

Prototyping van de



23-05-05

Ivo D. Warmels

Schoolbegeleider (Hogeschool van Utrecht):
J.E. Bullema
jan_eite.bullema@tno.nl

Bedrijfsbegeleider (AMC):
J.E. Brouwers
guido@brouwersweb.com

Prototyping van de Osteofoon.

Door:

Ivo D. Warmels
i.warmels@planet.nl

Met dank aan:

Guido Brouwers: Orthopedisch chirurg aan het AMC te Amsterdam, tevens projectleider en bedrijfsbegeleider, voor de goede begeleiding en het voorzien van dit project.

Jan Eite Bullema: Schoolbegeleider, voor de kritische opmerkingen, aanwijzingen, de goede begeleiding en alle inspanningen.

Leedert Blankenvoort: Hoofd ORCA, onderzoekers orgaan van het AMC, voor het mogelijk maken van het gehele project.

Verder iedereen die geholpen hebben dit afstudeerproject tot een goed einde te brengen.

Opmeer, 23 mei 2005

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
2. Doel van de afstudeeropdracht.....	5
3. Plan van aanpak.....	6
4. Planning.....	7
5. Wat is osteofonie.....	8
6. Historie.....	9
7. Wetenschappelijke benadering.....	10
7.1. Schade in botten.....	11
8. Wat hebben we nu.....	12
8.1. Hardware.....	12
8.2. Software.....	14
9. Pakket van Eisen.....	15
10. Mogelijke oplossingen.....	18
11. Vaststellen van het beste concept.....	26
12. Specificaties gebruikte onderdelen.....	28
13. Vergelijking DSP-starterkit.....	30
13.1. TMDSDSK6713.....	30
13.2. TMDSDSK5510.....	30
14. Complete beschrijving gekozen prototype.....	31
15. Artist impressions.....	32
16. Berekening Eigenfrequentie.....	33
17. Gebruikte afkortingen en symbolen.....	34
18. Bronvermelding en bedrijvenlijst.....	35
19. Bijlagen.....	36

1. Inleiding

Op straat komt iemand ten val en geeft aan pijn te hebben. De ambulance wordt gebeld, en het ambulancepersoneel onderzoekt de patiënt. Door middel van de anamnese, een vragenlijst die door de patiënt wordt beantwoord, en visuele signalen bepaald de dokter of een bot gebroken is.

Soms is een botbreuk niet van buitenaf te zien, omdat de patiënt toch pijnsignalen heeft **stuurt** de dokter de patiënt toch maar naar de spoedeisende hulp (SEH) van het ziekenhuis. Hier worden dan röntgenfoto's gemaakt waarop in veel gevallen gezien kan worden of het bot gebroken is of niet.

Helaas gebeurt het vaak dat patiënten onnodig doorgestuurd worden, wat extra werkdruk betekend voor de spoedeisende hulp van het ziekenhuis.

Door de huisartsen en ambulancepersoneel een werktuig in handen te geven dat op een eenvoudige manier een eenduidig antwoord kan geven op de vraag of een bot gebroken is, kan de werkdruk op de spoedeisende hulp verlicht worden. Daarnaast hoeft de relatief dure **apparatuur voor röntgenfoto's minder vaak gebruikt te worden.**

Dit werktuig is de osteofoon.

Met de osteofoon wordt op een patiënt- en gebruikersvriendelijke manier bepaalt of een bot is gebroken.

Osteofonie wordt **al meer dan honderd jaar toegepast en is een heel eenvoudige methode** die gebruik maakt van verschillen in geluid tussen een heel en een gebroken bot. Vroeger was dit een methode die een geoefend oor behoeft, een bot wordt aan een zijde aangeslagen met een reflexhamer, aan de andere zijde wordt met de stethoscoop de ontstane trilling beluisterd.

Tegenwoordig kan met de huidige rekenkracht van de computers de vergelijking tussen een heel en een gebroken bot digitaal gedaan worden en door elektronica worden geïnterpreteerd, op een scherm wordt dan aangegeven of het geanalyseerde bot gebroken is of niet.

2. Doel van de afstudeeropdracht

Het doel van deze afstudeeropdracht is voor het Academisch Medisch Centrum te Amsterdam, in samenwerking met dr. J.E. Brouwers, orthopedisch chirurg, het project 'Osteophony in orthopaedics' zodanig verder te ontwikkelen dat er uiteindelijk een uitgebreide beschrijving op tafel ligt waarmee een werkend prototype van de 'osteofoon' geproduceerd kan worden.

De werkzaamheden concentreren zich op de volgende punten:

- de **functies** van de osteofoon vastleggen
- het samenstellen van een realiseerbaar prototype
- het formuleren van benodigde onderdelen
- het maken van een kostprijsberekening
- het berekenen van de constructie op eigenfrequentie
- het berekenen van de constructie op stijfheid.

3. Plan van aanpak

Het is de planning dat in een tijdsbestek van 80 dagen een prototype van de osteofoon wordt ontwikkeld.

Wat moet er nog aan het project gedaan worden voor er een prototype gebouwd kan worden:

- alle functies van de osteofoon benoemen
- bij alle functies onderdelen zoeken die de **functies vervullen**
- alle benoemde onderdelen specificeren
De nodige onderdelen bij merk, type en uitvoering benoemen
- kostprijs van alle benoemde onderdelen weergeven
Van de, bij de vorige stap gespecificeerde, onderdelen kunnen van verschillende fabrikanten de prijzen en specificaties worden opgevraagd. Hiermee kan dan een "vergelijkend waren **onderzoek**" worden gedaan.
- kostprijsberekening maken voor het totaal ontwerp
Met de hierboven genoemde prijzen en specificaties kan een gedegen **kostprijsberekening worden gemaakt. Het resultaat van de berekening kan enigszins afwijken van de werkelijke kostprijs, omdat de prijzen van elektronische componenten sterk onderhevig zijn aan wisselingen.**
- **eerste impressie van hoe de osteofoon er straks uit gaat zien**
Met de ontwikkelingen van de toegepaste technieken ontstaat ook een idee hoe de osteofoon eruit kan gaan zien. Een aantal (**Artist-**) impressies zullen de revue passeren.

4. Planning

Voor dit project heb ik 80 dagen de tijd. Uitgaande van 8 uur per dag verspreidt over een periode van 18 weken zijn dit werkweken van ongeveer 36 uur.

	Februari				Maart					April				Mei				
Onderwerp	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Algemeen voorbereidend werk																		
Definiëren verschillende functies en oplossingen																		
Specificeren van de oplossingen																		
Kostprijsberekening van alle oplossingen																		
Dynamische berekeningen op het ontwerp																		
Afronden alle werkzaamheden																		

Tabel 1 Planning van februari tot en met mei

5. Wat is osteofonie

[Bron: 1, hst. 3]

Op dit moment komt een patiënt bij de huisarts (of de huisarts bij de patiënt) en de huisarts moet door middel van anamnese en algemeen lichamelijk onderzoek (visueel, pijnsignalen van de patiënt e.d.) bepalen of de patiënt een gebroken heup heeft en beslissen of deze patiënt ingestuurd dient te worden naar de spoedeisende hulp van een ziekenhuis voor verdere analyse door middel van röntgenfoto's. Niet bij elk **geval** van een heupfractuur kan eenduidig vastgesteld worden of er een fractuur aanwezig is.

Omdat het voor de huisarts soms lastig is om thuis meteen de juiste diagnose te stellen worden patiënten soms onnodig naar de spoedeisende hulp verwezen. Dit zorgt voor extra drukte op de eerste hulp. Met de ostefoon wordt een poging gedaan de huisarts een hulpmiddel in handen te geven dat hem beter in staat stelt om een heupfractuur te diagnosticeren waardoor onnodige **onderzoeken** in het ziekenhuis zoveel mogelijk worden beperkt.

Sinds een eeuw worden schade analyses van bouwkundige **objecten** met behulp van trillingen uitgevoerd (zie **ook** hoofdstuk 7, wetenschappelijke benadering). Deze methode wordt **sinds** 1816 ook gebruikt om botbreuken te diagnosticeren (zie hoofdstuk 6, Historie). In het **geval** dat een **heupfractuur** gediagnosticeerd wordt, gebruikte men een reflexhamer en een stethoscoop om een verandering in geluidresponsie waar te nemen. Met de hamer wordt op de knieschijf geklopt en met de stethoscoop wordt op het schaambeek geluisterd. Bij een gebroken bot klinkt het geluid zachter, omdat er bloed in de breuk gaat zitten, dit dempt de trilling van het bot.

Deze techniek werd al gauw osteofonie genoemd en is veel toegepast totdat Röntgen in 1895 het mogelijk maakte botbreuken af te beelden. Later is osteofonie weer verder onderzocht, maar is men in de jaren '70 meer de kant van ultra geluid opgegaan. Dankzij de huidige rekenkracht van computers is **trillingsanalyse** vereenvoudigd en is het **onderzoek** naar de **waarde** van osteofonie weer opgepakt.

Osteofonie is een aantrekkelijke methode om een gebroken heup te **detecteren** omdat deze methode geen gebruik maakt van grote en dure apparatuur en het **vooral** pijnloos en onschadelijk is (in tegenstelling tot röntgenstraling dat potentieel kankerverwekkend is voor zowel patiënt als röntgenlaborant).

Waar zal de ostefoon te vinden kunnen zijn:

- in de standaard uitrusting van **huisartsen(posten)**
- in de standaard uitrusting van ambulances
- in de mobiele ziekenhuizen van het leger
- in regionale ziekenhuizen in de derde wereld.

Andere toepassingen voor de ostefoon kunnen zijn:

- analyse van de botkwaliteit in verband met tumoren, osteoporose e.d.
- analyse van borging van heupprotheses
- bot ontkalking in ruimtevaart
- en misschien wel veel meer.

6. Historie

De osteofoon heeft reeds een lange historie achter de rug:

1816: Laennec ontwikkeld de stethoscoop en gebruikt deze ook voor het diagnosticeren van botbreuken.

1824: Lisfranc: "Een stethoscoop versterkt de effecten van botkraken"

1840: Camman "Er treed geluidsverlies op bij een botbreuk"

1895: Röntgenfotografie wordt geïntroduceerd, osteofonie wordt op een zijspoor gezet.

1949: Rowe analyseert trillingen van materialen, en patenteert zijn bevindingen

1967: Mather legt de relatie vast tussen de breeksterkte en de **elasticiteitsmodulus**.

1970: Jurist formuleert: $f_e \cdot L = k \cdot V_{s0}$ and $V_s^2 = E / \rho$ waarbij f_e = **eigenfrequentie**, L = lengte van het bot, k een constante, V = geluidssnelheid.

1977: Peltier: "Het geluid aan de gebroken kant klinkt lager en minder duidelijk"

1987: Misurya gebruikt een 128 Hz stemvork voor diagnose van fractures: **94%** juiste positieve diagnose.

2002: Tiru gebruikt een reflexhamer om diagnose te stellen bij mogelijke **heupfracturen**, en behaalt de **volgende** resultaten:

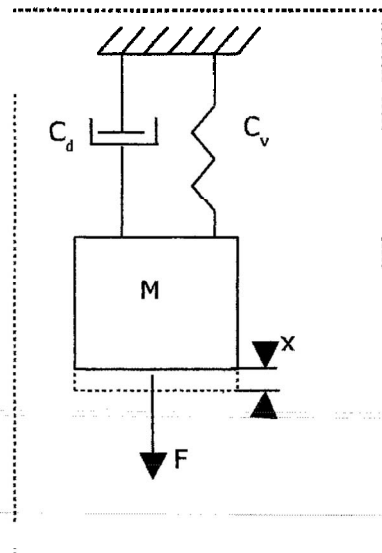
sensitiviteit: 0.96	96%	van de analyses blijken bruikbaar te zijn voor het onderzoek
Positieve voorspellende waarde 0.98	98%	van de positief beoordeelde metingen bleken daadwerkelijk een fractuur te zijn.
Negatieve voorspellende waarde 0.75	75%	van de negatief beoordeelde metingen bleken daadwerkelijk gezond te zijn.

2004: Brouwers pakt onderzoek op om osteofonie te digitaliseren en ontwikkeld een studie model.

Bron: [VII]

7. Wetenschappelijke benadering

Elk systeem dat aan trillingen blootgesteld wordt, kan worden terug gebracht naar een simpel massa, veer, demper systeem. Een bot is ook vergelijkbaar met zo een systeem. Het bot heeft een massa, een rekbaarheid en de omliggende weefsels, en het kraakbeen in de gewrichten werken **als** demper voor de trillingen.



In figuur 1 wordt een tweede orde, een massa-veer-demper systeem, afgebeeld. De symbolen komen ook in de formules 1 tot en met 8 terug.

Het gedrag van een tweede orde systeem kan worden voorspelt door gebruik te maken van de volgende formules.

Figuur 1: Massa-veer-demper systeem

$$F = M \ddot{x} + C_d \dot{x} + C_v x = 0$$

$$\xi = \frac{C_d}{2\sqrt{C_v M}}$$

$$\omega_e = \sqrt{\frac{C_v}{M}} = 2\pi f_0$$

$$\ddot{x} + 2\left\{\frac{C_d}{2\sqrt{C_v M}}\right\}\sqrt{C_v M}\dot{x} + \sqrt{(C_v M)^2}x = 0$$

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_e\dot{x} + \omega_e^2 x = 0$$

$$x = e^{-\xi\omega_e t} [A_1 \cos\{\omega_e \sqrt{1-\xi^2} t\} + A_2 \sin\{\omega_e \sqrt{1-\xi^2} t\}]$$

$$x = e^{-\xi\omega_e t} [A_1 e^{\omega \sqrt{\xi^2-1} t} + A_2 e^{-\omega \sqrt{\xi^2-1} t}]$$

$$x = e^{-\xi\omega_e t} [A_1 + A_2 t]$$

Formule 1: Kracht als functie van massa, afstand, veer- en dempingsconstante

Formule 2: Dempingsfactor als functie van veer- en dempingsconstante en de massa

Formule 3: Eigenfrequentie

Formule 4: 2^{de} orde systeem met onbekende f_0

Formule 5: 2^{de} orde systeem met f_0 gesubstitueerd

Formule 6: Onderkritisch gedempt, $\xi < 1$

Formule 7: Overkritisch gedempt, $\xi > 1$

Formule 8: Kritisch gedempt, $\xi = 1$

Door een kracht (F) uit te oefenen op het systeem wordt deze in trilling gebracht. Deze trilling is gelijk aan de eigenfrequentie van het systeem (f_0 , ω_e). Bij het inbrengen van een puls wordt de kracht (F) gelijk gesteld aan nul (formule 4). Met het invoeren van de eigenfrequentie en dempingsfactor ontstaat formule 5.

Bron: [IX]

7.1. Schade in botten.

Een bot kan ook worden samengevat in het systeem van Figuur 1.

Doordat botten **natuurlijke** materialen zijn varieert de E-modulus en de dichtheid. Hierdoor kan voor C_1 en C_2 geen concrete waarde ingevuld worden.

Wel kunnen uit metingen de dempingsfactor en eigenfrequentie gedestilleerd worden. Aan de hand van deze gegevens, en de coherentie kan een betrouwbare analyse gedaan worden. Met behulp van de analyse **software** kunnen de gegevens op meerdere aspecten met elkaar vergeleken worden. Door voldoende verschillende aspecten te definiëren kan een analyse gedaan worden welke aspecten (statistisch) de grootste inbreng hebben bij een botbreuk.

Door met een reflexhamer op de knie te tikken wordt het bot in trilling gebracht. Het bot gaat in zijn eigenfrequentie trillen. Deze trilling wordt opgepikt door een stethoscoop op het schaambeentje te plaatsen. Het schaambeentje ligt bij iedereen **oppervlakkig** en beide benen kunnen worden geanalyseerd zonder de stethoscoop te verplaatsen omdat het schaambeentje in contact staat met beide benen.

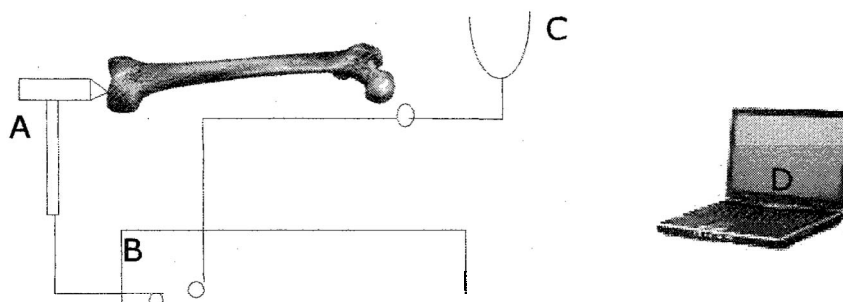
Het signaal wordt vervolgens digitaal bewerkt en geanalyseerd. Het signaal dat opgenomen is, wordt door Fast Fourier Transformation omgezet naar een spectrum van frequenties (Osteofonogram). In dit **spectrum** zijn duidelijke pieken waar te nemen. De plaatsen van deze pieken in het frequentie bereik zijn van belang omdat deze veranderen bij een botbreuk. **Om** een verplaatsing te kunnen meten moet **men** een referentie hebben. Om een goede vergelijking te kunnen maken wordt de stethoscoop midden op het schaambeentje geplaatst, waarna op beide knieën een aantal malen getikt wordt met het hamertje. **Als** dan beide frequentie diagrammen over elkaar gelegd worden, kan waargenomen worden waar de verschuiving plaats vindt en of de kans op een **fractuur** groot is.

Door een vergelijking te maken tussen de input en de responsie (de overdrachtsfunctie) wordt de coherentie uitgerekend. Deze geeft aan in welke mate de responsie door de input beïnvloed wordt. De waarde ligt tussen de 0 en 1, hoe hoger het getal, hoe meer verband er bestaat tussen input en responsie.

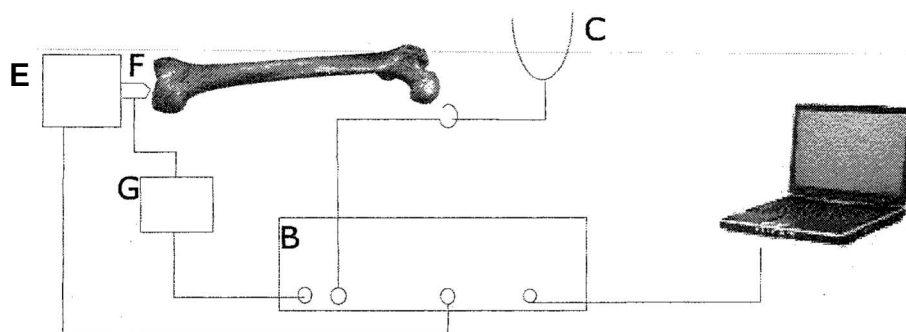
De coherentie is noodzakelijk omdat een akoestisch signaal door een microfoon (stethoscoop) wordt opgenomen en hierbij ook achtergrond geluid in de meting opgenomen wordt. Als deze ruis een piek **geeft** in het opgenomen signaal, moet dit niet mee genomen worden in de analyse. Als de opgenomen piek een lage coherentie met de input heeft, wordt deze door de analyse genegeerd. Dit maakt het analyseren van de mogelijke fractuur betrouwbaarder.

8. Wat hebben we nu

Het project bevindt zich nog in de experimentele fase. Dit houdt in dat er nog veel moet worden onderzocht voordat er een osteofoon op tafel ligt die aan alle eisen voldoet. Uit de lijst met de hard- en software die we nu gebruiken kan worden afgeleid welke **functies** op welke manier worden vervuld.



Figuur 2 Testopstelling met geïnstrumenteerde hamer



Figuur 3 Testopstelling met shaker

8.1. Hardware

Op dit moment bestaat er een prototype met de volgende onderdelen:

A. Hamer met versnelling opnemer (Endevco 2302-10):

Max. Belasting	2200	N
Resolutie	2,27	mV/N
Resonantie Frequentie	50	kHz
Frequentie bereik	8	kHz
Massa kop	0,1	kg
Impact diameter	0,0064	m

B. Signaal analyser/generator (Brüel & Kjær 3109):

Frequentie bereik:	0 - 25,6	kHz
ADC	16	bit
DAC	24	bit

C. Stethoscoop (Meditron)

Max. input	1 V p-p @ 100 Hz @ max. volume
Output Impedantie	> 100 R
Input impedantie	10-60 kΩ
Output filter	-3dB @ 80 Hz

D. laptop (Dell Inspiron 5100)

Processor	Intel Pentium M 2.0 GHz
Besturingssysteem	Windows XP Professional
Beeldscherm	15" SXGA+ TFT
Gewicht:	2,36 kg
Modem	56k
Netwerk	10/100 en WLAN
Poorten	USB 2.0, Firewire, TV-Out, IR, parallel en serieel
Schijven	CDRW-DVD, floppy, 120 GB harddisk
Grafisch	Intel Extreme, 64 MB onboard
Geheugen:	512 MB

E. Shaker (Brüel & Kjær 4810):

Impedantie	3,5	R
Max. input power	15	VA
Max. Slag	13	mm
Max. Kracht	10	N
Max. Frequentie	18	kHz
Eigenfrequentie	>18	kHz
Max. Versnelling	550	m/s ²

F. Versnelling/krachttopnemer (Brüel & Kjær 8001):

Versnellingsresolutie	3	pC/ms ⁻² / 3mV/ms ⁻²
Krachtresolutie	370	pC/ms ⁻² / 370mV/ms ⁻²
Frequentiebereik	1-6.000	Hz ±5% 1-10.000Hz±10%
Diameter contactvlak	8	mm
Kracht onder krachtopnemer	2.1	gr
Stijfheid onder versnellingsopnemer	25x10 ⁷	N/m
Capaciteit Versnellingsopnemer	1.000	pF
Capaciteit krachtopnemer	900	pF
Akoestische gevoeligheid	184	dB
Magnetische gevoeligheid	< 20	mV/T

G. Signaal versterker (Brüel & Kjær 2635):

Resolutie	0,01e-3 - 10 V/pC (-40 - +80 dB)
Maximale input	~ 105 pC

bron: [X]

De **signalen** worden via een ethernetverbinding vanuit de **signaal analyser** naar de computer gestuurd, die **met behulp** van een zeer uitgebreid **softwarepakket** de **analyse** voor onze toepassing uitvoert.

8.2. Software

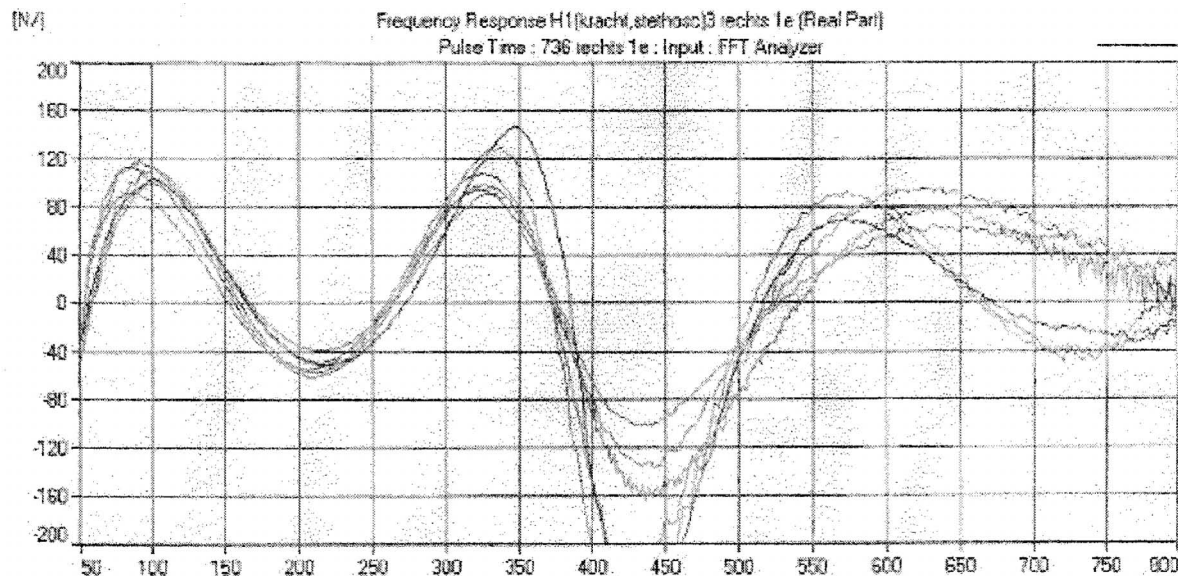
Een opgenomen geluidssignaal is typisch een grafiek in het tijddomein. Dit is niet een handzame vorm voor uitgebreide signaal analyse, omdat bij deze analyses vooral naar frequenties wordt gekeken. Door middel van een Fast Fourier Transformation (FFT) wordt de grafiek omgezet naar een grafiek in het frequentiedomein. Hieruit kan worden afgelezen welke frequentie het beste doorkomt. Dit is de eigenfrequentie van het materiaal.

De klop van de hamer wordt met een versnellingsopnemer opgepikt en naar de signaal analyser gestuurd. Deze zet dit signaal om van het tijddomein naar een signaal in het frequentiedomein. De trilling van het bot wordt aan het schaambeen opgepikt door een stethoscoop en ook met de signaal analyser getransformeerd naar het frequentiedomein.

Door een vergelijking tussen deze twee signalen te maken (de coherentie) kan worden bepaald in welke mate het uitgangssignaal afhankelijk is van het ingangssignaal. De coherentie is een getal tussen de 0 en de 1, 0 betekend geen afhankelijkheid, 1 betekend volledig afhankelijk.

Dit is belangrijk om te bepalen, omdat er gezocht wordt naar een piek in het frequentiebereik en het signaal opgenomen wordt met een elektronische stethoscoop kan er omgevingsgeluid in het signaal mee opgenomen worden. Als dit een piek zou geven in het bereik waar een verschuiving bij een fractuur wordt verwacht, is de meting niet betrouwbaar.

Uit onderzoek blijkt dat het opgenomen signaal vanaf het schaambeen een zeer helder signaal is waar weinig tot geen ruis in aan wordt getroffen.



Figuur 4: Zeer helder signaal in het frequentie domein, bruikbaar signaal tot 400 Hz

De coherentie is gebaseerd op de berekende cross-spectrum van het signaal. Het cross-spectrum wordt bepaald door middel van herhaalde experimenten of door een proef in een aantal segmenten, waarbij de segmenten als aparte metingen worden behandeld.

De coherentie wordt met de volgende formule bepaald:

$$\overline{\text{Coh}}(\omega, k) = \frac{\frac{1}{R} \sum_{m=0}^{R-1} |W_X(\omega, kB_m R + mB_m) W_Y(\omega, kB_m R + mB_m)|^2}{\frac{1}{R} \sum_{m=0}^{R-1} W_X(\omega, kB_m R + mB_m) W_X(\omega, kB_m R + mB_m) W_Y(\omega, kB_m R + mB_m) W_Y(\omega, kB_m R + mB_m)}$$

Formule 1 Coherentie

[bron: XI]

9. Pakket van Eisen

Om een goed product te kunnen maken, moeten de eisen die aan het product gesteld worden uitgewerkt worden tot een compleet pakket van eisen. Sommige eisen zijn leidend, andere eisen kunnen gewijzigd worden zonder dat de werking van het product in het geding komt.

1 Functionaliteit

1.1 Mogelijkheden

1.1.1 Een bot in trilling brengen

1.1.1.1 Pulse met (reflex) hamer

1.1.1.2 Sinusvormig met shaker

1.1.2 Trilling van bot oppikken

1.1.3 Opgepikte trilling vastleggen, 10x

1.1.3.1 Kortdurend, tbv directe analyse

1.1.3.2 Langdurig, tbv archivering

1.1.4 Opgepikte trilling analyseren

1.1.4.1 Fast Fourier Transformatie van ingangssignaal

1.1.4.2 Fast Fourier Transformatie van uitgangssignaal

1.1.4.3 Coherentie berekenen tussen in- en uitgangssignaal

1.1.4.3.1 Coherentie > 0,95 > verdere analyse uitvoeren

1.1.4.3.2 Coherentie < 0,95 > meting verwerpen > nieuwe meting vragen

1.1.5 Resultaat van actuele analyse weergeven op display

1.1.6 Resultaten van eerdere analyse uitvoeren naar computer

1.2 Additieve mogelijkheden

1.2.1 Botdichtheid analyseren voor **ruimtevaart/osteoporose**

1.2.2 Analyseren van mate van fixatie van een heupprothese

2 Betrouwbaarheid

2.1 Alle **heupfracturen** moeten geregistreerd worden. (0% Foutief negatieve diagnose)

2.2 Alle losse heupprothesen moeten geregistreerd worden

2.2.1 Mate van loslating dient weergegeven te worden (micrometer)

2.3 Botdichtheidsmeting moet nauwkeurig genoeg zijn

2.4 Behuizing moet minstens 5 jaar (bij normaal gebruik) meegaan

2.5 Voeding

2.5.1 Batterij als back-up

2.5.2 Batterij voor normaal gebruik gedurende **1** jaar

2.5.3 Oplaadbare spanningsbron

3 Kostprijs

3.1 Reproduceerbaar beneden de € 500,-- per stuk

3.2 Ontwikkelkosten mogen niet boven f 5.000,-- uitkomen

4 Design

- 4.1 **Het systeem** moet goed hanteerbaar zijn voor een onervaren persoon
- 4.2 Display moet 1300 Lumen projecteren. Dit is duidelijk afleesbaar met fel licht (zomerse dag, buiten)
- 4.3 Interface moet duidelijk en eenvoudig zijn, evt. met menu structuur als meerdere functies worden geïntegreerd

5 Constructie

- 5.1 Dragende constructie voldoende stijf construeren
- 5.2 De eigenfrequentie van het systeem mag onder geen beding in het meetgebied liggen
- 5.3 Constructie spatwater dicht, voor de regenachtige dag
- 5.4 Bedrijfstemperatuur tussen de -20 en + 40 °C
- 5.5 **E.v.t.** Losse onderdelen in het hoofd apparaat op bergen

6 Elektronica

- 6.1 Elektronica goedkoop reproduceerbaar zijn
- 6.2 Elektronische onderdelen automatisch te assembleren
- 6.3 Elektronica bepaald **FFT** en **Coherentie**
- 6.4 **FFT** met de hoogste **FFT** grafisch op het display af te lezen
- 6.5 Coherentie op het display af te lezen

7 Mechanica

- 7.1 Constructie op statisch en dynamisch gedrag nagerekend
- 7.2 De laagste Eigenfrequentie van de constructie moet aanmerkelijk hoger liggen dan het meet gebied

8 Gebruikersaspecten

- 8.1 **Deze** aspecten worden uit het gebruikersonderzoek gehaald, dit onderzoek is nog gaande

Punt	Aanwezig	Aantekening
1.1.1	+/+	Reflexhamer, mechanische klopper
1.1.2	+/+	Shaker
1.1.3	+/-	
1.1.4	+/-	
1.1.5	+/+	PULSE software pakket/ elektronica
1.1.6	+/+	PULSE software pakket/ elektronica + communicatie software
1.2.1	-/-	Onderzoek nog gaande
1.2.2	-/-	Onderzoek nog gaande
2.1	-/-	Onderzoek nog gaande
2.2	-/-	Onderzoek nog gaande
2.2.1	-/-	Onderzoek nog gaande
2.3	-/-	Nog niet toegepast
2.4	-/-	Nog niet toegepast

Punt	Aanwezig	Aantekening
2.5.1	-/-	Bij elektronica ontwerp meenemen
2.5.2	+/-	Bij elektronica ontwerp meenemen
2.5.3	-/-	Oplaadbare voeding moet nog ontworpen worden
3.1	-/+	
3.2	-/+	
4.1	-/+	
4.2	-/+	
4.3	-/+	
5.1	-/+	
5.2	-/+	
5.3	-/+	
5.4	-/+	
5.5	-/+	
6.1	-/+	
6.2	-/-	Automatische assemblage wordt later ontworpen
6.3	-/+	
16.4	-/-	Voor tekstdisplay gekozen in het ontwerp
7.1	-/+	
7.2	-/+	
8.1	-/-	Onderzoek nog gaande

Tabel 1: **Toegepaste functionaliteit**

+/+ = Nu aanwezig in het studiemodel, aanwezig in het ontworpen prototype

+/- = Nu aanwezig in het studiemodel, (**nog**) niet opgenomen in het ontworpen prototype

-/+ = Nu niet aanwezig in het studiemodel, wel opgenomen in het ontworpen prototype

-/- = Nu niet aanwezig in het studiemodel, (nog) niet opgenomen in het ontworpen prototype

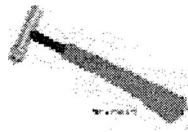
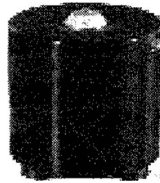
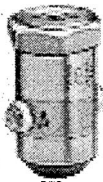
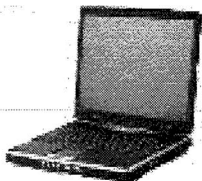
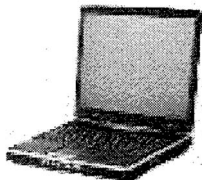
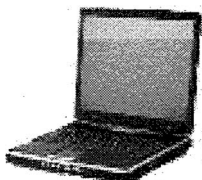
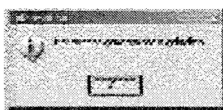
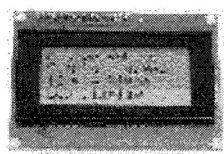
10. Mogelijke oplossingen

Om tot een goed ontwerp te komen moeten alle functies van het apparaat worden gedefinieerd.

Bij deze functies worden oplossingen bedacht.

Door alle oplossingen te combineren komen er een aantal totaaloplossingen uit. Een manier om tot oplossingen te komen is het maken van een morfologisch matrix, deze is op de **volgende pagina te vinden**.

1. Bot in trilling brengen
 - a. Geïstrumenteerde hamer (**Impuls** input)
 - b. Shaker (**sinusiodale** input)
2. Trilling -> Analooog-elektrisch
 - a. **Versnellingsopnemer**
 - b. Elektronische stethoscoop
3. Fast Fourier Transformatie
 - a. Software op een pc
 - b. DSP-chip
4. Coherentie bepalen
 - a. Software op een pc
 - b. Chip
5. $0,95 \leq \text{Coherentie} \leq 1,00$ Piekwaarde uit **FFT** berekenen
 - a. Software op een pc
 - b. Chip
6. Resultaat weergeven
 - a. Dialoogvenster in de software op een computer
 - b. Lampje op het apparaat
 - c. Tekst-display op het apparaat

1. Bot in trilling brengen	1a 	1b 	
2. Trilling -> analoog elektrisch	2a 	2b 	
3. Fast Fourier Transformatie	3a 	3b 	
4. Coherentie bepalen	4a 	4b 	
5. $0,95 \leq \text{Coherentie} \leq 1,00$ Piekwaarde uit FFT berekenen	5a 	5b 	
6. Resultaat weergeven	6a 	6b 	6c 

Tabel 2 Morphologisch matrix

Uit bovenstaand schema komen 12 **verschillende oplossingen**

1. 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a

Het bot in trilling brengen door **middel** van een geïnstrumenteerde **reflexhamer**; het signaal oppikken met een **versnellingsopnemer**; de data via **speciale** software **met** een **(draagbare)computer analyseren**; uitslag geven via een dialoogvenster in de software.

Benodigdheden:

- Reflexhamer met krachtopnemer
- **Versnellingsopnemer** in een solide **meetopstelling**
- Draagbare computer of PDA met twee opname kanalen
- **Specialistische** software

Voordelen

- + Geen nieuwe hardware ontwikkelen
- + Bij **zelf ontwikkelen** software is de software op maat te maken en makkelijk uit te breiden met meer meet mogelijkheden

Nadelen:

- Computer te groot om mee te nemen

2. 1a, 2b, 3a, 4a, 5a, 6a

Het bot in **trilling** brengen door middel van een geïnstrumenteerde **reflexhamer**; het signaal opvangen met een **elektronische** stethoscoop (of vergelijkbaar apparaat); de data via **speciale** software met een (draagbare) computer **analyseren**; **uitslag** geven via een **dialoogvenster** in de software.

Benodigdheden:

- Reflexhamer met krachtopnemer
- **Elektronische** stethoscoop
- Draagbare computer of PDA (met twee opname kanalen)
- Specialistische software

Voordelen:

- + Geen nieuwe hardware **ontwikkelen**
- + Bij zelf **ontwikkelen** software is de software op maat te maken en **makkelijk** uit te breiden met meer meet mogelijkheden

Nadelen:

- Computer extra mee te nemen apparatuur

3. 1a, 2a, 3b, 4b, 5b, 6b

Het bot in **trilling** brengen door **middel** van een geïnstrumenteerde **reflexhamer**; het signaal oppikken met een **versnellingsopnemer**; de data via een serie van DSP-chips **analyseren**; **uitslag** geven via een serie LED's.

Benodigdheden:

- Reflexhamer met krachtopnemer
- Versnellingsopnemer in een **solide meetopstelling**
- **Elektronische signaal processor** (ingebouwd bij de **versnellingsopnemer**)

Voordelen:

- + Geen software te **ontwikkelen** (chips moeten **wel** worden geprogrammeerd)
- + Door **speciale** DSP-chips te gebruiken, zeer **doelgerichte** functionaliteit te **ontwikkelen**

- + Weinig (en **klein** van formaat) extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote **schaal** zeer goedkoop te in te kopen

Nadelen:

- Chips zijn bij **kleine aantallen** duur
- LED aanduiding weinig nauwkeurig
- LED aanduiding biedt geen **mogelijkheid** tot uitbreiding met meer meetwaarden

4. 1a, 2b, 3b, 4b, 5b, 6b

Het bot in **trilling** brengen door **middel** van een geïnstrumenteerde reflexhamer; het **signaal** opvangen met een **elektronische** stethoscoop (of **vergelijkbaar** apparaat); de data via **speciale** software met een (draagbare) computer **analyseren**; **uitslag** geven via een serie van DSP-chips **analyseren**; **uitslag** geven via een serie LED's.

Benodigheden:

- **Reflexhamer** met krachtopnemer
- Elektronische stethoscoop
- Elektronische signaal processor

Voordelen:

- + Geen software te **ontwikkelen**
- + Door **speciale DSP-chips** te gebruiken, zeer doelgerichte **functionaliteit** te ontwikkelen
- + Weinig (en **klein** van formaat) extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote **schaal** zeer goedkoop te in te kopen
- + LED aanduiding zeer energie zuinig

Nadelen:

- Chips zijn bij **kleine aantallen** duur
- LED aanduiding weinig nauwkeurig
- LED aanduiding biedt geen **mogelijkheid** tot uitbreiding met meer meetwaarden

5. 1a, 2a, 3b, 4b, 5b, 6c

Het bot in **trilling** brengen door **middel** van een **geïnstrumenteerde** reflexhamer; het **signaal** oppikken met een **versnellingsopnemer**; de data via een serie van DSP-chips **analyseren**; **uitslag** geven via een geïntegreerd LCD.

Benodigheden:

- Reflexhamer met krachtopnemer
- **Versnellingsopnemer** in een **solide meetopstelling**
- Elektronische signal processing (ingebouwd bij de **versnellingsopnemer**)

Voordelen:

- + Geen software te **ontwikkelen**
- + Door **speciale** DSP-chips te gebruiken, zeer doelgerichte **functionaliteit** te ontwikkelen
- + Weinig extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote **schaal** zeer goedkoop te in te kopen
- + LCD biedt **mogelijkheden** om nauwkeurige informatie te geven
- + LCD biedt mogelijkheden tot uitbreiden met meer meetwaarden

Nadelen:

- Chips zijn bij kleine aantallen duur
- LCD's zijn relatief prijzig
- LCD's minder energie zuinig

6. 1a, 2b, 3b, 4b, 5b, 6c

Het bot in trilling brengen door middel van een geïnstrumenteerde reflexhamer; het signaal opvangen met een elektronische stethoscoop (of vergelijkbaar apparaat); de data via speciale software met een (draagbare) computer analyseren; uitslag geven via een serie van DSP-chips analyseren; **uitslag** geven via een geïntegreerd LCD.

Benodigdheden:

- Reflexhamer met krachtopnemer
- Elektronische stethoscoop
- Elektronische signaal processor

Voordelen:

- + Geen software te ontwikkelen
- + Door speciale DSP-chips te gebruiken, zeer doelgerichte functionaliteit te ontwikkelen
- + Weinig extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote schaal zeer goedkoop te in te kopen
- + LCD biedt mogelijkheden om nauwkeurige informatie te geven
- + LCD biedt mogelijkheden tot uitbreiden met meer meetwaarden

Nadelen:

- Chips zijn bij kleine aantallen duur
- LCD's zijn relatief prijzig
- LCD's minder energie zuinig

7. 1b, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a

Het bot in trilling brengen door middel van een shaker; het signaal oppikken met een versnellingsopnemer; de data via speciale software met een (draagbare) computer analyseren; uitslag geven via een dialoogvenster in de software.

Benodigdheden:

- Shaker met versnellingsopnemer
- Functiegenerator
- Versnellingsopnemer in een solide meetopstelling
- Draagbare computer (met twee opname kanalen)
- Specialistische software

Voordelen:

- + Geen nieuwe hardware ontwikkelen
- + Bij zelf ontwikkelen software is de software op maat te maken en makkelijk uit te breiden met meer meet mogelijkheden

Nadelen:

- Shaker heeft een functiegenerator nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Computer, shaker en versnellingsopnemer extra mee te nemen apparatuur

8. 1b, 2b, 3a, 4a, 5a, 6a

Het bot in trilling brengen door middel van een shaker; het signaal opvangen met een elektronische stethoscoop (of vergelijkbaar apparaat); de data via speciale software met een (draagbare) computer analyseren; uitslag geven via een dialoogvenster in de software.

Benodigdheden:

- Shaker met versnellingsopnemer
- Functiegenerator
- Elektronische stethoscoop
- Draagbare computer (met twee opname kanalen)
- Specialistische software

Voordelen:

- + Geen nieuwe hardware ontwikkelen
- + Bij zelf ontwikkelen software is de software op maat te maken en makkelijk uit te breiden met meer meet mogelijkheden

Nadelen:

- Shaker heeft een functiegenerator nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Computer, shaker en versnellingsopnemer extra mee te nemen apparatuur

9. 1b, 2a, 3b, 4b, 5b, 6b

Het bot in trilling brengen door middel van een shaker; het signaal oppikken met een versnellingsopnemer; de data via een serie van DSP-chips analyseren; uitslag geven via een serie LED's.

Benodigdheden:

- Shaker met versnellingsopnemer
- Functiegenerator
- Versnellingsopnemer in een solide meetopstelling
- Elektronische signal processing (in te bouwen in de shaker of de versnellingsopnemer)

Voordelen:

- + Geen software te ontwikkelen
- + Door speciale DSP-chips te gebruiken, zeer doelgerichte functionaliteit te ontwikkelen
- + Weinig extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote schaal zeer goedkoop te in te kopen
- + LED aanduiding zeer energie zuinig

Nadelen:

- Shaker heeft een functiegenerator nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Chips zijn bij kleinere aantallen duurder
- LED aanduiding weinig nauwkeurig
- LED aanduiding biedt geen mogelijkheid tot uitbreiding met meer meetwaarden

10.1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6b

Het bot in **trilling** brengen door **middel** van een shaker; het **signaal** opvangen met een **elektronische** stethoscoop (of **vergelijkbaar** apparaat); de data via **speciale software** met een (draagbare) computer **analyseren; uitslag** geven via een serie van DSP-chips **analyseren; uitslag** geven via een serie LED's.

Benodigdheden:

- Shaker met **versnellingsopnemer**
- Elektronische stethoscoop
- **Elektronische signaal** processor (in te bouwen in de shaker)

Voordelen:

- + Geen software te ontwikkelen
- + Door **speciale** DSP-chips te gebruiken, zeer **doelgerichte functionaliteit** te ontwikkelen
- + Weinig extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote **schaal** zeer goedkoop te in te kopen
- + LED aanduiding zeer energie zuinig

Nadelen:

- Shaker heeft een **functiegenerator** nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Chips zijn bij **kleinere aantallen** duurder
- LED aanduiding weinig nauwkeurig
- LED aanduiding biedt geen **mogelijkheid** tot uitbreiding met meer meetwaarden

11.1b, 2a, 3b, 4b, 5b, 6c

Het bot in **trilling** brengen door **middel** van een shaker; het **signaal** oppikken met een **versnellingsopnemer**; de data via een serie van DSP-chips **analyseren; uitslag** geven via een geïntegreerd LCD.

Benodigdheden:

- Shaker met **versnellingsopnemer**
- Functiegenerator
- **Versnellingsopnemer** in een **solide meetopstelling**
- **Elektronische signaal** processor (ingebouwd bij de **versnellingsopnemer**)

Voordelen:

- + Geen software te ontwikkelen
- + Door speciale DSP-chips te gebruiken, zeer **doelgerichte functionaliteit** te ontwikkelen
- + Weinig extra apparatuur mee te nemen
- + Chips zijn op grote **schaal** zeer goedkoop te in te kopen
- + LCD biedt **mogelijkheden** om nauwkeurige informatie te geven
- + LCD biedt **mogelijkheden** tot uitbreiden met meer meetwaarden

Nadelen:

- Shaker heeft een functiegenerator nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Chips zijn bij **kleinere aantallen** duurder

- LCD's zijn relatief prijzig
- LCD's minder energie zuinig

12.1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6c

Het bot in trilling brengen door middel van een shaker; het signaal opvangen met een elektronische stethoscoop (of vergelijkbaar apparaat); de data via speciale **software** met **een** (draagbare) computer analyseren; uitslag geven via een serie van DSP-chips analyseren; uitslag geven via een **geïntegreerd** LCD.

Benodigdheden:

- Shaker met versnellingsopnemer
- Functiegeneratar
- Elektronische stethoscoop
- Elektronische **signal** processing

Voordelen:

- + Geen software te ontwikkelen
- + Door speciale DSP-chips te gebruiken, zeer doelgerichte functionaliteit te ontwikkelen
- + **Weinig extra apparatuur mee te nemen**
- + Chips zijn op grote schaal zeer goedkoop te in te kopen
- + LCD biedt mogelijkheden om nauwkeurige informatie te geven
- + LCD biedt mogelijkheden tot uitbreiden **met** meer meetwaarden

Nadelen:

- Shaker heeft een functiegenerator nodig
- Shaker heeft energie nodig
- Chips zijn bij kleinere aantallen duurder
- LCD's zijn relatief prijzig
- LCD's minder energie zuinig

11. Vaststellen van het beste concept

Door deze ontwerpen te vergelijken met het Pakket van Eisen ontstaat een beeld welke oplossingen de beste keuze zijn.

+ = deze functie wordt **vervult**

0/+ = deze functie wordt vervult maar moet nog onderzocht worden

0 = deze functie wordt nog niet toegepast

- = deze functie niet vervult, eventueel later toe te voegen.

PC = **Deze** functie wordt de software op de PC vervult

Ontwerp	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1.6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.5.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.1	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
3.2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.1	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
4.2	+	+	+	+	0/+	0/+	+	+	+	+	0/+	0/+
4.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.3	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
5.4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.5	-	-	0/+	0/+	0/+	0/+	-	-	0/+	0/+	0/+	0/+
6.1	PC	PC	+	+	+	+	PC	PC	+	+	+	+
6.3	PC	PC	+	+	+	+	PC	PC	+	+	+	+
6.4	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
6.5	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Tot. +	15	15	18	18	19	19	15	15	18	18	19	19
Tot. -	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3
Tot. 0/+	8	8	6	6	4	4	8	8	6	6	4	4
Tot. PC	2	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0

Tabel 2: De ontwerpen tegen de eisen uit het pakket weergegeven

De ontwerpen waarin de meeste functies vervuld zijn, zijn de ontwerpen op basis van de DSP-chips, met de hamer of de shaker, en als uitlees mogelijkheid het LCD. De ontwerpen met de laptopcomputer of PDA komen ongunstig uit de vergelijking omdat het apparaat makkelijk te bedienen moet zijn, dus niet veel knoppen, bewegingen, functies die de gebruikers kunnen afleiden in het efficiënt gebruiken van het systeem. In een software pakket is de verleiding vaak groot om extra functionaliteit in te programmeren. De elektronische versie met de LED aanduiding is minder flexibel in de informatie verstrekking dan de LCD.

De beste keuze is dan ook een ostefoon te maken die gebruik maakt van een DSP-chip, en elektronica om de geanalyseerde informatie te converteren naar een tekst of aanduiding op het LCD. Deze wordt voorzien van een computer-interface zodat de functionaliteit flexibel blijft.

De concepten die in aanmerking komen zijn allemaal op basis van de DSP en zijn allemaal uitgerust met een LCD. De keuze is tussen een systeem met een versnellingsopnemer of een stethoscoop. weliswaar is elektrisch gezien de werking tussen beide gelijk. De werkelijke keuze is tussen de pulse of de sinuïde input maar aangezien de meeste testen met een reflexhamer zijn uitgevoerd, is het - om zo veel mogelijk vergelijkbaar onderzoek te kunnen houden - **het** beste om de pulse-input te handhaven.

Hierdoor blijven alleen concept 5 en 6 nog over.

Om een pulse input te genereren wordt er op het bot geklopt, dit gebeurt nu met een geïnstrumenteerde reflexhamer.

In plaats van de reflexhamer kan ook een massa-veer systeem gebruikt worden. **De** massa wordt dan door middel van een elektromagneet in de veer getrokken waar door er energie opgeslagen wordt in de veer. Wordt de spanning weer van de magneet verwijderd zal de massa vrij doorgang hebben en door de energie in de veer tegen het bot worden gestoten. De kracht die hierbij gebruikt wordt is nauwkeurig te berekenen met de formule:

$$F = k \cdot x$$

Formule 9: kracht van een veer

F is de kracht waarmee de hamer tegen het bot aankomt,

k is de veerconstante

x is de afstand die de hamer aflegt tussen volledige veerspanning en het bot.

12. Specificaties gebruikte onderdelen

Tussen fabrikanten van onderdelen die in het concept worden gebruikt kunnen verschillen zitten in de specificaties, kwaliteit en prijs. Om voor het gekozen concept de beste onderdelen te kunnen kiezen is hier een lijst opgemaakt met de onderdelen die in aanmerking komen voor het prototype.

Pulse input

- Hamer met kracht opnemer (Endevco 2302-10):

Max. Belasting	2200	N
Resolutie	2.27	mV/N
Resonantie Frequentie	50	kHz
Frequentie bereik	8	kHz
Massa kop		kg
Impact diameter	0,0064	m
Prijs	1652,00	€

- Elektro magneet (Monroe ER1-071)

Kracht	26	N
Opgenomen vermogen	1	W
Spanning	12	V
Prijs per stuk	50,61	\$
Prijs per stuk per 100	40,49	\$

Sensoren

- Versnellingsopnemer (Brüel & Kjær 8001)

Versnellingsresolutie	3	pC/ms-2 / 3mV/ms-2
Krachtresolutie	370	pC/ms-2 / 370mV/ms-2
Frequentiebereik	1-6.000	Hz±5% 1-10.000Hz±10%
Diameter contactvlak	8	mm
Kracht onder krachtopnemer	2.1	gr
Stijfheid onder versnellingsopnemer	25x10 ⁷	N/m
Capaciteit Versnellingsopnemer	1.000	pF
Capaciteit krachtopnemer	900	pF
Akoestische gevoeligheid	184	dB
Magnetische gevoeligheid	< 20	mV/T
Prijs per stuk	750,00	€

- Versnellingsopnemer (Analog Devices ADXL103)

Versnellingsbereik	-1,7 - +1,7g	
Resolutie	1000	mV/G
Afwijking	6	%
Max. Bandbreedte	2,5	kHz
Voltage	3-6	V
Stroom	0,7	mA
Prijs per stuk	7,75	\$ (*1,3243= € 10,26)

- Stethoscoop (Meditron)

Sensor	Piëzo resistive	
Max. input	1	V p-p @ 100Hz @ max. volume
Output Impedantie	> 100	R
Input Impedantie	10-60	kΩ
Output filter	-3	dB @ 80 Hz
Prijs f	1200,00	

- Stethoscoop (Haga medical)

Frequentiebereik	20-1000Hz	
Versterkingsfactor	30	dB
Prijs per stuk	238	€

DSP

- Digitale Signaal Processing chip (TI **TMS320C6713-225**)

Core supply	1,26	V
I/O supply		V
RAM	256	kB SDRAM
Clock	225	Mhz
Prijs	27,68	\$ /stuk/1000 stuks

Interface

- LED's (www.conrad.nl; 182249-8B)**

Voltage	5	V
Stroom	7,5	mA
Kleur	Alle kleuren mogelijk	
Opgenomen vermogen	37,5	mW
Prijs per stuk	0,49	€
Prijs per stuk bij 100 stuks	0,38	€

- LCD-scherm (www.conrad.nl; 183369-8F)**

Voltage	5	V
Stroom	1,5	mA
Stroom verlichting	geen	
Opgenomen vermogen	7,5	mW
LxBxH	58 x 32 x 10	mm
Aantal regels	2	
Aantal tekens per regel	8	
Prijs	12,76	€

- LCD-scherm (AND Displays; AND491GST)**

Voltage	5	V
Aantal regels	2	
Tekens per regel	16	
LxBxH	80 x 36 x 11.3	mm
Prijs	17,45	\$ (*1,3243= € 23.11)

13. Vergelijking DSP-starterkit

Bron: [III]

Om een studiemodel te kunnen maken op basis van een DSP chip, zijn er van Texas Instruments zogenaamde Starterkits verkrijgbaar. Deze Starterkits bevatten naast een DSP chip, ook in- en output voor de signalen, en communicatie met de computer via USB. Met de computer kunnen alle gegevensstromen en acties van de DSP-chip **gemonitort** worden.

13.1. TMDSDSK6713

- **USB communicatie**
- Code Composer Studio **v2.2** (programmeer omgeving)
- eXpressDSP Software
- eXpressDSP for Dummies boek
- Simulator van TI
- toegang tot Analysis Toolkit
- **Matlab** 30 dagen demo
- **225 Mhz/ 1800 MIPS/ 1350 MFLOPS**
- 24 bit stereo **codec**
- 4x 3.5 mm audio in-/uitgangen
- **512K** flash; 8 MB SDRAM
- Uitbreidingspoort
- **IEEE** JTAG interface
- + 5V adapter
- **\$395,00**

13.2. TMDSDSK5510

- USB communicatie
- Power management
- Code Composer Studio **v2.12** (programmeer omgeving)
- toegang tot Analysis Toolkit
- **Matlab** 30 dagen demo
- 200 Mhz/ 400 MIPS
- 24 bit stereo **codec**
- 4 **3.5** mm audio in-/uitgangen
- **256K** flash; 8 MB SDRAM
- Uitbreidingspoort
- **IEEE** JTAG interface
- + 5V adapter
- **\$395,00**

Uit deze opsomming blijkt dat de **6713** DSP starterkit het meeste biedt voor hetzelfde geld. In de 6713 is een snellere dsp chip geplaatst en wordt een compleet softwarepakket bijgevoegd.

14. Complete beschrijving gekozen prototype

DSP-chip: TMS320C6713-225 van Texas Instruments à	\$	27.68	≈	f	37.00
Display: 183369-8F van Philips à	€				15.00
Elektromagneet: ER1-071 van Monroe a	\$	50.61	≈	f	70.00
Behuizing: custom mold	f				100.00
Klopper + veer a	€				20.00
Electronica a	€	50.00			

Totale materiële kostprijs komt op +/- € 300 per stuk

Hierbij komen nog de assemblage- en programmeer kosten.

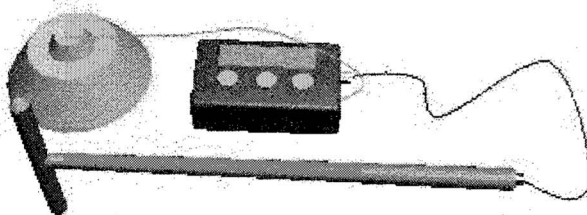
De behuizing wordt zoals de derde impressie. Wellicht met een en ander aan wijzigingen met betrekking tot de ruimte voor de techniek, maar ook aan eventuele ergonomische onvolkomenheden moet aandacht besteed worden.

In bijlage II zijn de werktekeningen te vinden van de productie onderdelen van de osteofoon.

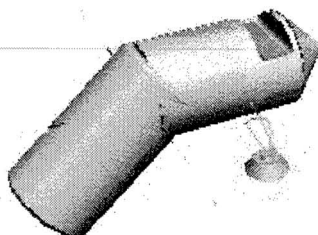
15. Artist impressions

In het ontwerp proces moet ook aandacht worden besteed aan de behuizing en dus de fysieke vorm van de **osteofoon**.

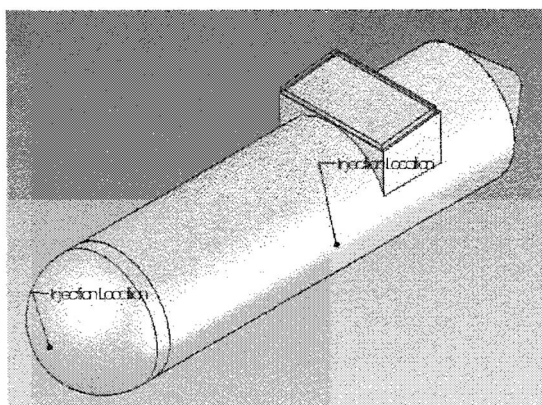
Daarom zijn er een drietal ontwerpen geschetst waaruit gekozen kan worden:



Dit ontwerp maakt gebruik van de geïstrumenteerde hamer en een elektronische stethoscoop. Deze onderdelen zijn aangesloten aan de Centrale Verwerkingseenheid die de informatie van de instrumenten analyseert en de resultaten weergeeft op het display. De knoppen bedienen de opties en de **start/stop** van de opnamen.



Dit ontwerp kan uitgerust worden met een shaker of een mechanisch klop instrument. Hierdoor is deze oplossing flexibeler dan bovenstaande. De losse **opnemer/stethoscoop** is verbonden aan de Centrale Verwerkingseenheid



Dit ontwerp kan uitgerust worden met een shaker of een mechanisch klop instrument. Hierdoor is deze oplossing flexibeler dan de bovenstaande. Ook bij dit ontwerp wordt de losse **opnemer** aan het hoofd apparaat verbonden. Het duidelijke display geeft de informatie weer. Met de ergonomisch geplaatste druktoets wordt de meting gestart. Na gebruik kan de losse opnemer in het apparaat worden opgeborgen. Deze behuizing is het meest gebruikersvriendelijk, en geniet daardoor de voorkeur.

16. Berekening Eigenfrequentie

De osteofoon werkt met trillingen, elk object dat blootgesteld wordt aan trillingen gaat meetrillen in de eigenfrequentie.

De eigenfrequentie is afhankelijk van de **massa** en de veerconstante. Van ABS, het materiaal waarvan wij dit apparaat gaan vervaardigen is de elasticiteitsmodulus $E = 2 \text{ GPa}$, de oppervlakte die we hebben is : $A = 2,89812 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Door middel van simulatie met Cosmosworks is Δl bepaald en dit is voor deze constructie $1 \cdot 10^{-30} \text{ mm}$.

De formule om de veerconstante te berekenen is:

$$kx = \frac{\Delta l}{l} E \cdot A$$

$$k \cdot 1 \cdot 10^{-30} = \frac{1 \cdot 10^{-30}}{210} 2000 \cdot 2.89812 \cdot 10^{-4}$$

$$k = 2,76011 \cdot 10^{-3}$$

Formule 10: veerconstante als functie van materiaaleigenschappen.

$$f_e = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$f_e = \sqrt{\frac{2.76011 \cdot 10^{-3}}{0.5}} = 0,074 \text{ Hz}$$

Formule 11: eigenfrequentie als functie van veerconstante en massa

Dit is ruimschoots onder het meetbereik, dit ligt tussen de 50 en de 400 Hz.

17. Gebruikte afkortingen en symbolen

- DSP:** Digital Signal Processing; Verzamelnaam van componenten die digitale signalen kunnen bewerken. Functies in dezen zijn onder andere: Fast **Fourier** Transform, Coherentie bepalen, timing analyse en nog veel meer.
- LCD:** Liquid **Crystal** Display, scherm met vloeibaar kristal, in vele vormen en maten te koop. Ideaal om informatie over te brengen van elektronica naar de gebruiker.
- LED:** Light Emitting Diode, **licht** uitstralende diode, veel gebruikt voor verlichting van LCD's en indicatie van informatie, in alle kleuren te koop, verbruikt zeer weinig energie.

Letter	Grootheid	Eenheid
F	kracht	N
M	Massa	Kg
x	Verplaatsing	m
x'	Snelheid	m/s
x''	Versnelling	m/s ²
α	Dempingsconstante	N/ms ⁻¹
C _v , k	Veerconstante	N/m
ξ (Xi)	Dempingsfactor	-
ω_e (omega)	Eigenfrequentie	rad/s
f ₀	Eigenfrequentie	s ⁻¹
A ₁ , A ₂	Integratieconstante	-

Hz

18. Bronvermelding en bedrijvenlijst

Bronnen:

- I. De Osteofoon, nu en later, Ivo D. Warmels
- II. <http://c2.com/cgi/wiki?DigitalSignalProcessor>
- III. www.ti.com
- IV. **Electronic Component Datasheets - Page:3850**
- V. www.DSParchitectures.com
- VI. **Machine** onderdelen **Roloff/Matek** Hst 2, tabel 2.10, 2.11
- VII. **Presentatie** Peter de Leeuw
- VIII. www.bksv.com
- IX. <http://www.mate.tue.nl/~piet/inf/mame/pdf/MaMeDyna2004CL.pdf>
- X. http://www.imperialviolet.org/suprema_cf.html
- XI. <http://208.164.121.55/hbm2003/abstract/abstract956.htm> (coherentie)

Contactgegevens genoemde bedrijven:

Endevco France SA
38 rue de la Convention
Le Kremlin Bicêtre 94270 France
www.endevco.com

Brüel & Kjaer Nederland B.V.
Plesmanstraat 62
Postbus 412
3900 AK Veenendaal
www.bksv.com

Meditron ASA
Fernanda Nissensgt. 3
0484 Oslo, Norway
www.meditron.no

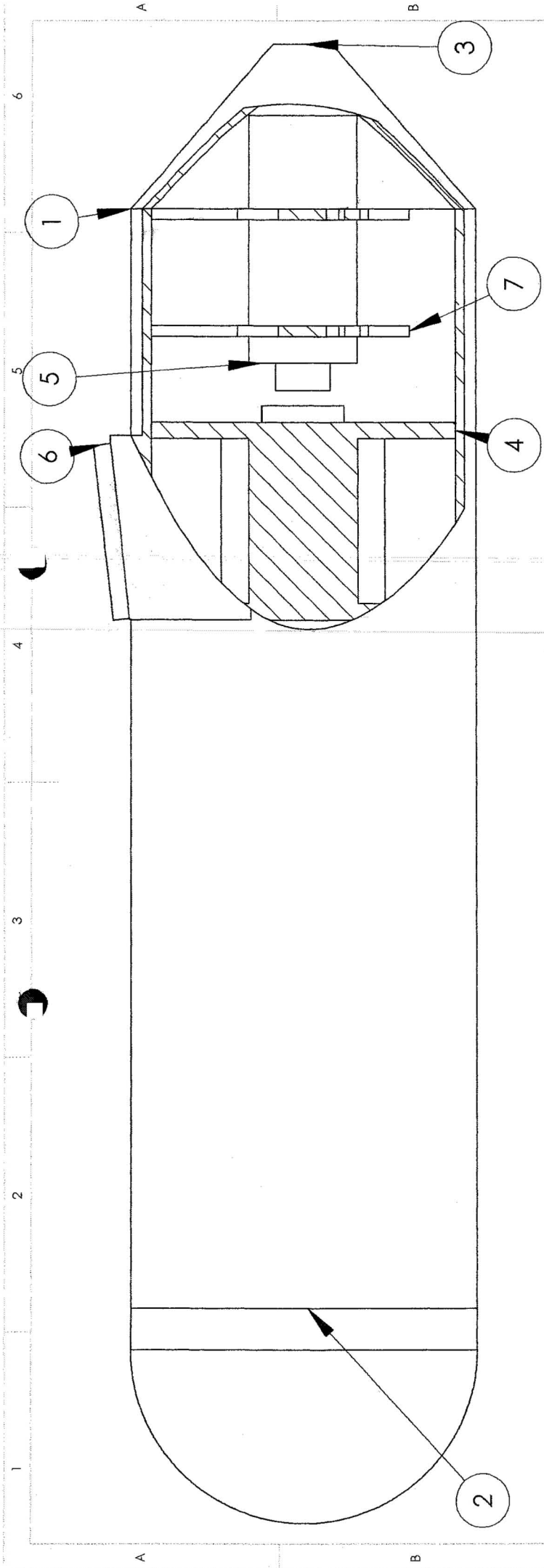
Dell
www.dell.nl

19. Bijlage

I: Werktekeningen Behuizing

.....

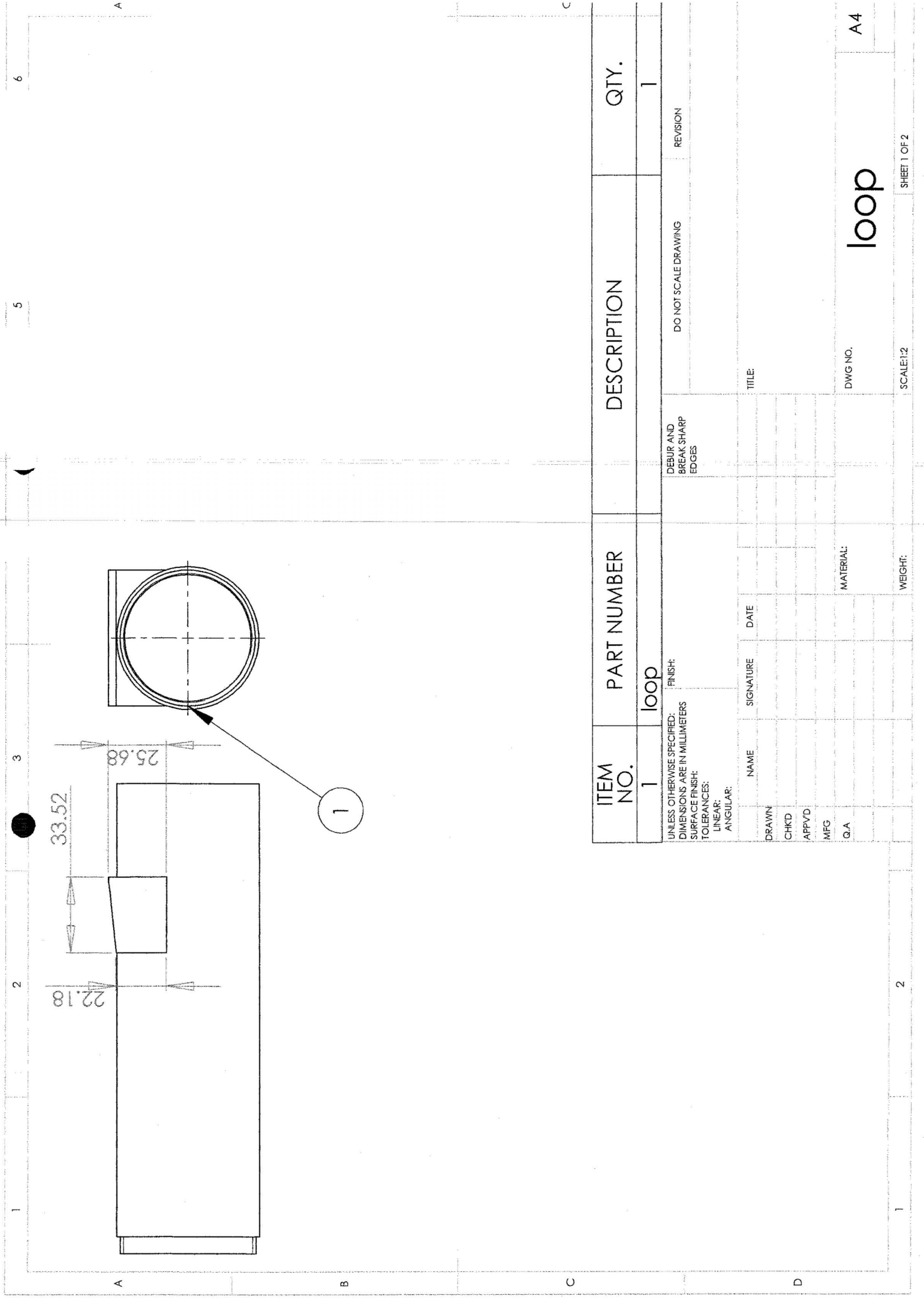
.....



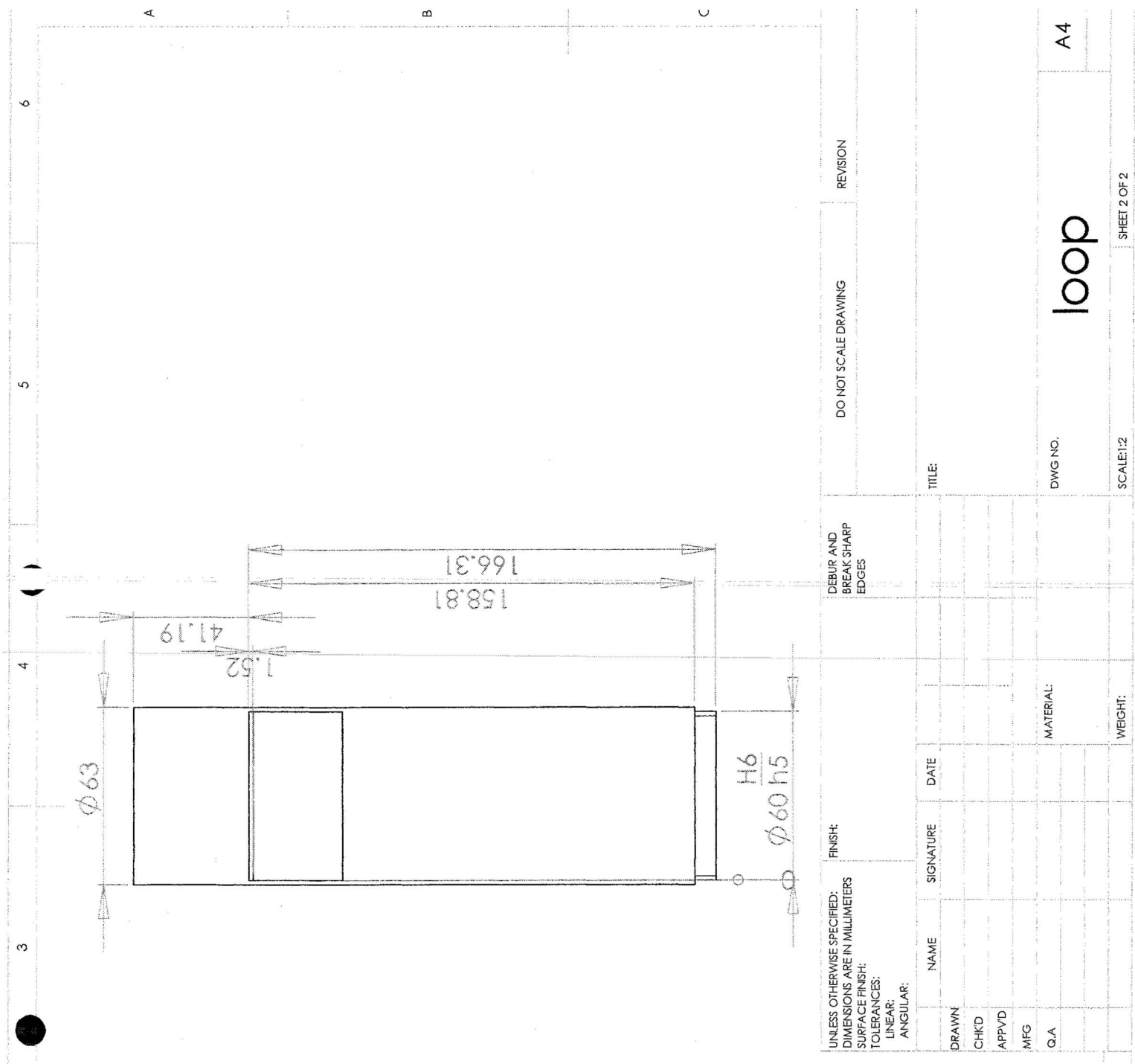
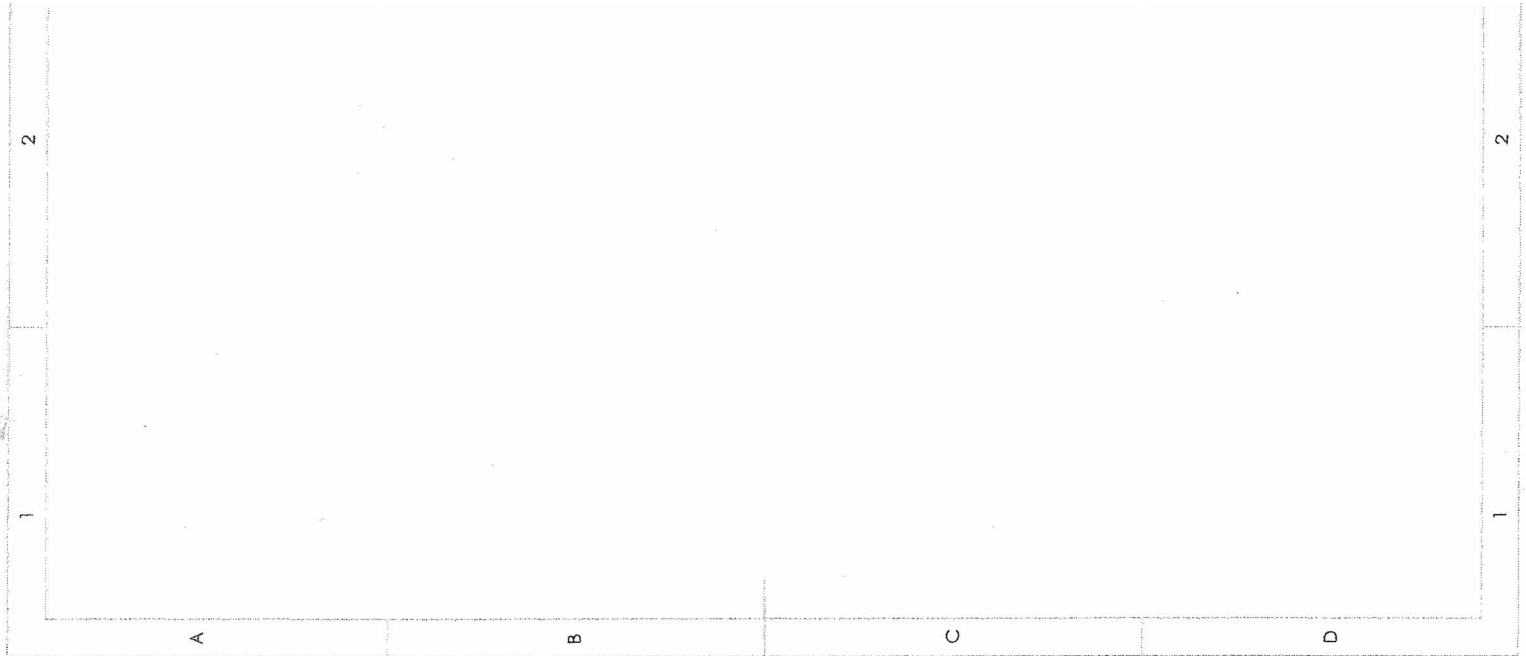
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	loop		1
2	dop		1
3	kop		1
4	Spoel	Inkoop onderdeel	1
5	hamer		1
6	Display	Inkoop onderdeel	1
7	geleider		2

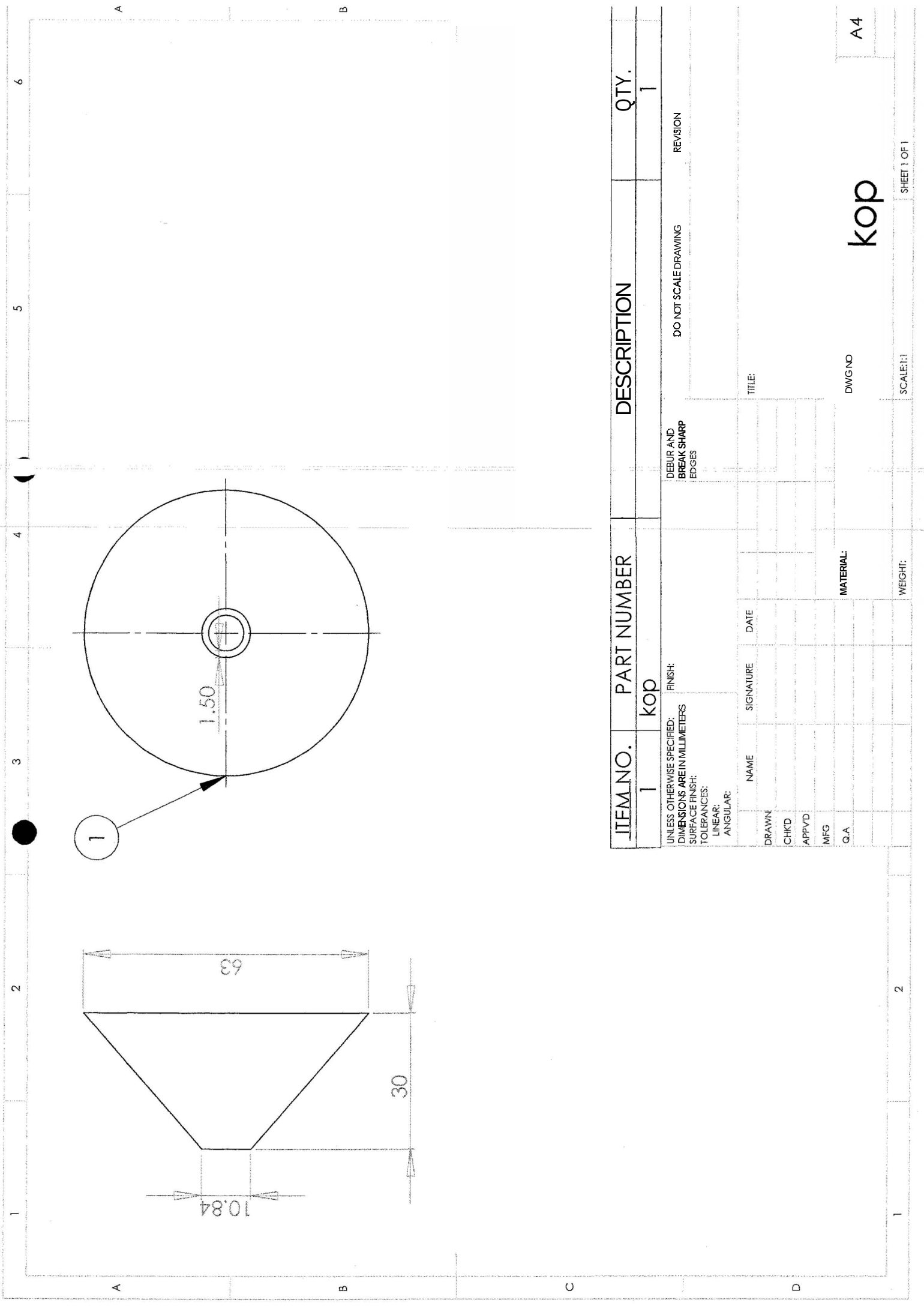
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE:		DATE:		SIGNATURE:	
DRAWN		CHKD		APPVD	
MFG		QA		MATERIAL:	
DWG NO		A4		Osteofoon	
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1		WEIGHT:	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	loop		1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	
TOLERANCES:			
LINEAR:			
ANGULAR:			
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			
TITLE:			
MATERIAL:		DWG NO.	
		loop	
		A4	
WEIGHT:		SCALE:1:2	
		SHEET 1 OF 2	

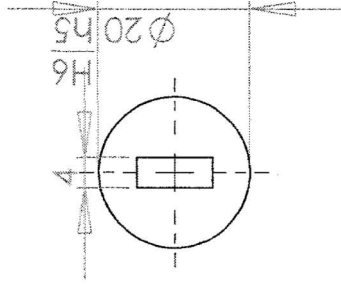
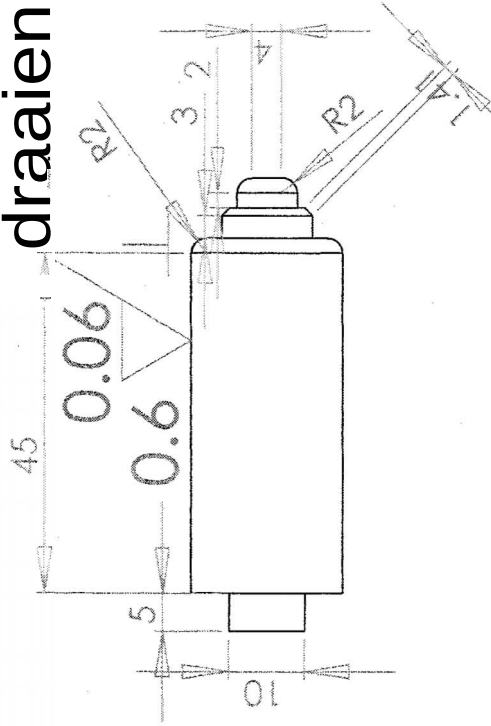




ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	kop		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:		TITLE:		
TOLERANCES:		DRAWN		
LINEAR:		CHK'D		
ANGULAR:		APPY'D		
		MFG		
		Q.A		
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	
			DWG NO	
		kop		A4
		SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1
		WEIGHT:		

draaien



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

SIGNATURE

DATE

DRAWN

CHK'D

APPVD

MFG

Q.A

MATERIAL:

DWG NO.

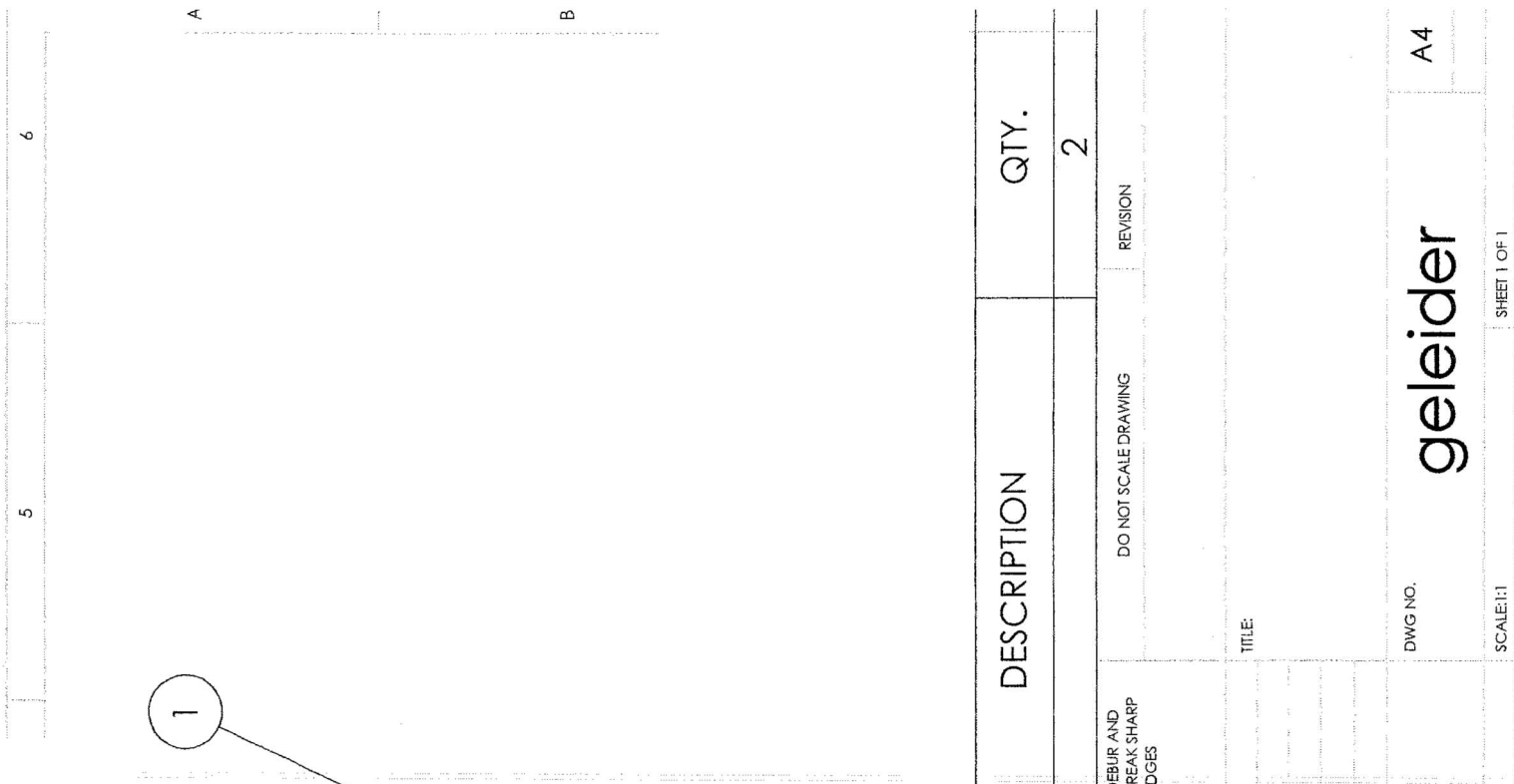
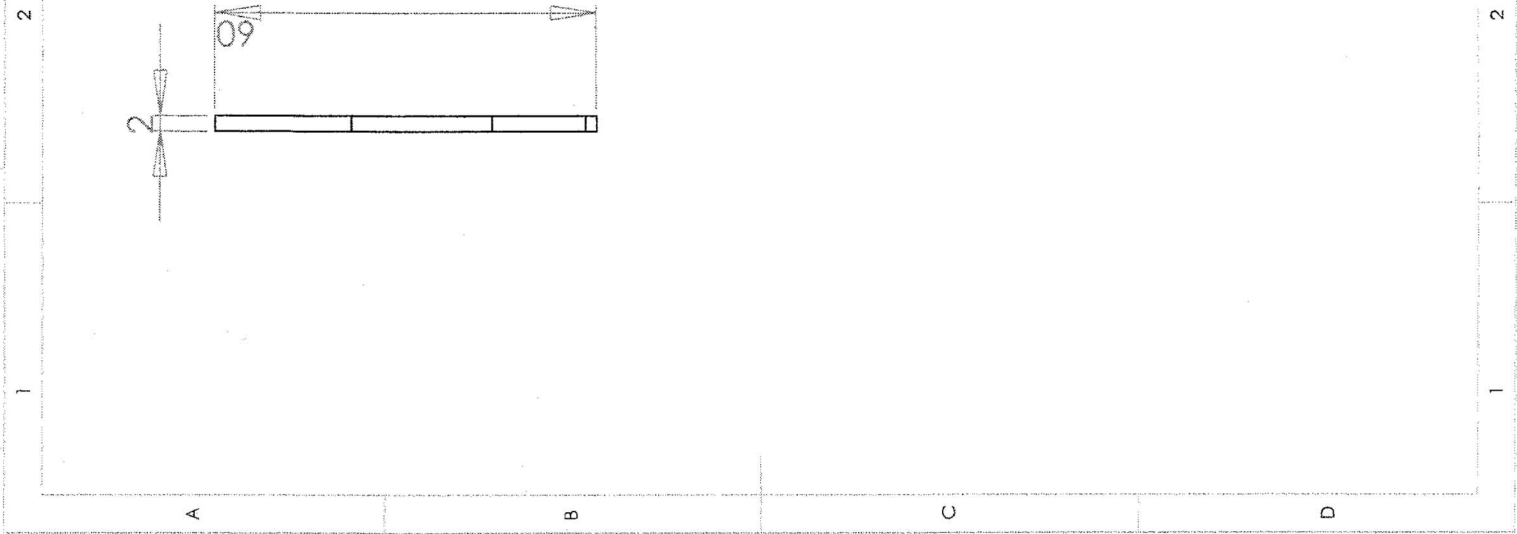
hamer

A4

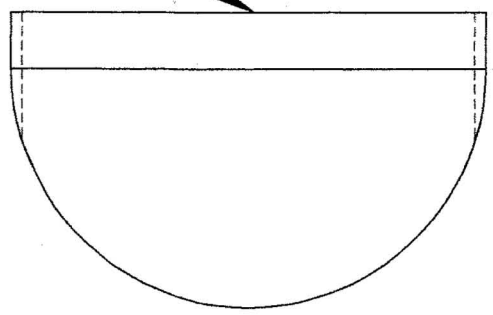
WEIGHT:

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	geleider		2
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHK'D			
APP'VD			
MFG			
Q.A.			
TITLE:		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
MATERIAL: PTFE		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	
WEIGHT:		DWG NO.	A4
		geleider	
		SCALE 1:1	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS	FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
---	---------	--------------------------	----------------------	----------

DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE	
CHKD									
APPVD									
MFG									
QA									
MATERIAL				DWG NO.				A4	
ABS				dop					
WEIGHT:				SCALE:1:1				SHEET 1 OF 1	

WEIGHT: