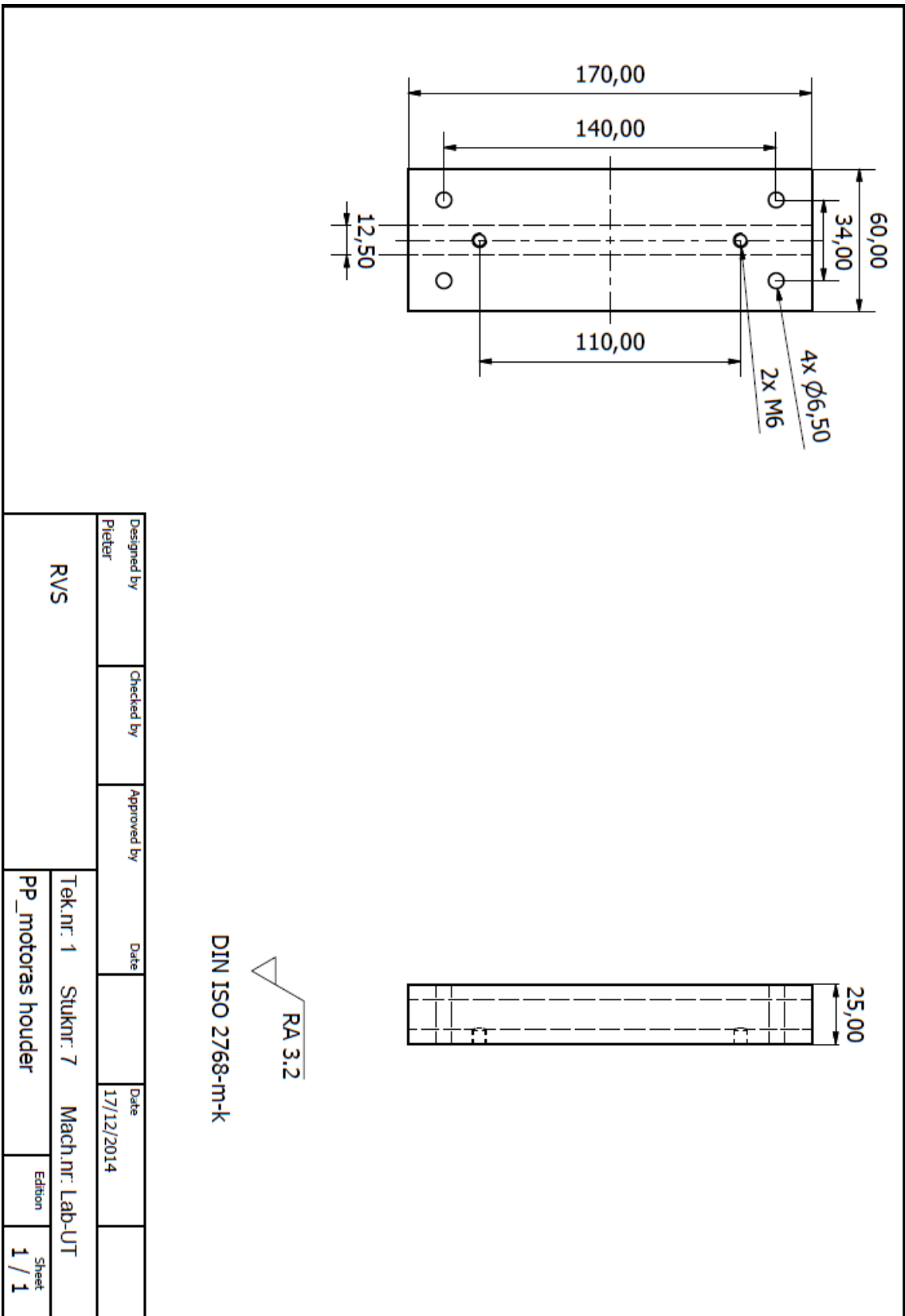
Naam: Samenstelling draaitafel

Mach.nr: Lab-UT

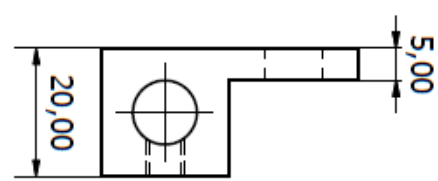
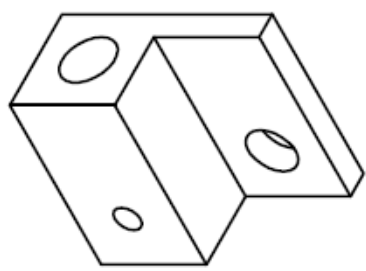
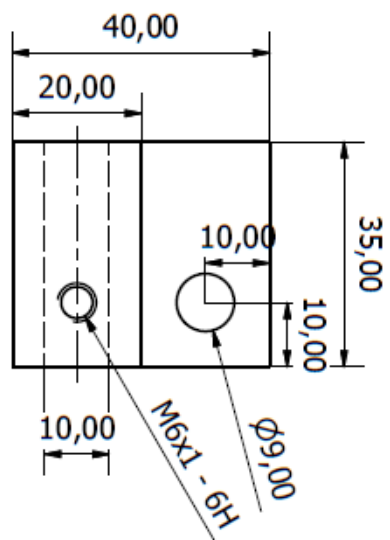
Stuknr: S3

Tek.nr: S3

## 9.10 Onderdeel tekeningen



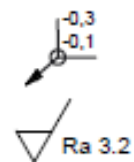
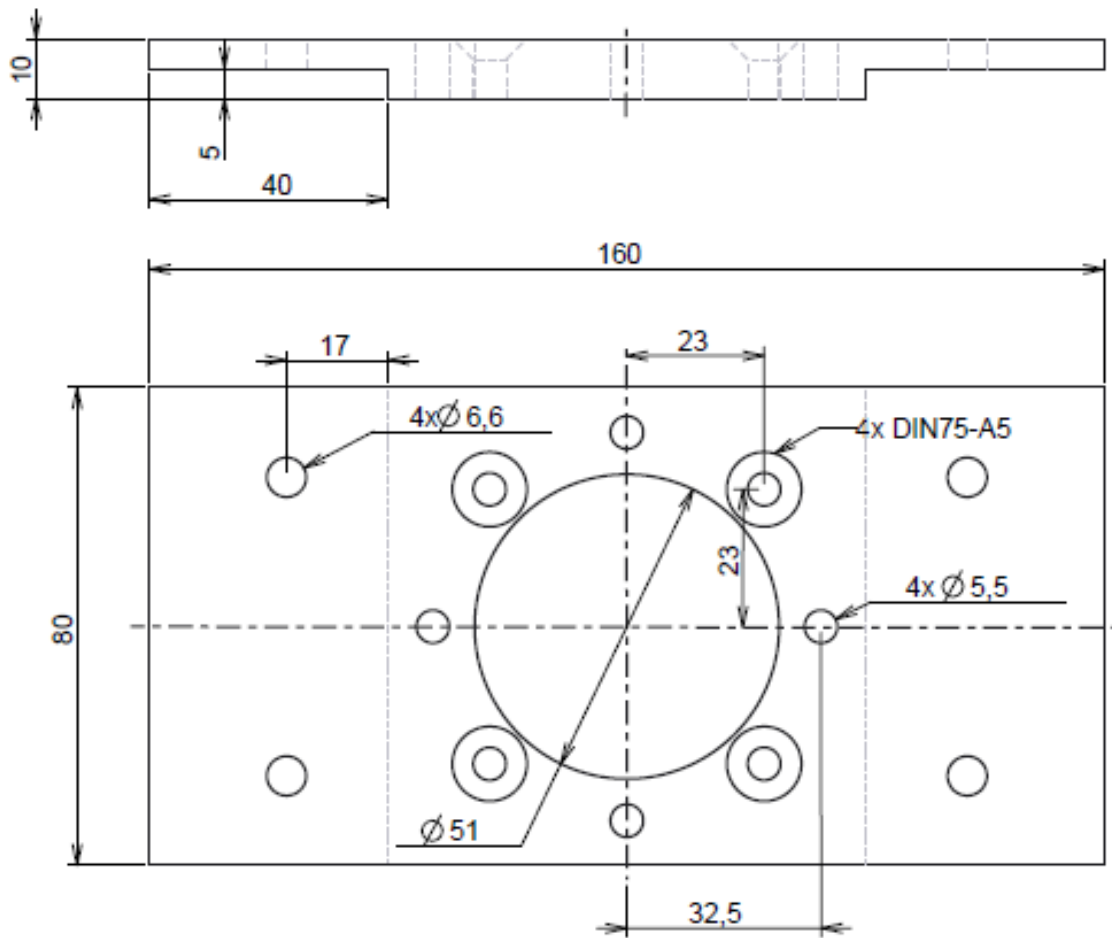




RA 3.2

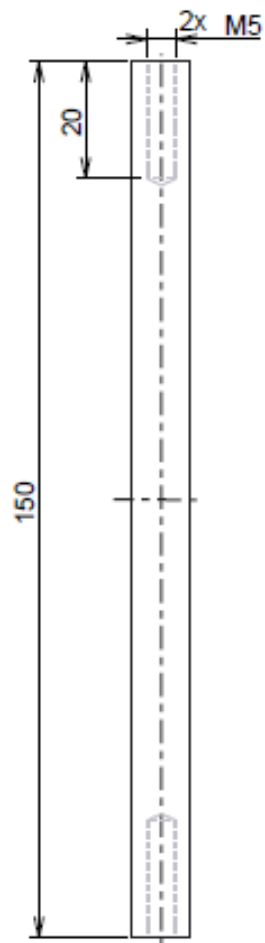
DIN ISO 2768-m-k

Designed by Pieter	Checked by	Approved by	Date 16/12/2014	Date
AI			Tek.nr: 3	Stuknr: 9
			Mach.nr: Lab-UT	
			PP_sensorhouder.10MHz	Edition 1 / 1
				Sheet 1 / 1



DIN ISO 2768-m-k

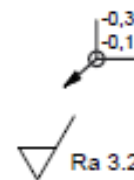
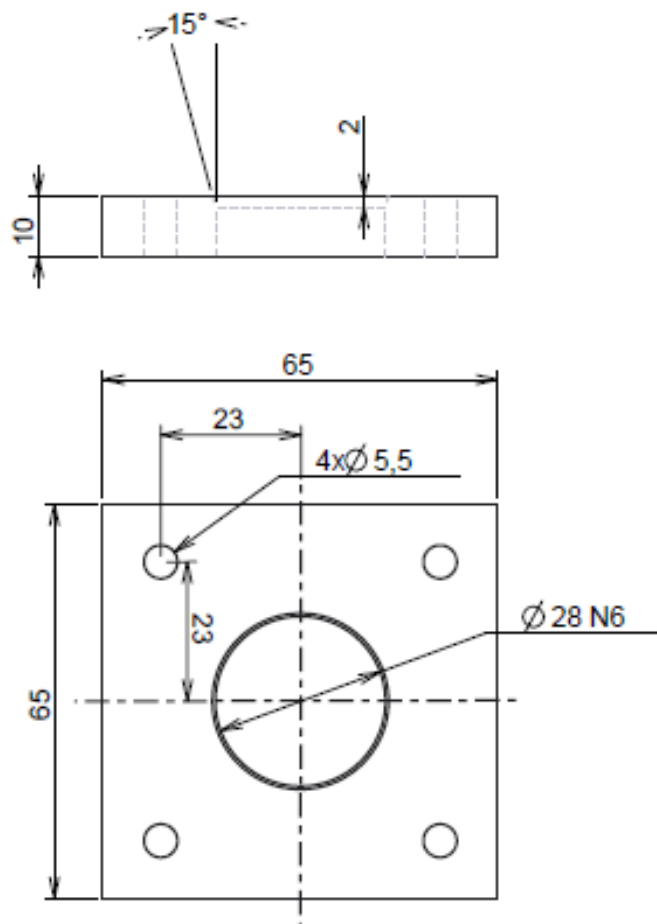
Materiaal: Al		Ruwmaten:	
Norm:		Behandeling:	
Benaming: Drager		Tek.nr: 4	Aantal: 1
		Stuknr: 20	Mach.nr: Lab-UT
	Tekenaar: SK	Formaat: A4	Schaal: 1/1
	Groep: ZF	Datum: 30/03/14	



DIN ISO 2768-m-k

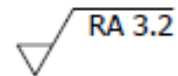
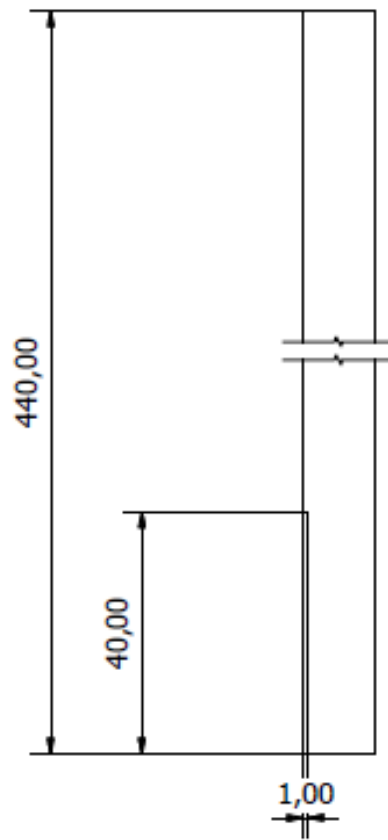
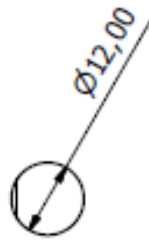
Materiaal: Al		Ruwmaten:	
Norm:		Behandeling:	
Benaming: Tussenas		Tek.nr: 5	Aantal: 4
		Stuknr: 21	Mach.nr: Lab-UT
SK	Tekenaar:	Formaat: A4	Schaal: 1/1
	Groep: ZF	Datum: 15/12/14	





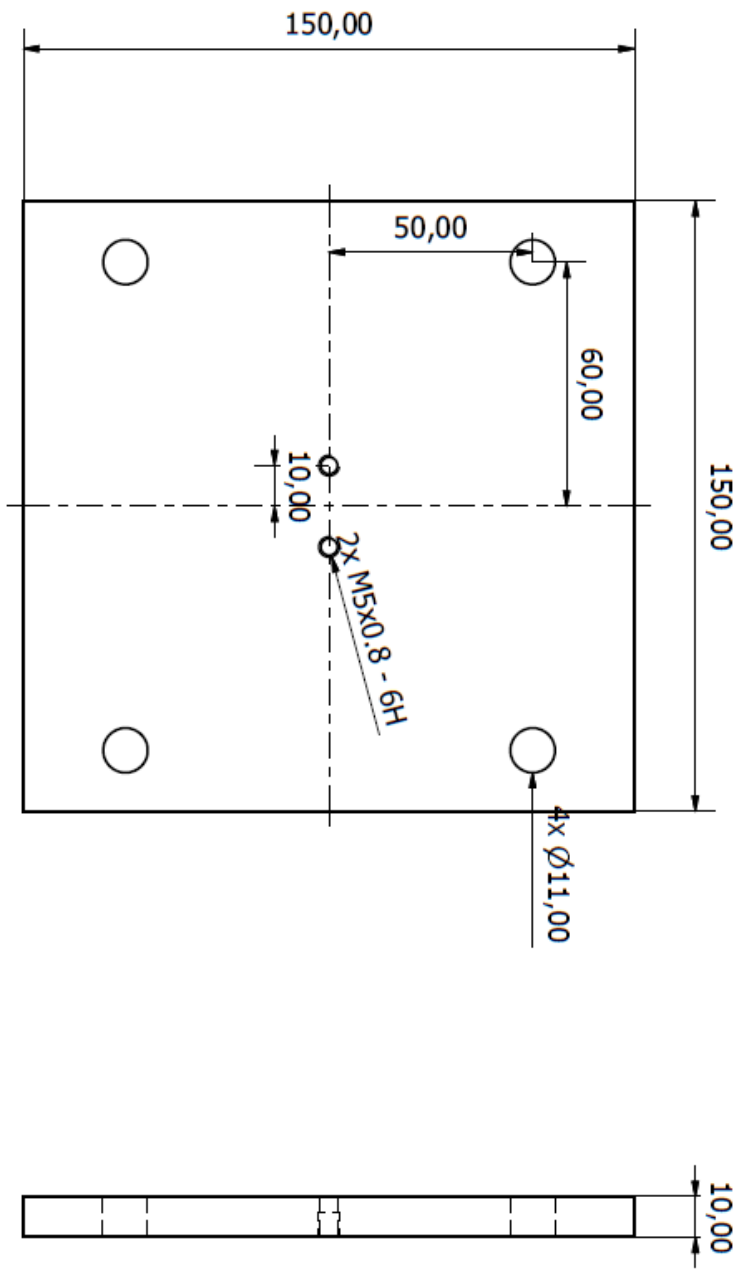
DIN ISO 2768-m-k

Materiaal: Al		Ruwmaten:	
Norm:		Behandeling:	
Benaming : Lagerhouder		Tek.nr: 6	Aantal: 1
		Stuknr: 22	Mach.nr: Lab-UT
SK	Tekenaar:	Formaat:	Schaal:
	Groep: ZF	Datum: 15/12/14	1/1

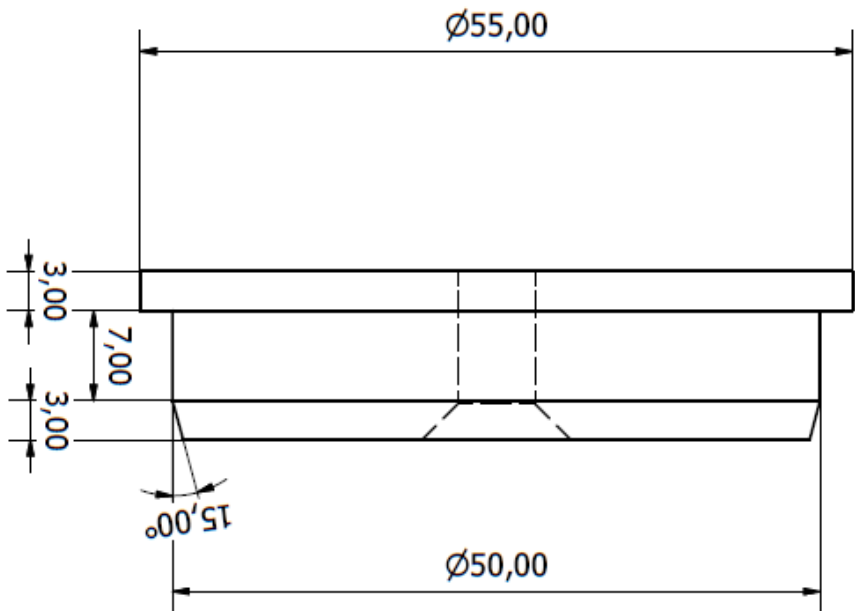
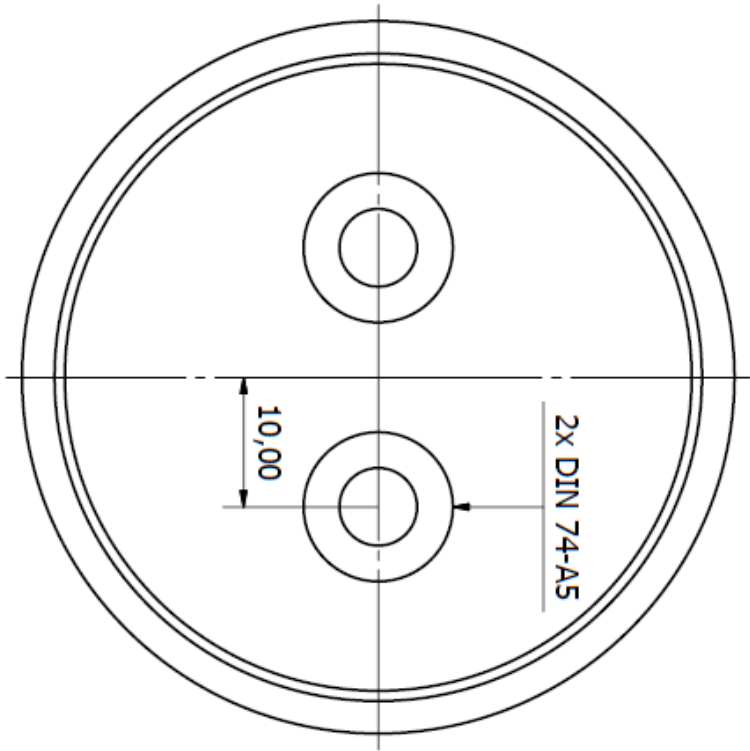


DIN ISO 2768-m-k

Designed by Pieter	Checked by	Approved by	Date	Date 17/12/2014	
RVS			Tek.nr: 7 Stuknr: 24 Mach.nr: Lab-UT		
			PP_stappenmotor as	Edition	Sheet 1 / 1

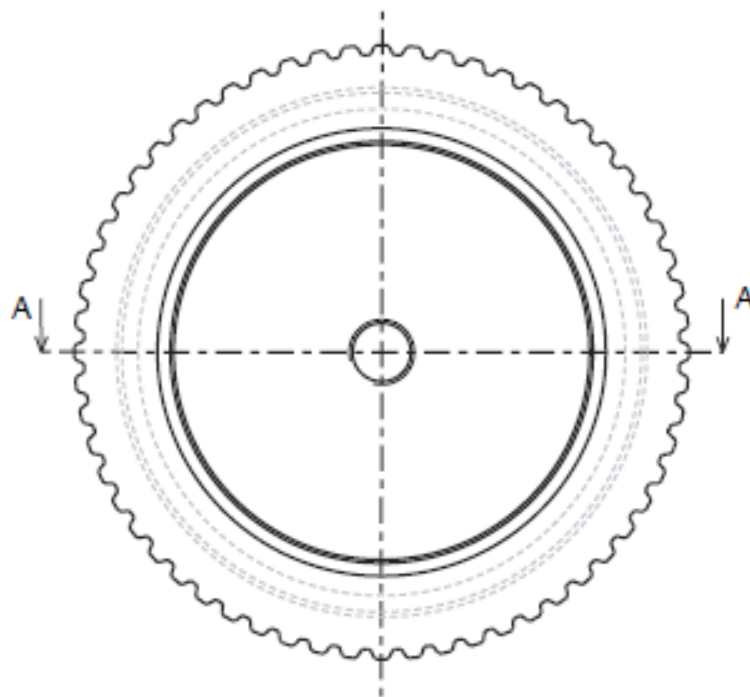
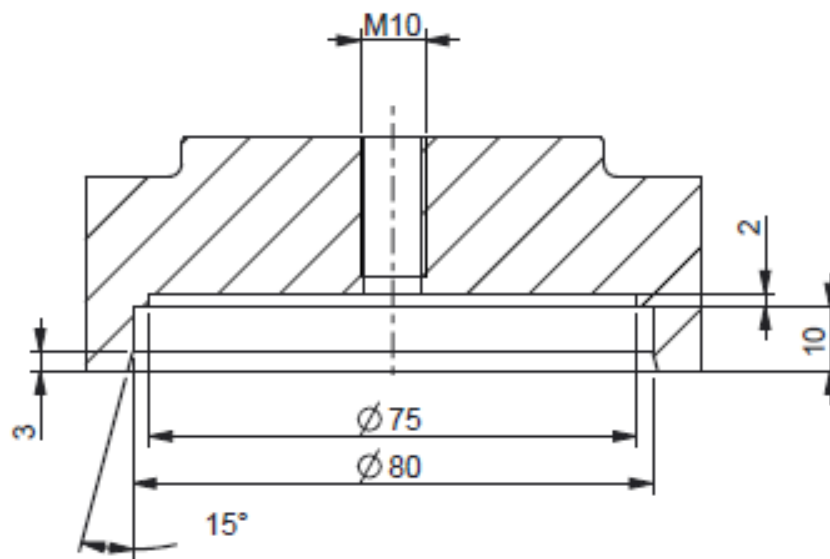


Designed by Pietefr	Checked by	Approved by	Date	Date	
			10/12/2014		
Tek.nr: 8		Stuknr: 40		Mach.nr: Lab-UT	
PP_grondplaat		Edition	Sheet		
		1 / 1	1 / 1		



Designed by Pieter	Checked by	Approved by	Date 9/12/2014	Date 9/12/2014
Tek.nr: 9 Stuknr: 41 Mach.nr: Lab-UT		AIMGS1.1		
PP_KLEMSTUKLAGER		Edition	Sheet	
		1 / 1	1 / 1	

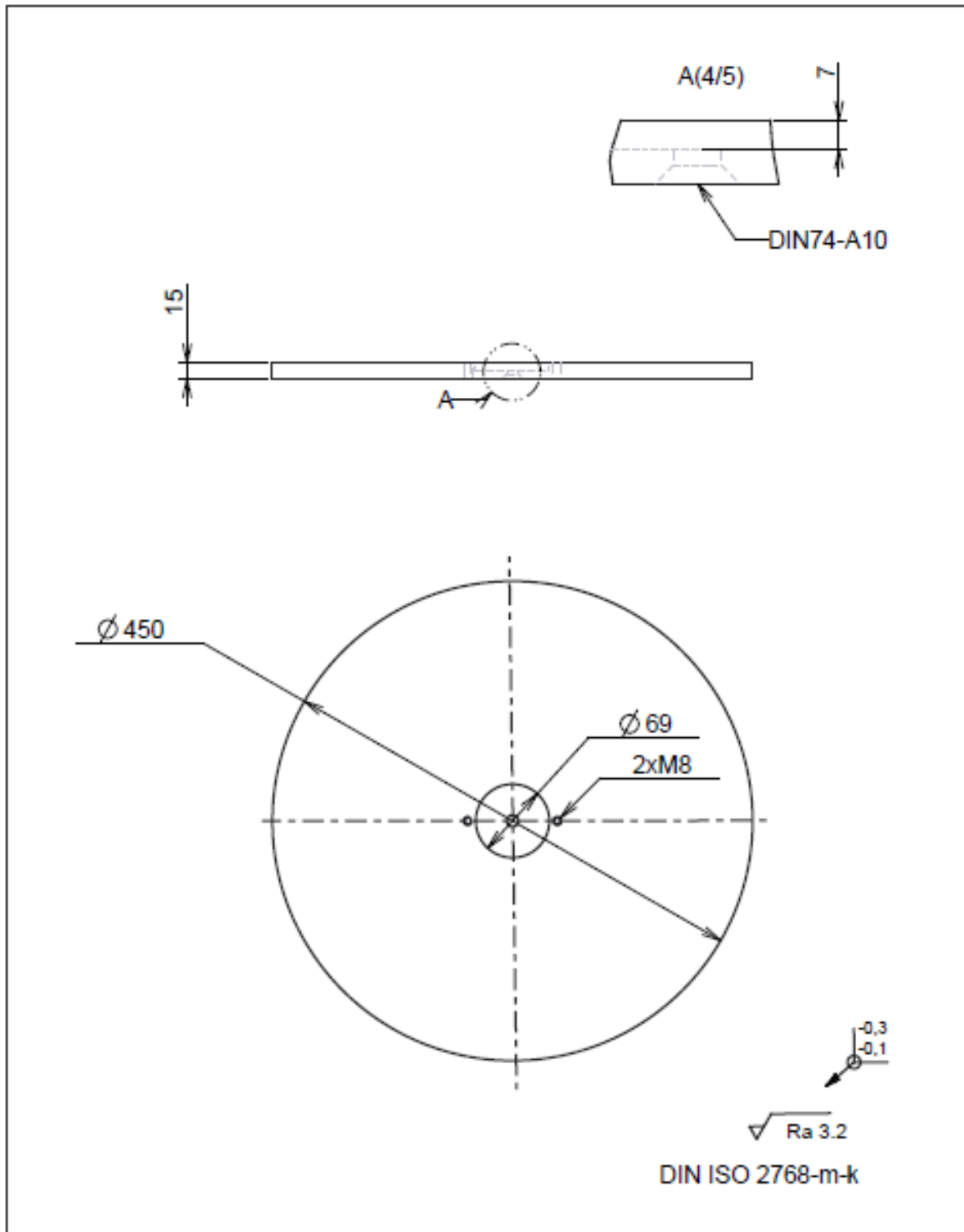
SECTION A-A


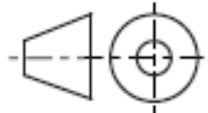


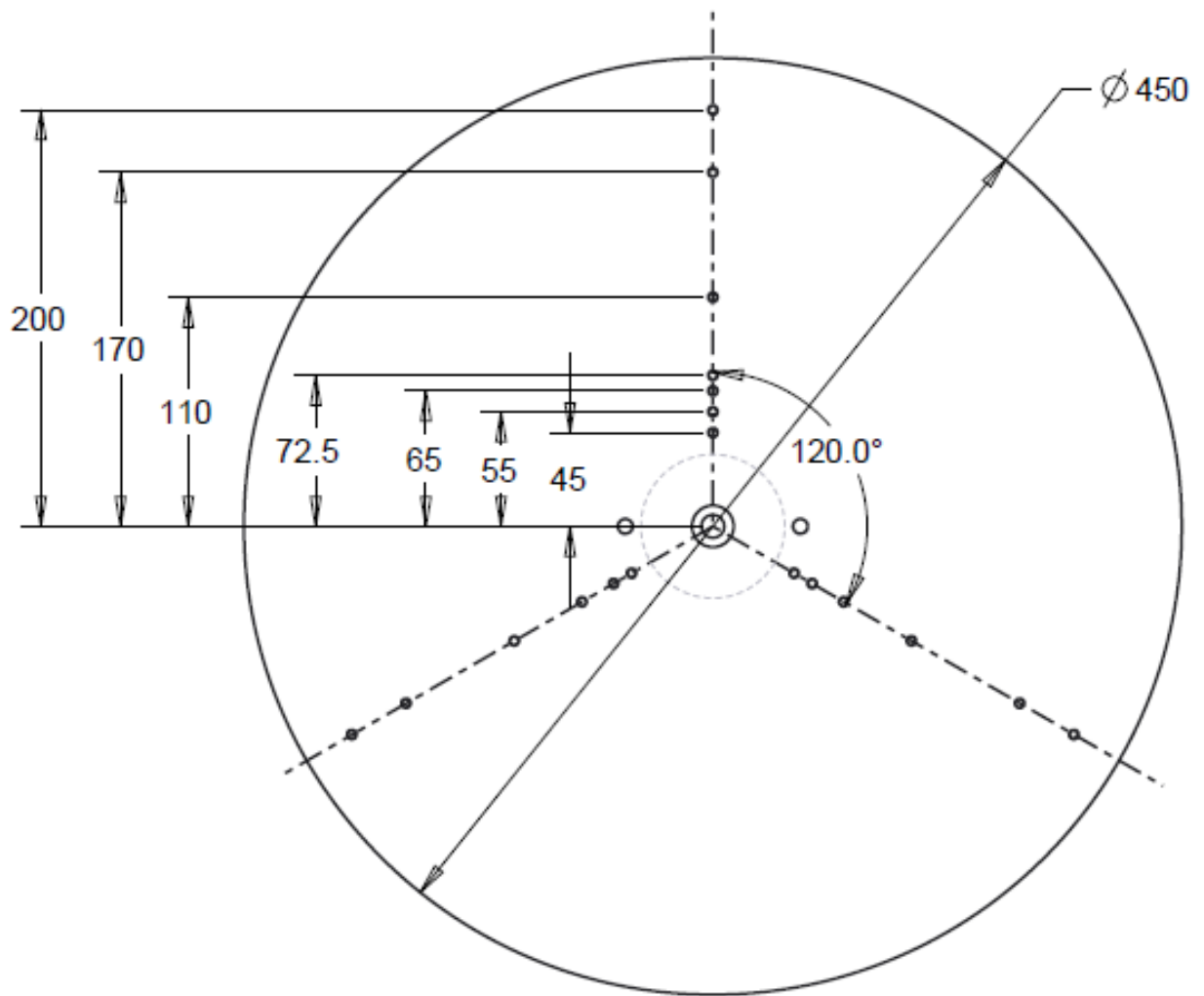
Ruwmaten: tandriemwiel 36 T5 60

Tandriemwiel uitfrezen op UCLL voor lagerklemming

Mach.nr: Lab-UT Stuknr: 44 Tek.nr: 10

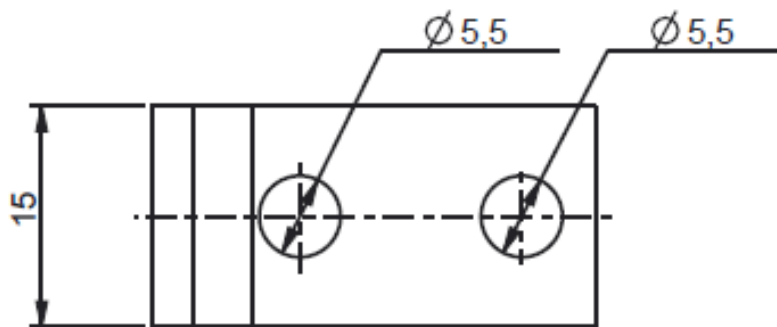
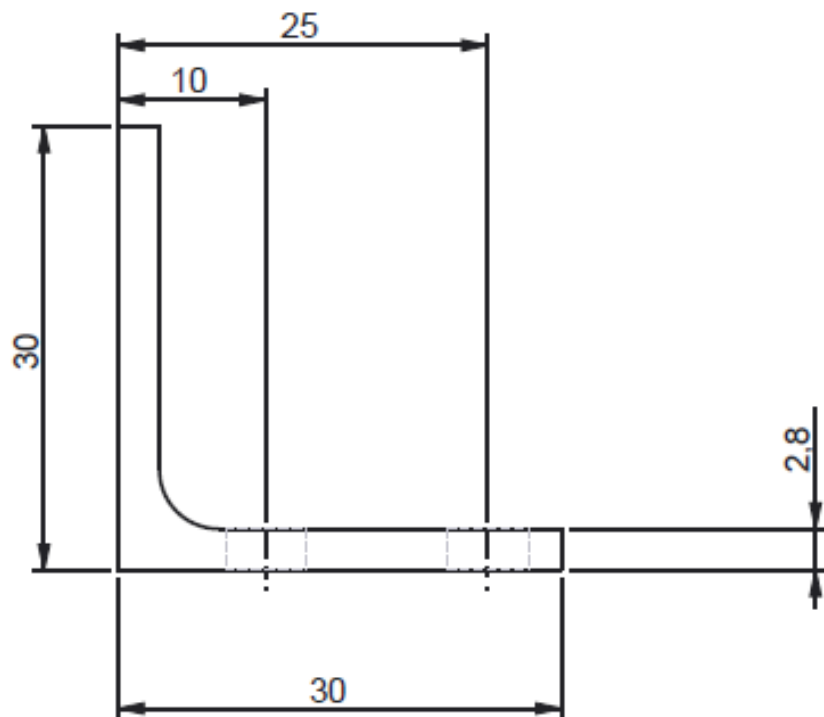


Materiaal: Al		Ruwmaten:	
Norm:		Behandeling:	
Benaming : DRAAGPLAAT		Tek.nr: 11a	Aantal: 1
		Stuknr: 45	Mach.nr: Lab-UT
	Tekenaar: SK	Formaat: A4	Schaal: 1/5
	Groep: ZF	Datum: 30/03/14	
			



21 Gaten van M5

Tek.nr: 11b Stuknr: 45 Mach.nr: Lab-UT



Naam: Centreerblok

Mach.nr: Lab-UT

Stuknr: 48

Tek.nr: 12

Aantal: 3

Ruwmaten: L-profiel 30x30x2.8

L-profiel zagen op 15 mm, in het werkhuis van UCLL



## Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Uitbreiden van een ultrasone meetopstelling voor beeldvorming van lagerschade**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

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,

**Kuypers, Sean**

**Panis, Pieter**

Datum: **31/05/2015**