

Attachment A

Product Design specifications

J.S. Beerthuizen

5/30/2012

PDS – Moineau Printhead (with adaptations)

Demands

- Viscosity to handle 10-600 (will be higher with particles)
- Must have a suck-back function or immediate flow stop at the motor stop
- On-going and steady flow with low fluctuations ensuring a constant output while printing
- Fitting on the RepMan, RepRap and/or Fab@Home
- *Heating or additional functions (broadening the range of the pastes after my research)*
- Light-'shielded' reservoir/pump for UV-resins

- *Modular build to replace or add new components and functionality and to improve access for cleaning (added after the chocolate extruder experiments)*
- Easier and to rinse/clean *(added after the chocolate extruder experiments)*

Wishes

(added after the first Chocolate extruder experiments)

- Cheaper replacement for wear intensive parts
- Extra enhancements to be added or changed
 - More products and pastes possible
 - More connections possible (pressurized air)
- Easier to print (i.e. manufacture the print-head parts)
- Nozzle suggestions
 - Mount for syringe nozzle
 - Mount for kitpistol nozzle
- Modulair supply from the shaft
 - Reservoir (with hood and pressurized air)
 - Syringe (by hand or pressurized air)
 - Hose (any actuation available)
- *Air pressure option*
- Modulaire mounting plate
 - Repman Darwin
 - Fab@home
 - Mendel/Prusa
 - Futureproof
- Higher pump rate adjustability *(added after the chocolate printing experiments)*

PDS - Strain gauges

Grid

- Lifetime
 - Where design can increase lifetime, this design must be implemented.
- Accuracy
- Ease of manufacturing
 - The grid⁵ must be printable with the fab@home/RepRap
- Size
 - The grid must have an effective length (estimated, trial & error)
 - The grid must fit on the carrier available (see also :carrier - size)
 - The size of each grid line must be at least as thick as the printed path.
- Effect on resistance
 - The design of the grid must be that stress influences the resistance by a measurable amount
- Influence on lateral⁶ stress
 - Should be minimized by the design of the grid within the other demands.
- Function required. (bend)
 - The grid should act on bending and tension in 1 direction.

Carrier

- Adhesive properties to the ink (pastes).
 - The carrier must have a good mechanical or chemical connection to the grid which ensures the stress and strain in the carrier is transferred to the grid.
- Isolation
 - The carrier has to be non-conductive to prevent current from the grid to flow through the carrier.
- Ease of manufacturing
 - The material and design used for the carrier must be printable with the Fab@home/RepRap
- Lifetime
 - The material used for the carrier must remain flexible and not harden significantly within at least 2 months in laboratorial conditions.
 - The material used must be able to endure bending and repeated tension for a longer period of time than the grid it is used for. (estimated, trial and error)
- *Heat resistance (only viable, if the ink chosen needs sintering)*
 - *If the ink or paste needs sintering before use, the carrier material must not fail or lose its elastic properties (additional precautions for heat protection can be made).*
- *Flexibility (no demand but preferred)*
 - *The grid design and material should be able to endure bending and tensioning at least once before the grid applied on the carrier fails.*
- Shrinkage
 - As less shrinking (drying) as possible for better geometry results and preventing cracks during the drying process.
 - A shrink similar to the shrink of the carrier to prevent cracks.
 - Slightly more shrink than the paste is better than slightly less shrink

PDS – paste's

Ink/paste

- lifetime
 - The ink or paste must not be brittle and allow stress or tension to be applied
- Shrinkage
 - As less shrinking (drying) as possible for better geometry results and preventing cracks during the drying process.
 - A shrink similar to the shrink of the carrier to prevent cracks
- Accuracy
 - The ink or paste should have a uniform resistance and gauge factor after being printed and when loads are applied to the strain gauge.
- Ease of manufacturing
 - The ink or paste must be printable with the fab@home/RepRap and the available print-heads
- Size
 - Thin printed paths are preferred over thicker paths.
- Flexibility
 - The ink must not be brittle and endure bending and tension/stressing.
 - Maintain a closed electrical circuit when loads are applied to the strain gauge.
- Conductivity
 - The ink for the grid must conduct electricity and have a resistance.
- Effect on resistance
 - A higher change of resistance due to stress is preferred (gauge factor)
- Ease of delivery
 - The ink's and paste's must be able to be delivered within 2 weeks or at least one month before the graduation will be finished
- Adhesive properties to carrier (see also carrier adhesive properties)
 - The ink must have a good mechanical or chemical connection to the carrier material which ensures the stress and strain in the carrier is transferred to the grid.

Attachment B

Experimentverslagen

Jeroen S. Beerthuizen

5/30/2012

Experiment A

Printen van pasta met de gekozen Moineau Pomp extruder¹

Hoofdvraag:

Geeft de Moineau pomp extruder een ‘goed’ print resultaat?

Eisen: (hier dienen ‘goede’ resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- constante flow zonder interrupties
- constante print zonder interrupties
- flow stopt als de stappenummer stopt/achteruit draait

Deelvragen:

1. Vanaf welke feedrate geeft de Moineau pomp extruder een goed resultaat?
2. wat is de maximale printsnelheid van de Moineau pomp extruder?
3. Op welke printsnelheid en debiet (binnen welke range) geeft de Moineau pomp extruder het beste resultaat?

beschikbare middelen:

- hand zeep (gemakkelijk te reinigen zonder schade aan de printkop)
- uv_resin (lastig te reinigen, enkel als hand zeep succesvol werkt)

overig: op Youtube is met het ontwerp ook porselein klei geëxtrudeerd met een mooie constante uitvoer: (zie 0:30+) <http://www.youtube.com/watch?v=YWDGTfmd7IA> (6-3-2012)

Resultaten:

Tijdens het laten printen van zeep als statisch experiment en tijdens het laten printen van een voorwerp (de zeep behoudt zijn vorm niet maar geeft wel een idee over de combinatie van printkop, printer en materiaal), werd duidelijk dat de zeep zich prima liet bewerken maar tevens dat de vloeibaarheid van de zeep en de geschikte feedrate hiervoor geen informatie zou opleveren voor het printen van de (veel drogere) geleidende pasta’s. De opzet van het experiment kan wel gebruikt worden wanneer er met de gewenste materialen geprint kan worden.

notitie: De printkop moet stevig uitgespoeld en daarna in water worden gezet om de rest van de zeep te laten lossen. (dit kan problemen geven bij snel hardende pasta’s)

aanbevelingen: indien de printkop onbruikbaar wordt, overstappen op het originele ontwerp op thingiverse: deze is in onderdelen opgedeeld en daardoor zal daardoor beter te reinigen zijn.

Bronnen:

1: Chocolate Extruder by ttsalo, Thingiverse.com, <http://www.thingiverse.com/thing:18017>

Experiment B

Printen van pasta met de gekozen Moineau pomp extruder¹

Hoofdvraag:

Geeft de Moineau pomp extruder een ‘goed’ print resultaat?

Eisen: (hier dienen ‘goede’ resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- constante flow zonder interrupties
- constante print zonder interrupties
- flow stopt als de stappenummer stopt/achteruit draait

Deelvragen:

1. Vanaf welke feedrate geeft de Moineau pomp extruder een goed resultaat?
2. wat is de maximale printsnelheid van de Moineau pomp extruder?
3. Op welke printsnelheid en debiet (binnen welke range) geeft de Moineau pomp extruder het beste resultaat?

beschikbare middelen:

- hand zeep (gemakkelijk te reinigen zonder schade aan de printkop)
- uv_resin (lastig te reinigen, enkel als hand zeep succesvol werkt)

overig: op Youtube is met het ontwerp ook porselein klei geëxtrudeerd met een mooie constante uitvoer: (zie 0:30+) <http://www.youtube.com/watch?v=YWDGTfmd7IA> (6-3-2012)

Resultaten:

Tijdens het laten printen van zeep als statisch experiment en tijdens het laten printen van een voorwerp (de zeep behoudt zijn vorm niet maar geeft wel een idee over de combinatie van printkop, printer en materiaal), werd duidelijk dat de zeep zich prima liet bewerken maar tevens dat de vloeibaarheid van de zeep en de geschikte feedrate hiervoor geen informatie zou opleveren voor het printen van de (veel drogere) geleidende pasta’s. De opzet van het experiment kan wel gebruikt worden wanneer er met de gewenste materialen geprint kan worden.

notitie: De printkop moet stevig uitgespoeld en daarna in water worden gezet om de rest van de zeep te laten lossen. (dit kan problemen geven bij snel hardende pasta’s)

aanbevelingen: indien de printkop onbruikbaar wordt, overstappen op het originele ontwerp op thingiverse: deze is in onderdelen opgedeeld en daardoor zal daardoor beter te reinigen zijn.

Bronnen:

1: Chocolate Extruder by ttsalo, Thingiverse.com, <http://www.thingiverse.com/thing:18017>

Experiment 1

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Deelvragen:

1. *Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)*
2. *Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?*
3. *Hoe is de viscositeit van een 20-80 mengverhouding bij de pasta's?*
4. *Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's statistisch aantoonbaar?*

Eisen:(hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Mengt goed met het metaalpoeder 20-80*
- *Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen*
- *Stolt snel genoeg voor het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)*
- *Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet (slechts gedeeltelijk <10 Mega Ohm)*

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- **Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)**
- **Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)**
 - **Meetbereik 0-50 Mega Ohm**
- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)

Proef:

De droge poeders worden in een klein bakje uitgestrooid tot een dikte van 3-4 millimeter waarna er met de multimeter gemeten wordt of er (reeds) geleiding plaatsvindt. Deze proef dient ter referentie voor het printen met pasta's indien er een goede geleiding is, of geeft aandachtspunten aan indien deze niet geleiden in de huidige vorm.

Resultaten

Carbon nano tubes (staticyl 123)

- Kit-achtige substantie

Cu

Weerstand 0.0L (geen geleiding/oneindige weerstand)

Geleid niet

NiAg (alleen poeder)

Weerstand 0.0L (geen geleiding/oneindige weerstand)

Geleid niet

Cu:NiAg 1:1

niet getest (om poeders zuiver te houden)

aanname: als Cu en NiAg als poeder niet geleiden, dan geleid Cu:NiAg ook niet.

Conclusie

de resultaten geven niet de benodigde waardes voor het kunnen printen van rekstrookjes, doordat het droge metaalpoeder geheel niet begeleid ondanks dat er geen (mogelijk isolerende) materialen als bindmiddel zijn toegepast: de metaalpoeders zijn hoogstwaarschijnlijk niet geschikt voor geleidende pasta's. (dit ligt in de lijn met de poeders van andere leveranciers waarvan bericht werd dat deze niet voor elektrische toepassingen geschikt waren).

Hypotheses

Hypothese: A de droge poeders maken te weinig contact om te geleiden

Hypothese: B door de oxide laag om de poeders geleiden ze niet.

Hypothese: C door de coating om de poeders geleiden ze niet

Het koper is niet groen zoals dat bij oxide het geval zal zijn, maar oxideert niet aan de lucht in poedervorm.

Vervolgexperiment 2: geleiden de poeders wel in oplossing/pasta?

Experiment 2

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Eisen:(hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- Mengt goed met het metaalpoeder 20-80
- Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen
- Stolt snel genoeg het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)
- Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet(slechts gedeeltelijk)

Deelvragen:

1. Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)
2. Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?
3. Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's statistisch aantoonbaar?

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)
- uv_resin (lastig te reinigen, enkel als handzeep succesvol werkt)
- PUR mc5
- Tusk (materialise)
- Standaardpasta (Carbon nano tubes only)
- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)
- Mengbekertjes & roerstaafjes (6-3-2012)

Proef:

Met behulp van een matrijs (hierin zijn holtes van 2x2x20 mm aanwezig) worden de pasta's tot een baan gevormd waardoor dikte en lengte van de banen minder invloed kunnen hebben op het eindresultaat. Tevens zorgt de matrijs voor gemakkelijk hanteerbare samples en verleent het stevigheid (lengte richting) en een referentie waarde voor krimp. De pasta's worden op de hand gemengd tot (zover mogelijk) de 10^e gram nauwkeurig met hoeveelheden van 4-5 gram per sample of 10 gram bij enkele samples.

Antwoorden:

1. De pasta's verharden niet (ondanks UV licht, tijd en uitdroging) binnen 1 maand.
 - a. Pur pasta's stolt wel (binnen enkele minuten-seconden)
2. Bij de pasta's is geen krimp waarneembaar
3. De geleidbaarheid van de metalen in de pasta's is statistisch niet aantoonbaar.

Conclusie:

geen van de pasta's is geschikt voor printen, rekstrookjes of als geleidend materiaal

Aanbeveling:

Een ander bindmiddel zou het probleem kunnen verhelpen, of een commercieel geleidend product dat binnen de producteisen van het Lessius ligt (kosten & baten).

Meetresultaten:

Carbon nano tubes (staticyl 123)

- Kit-achtige substantie
- Viscositeit laag genoeg voor verder-printen (beperkt aantal lagen)
- Droogt binnen een dag (flexibel rubber achtig materiaal)
- Geleid

Cu:Tusk 4:1.4

een klei/pasta achtige substantie

- Geen uitlek/uitloop
- Cement/gips achtige structuur
- Stijft snel, 3 minuten (glans verdwijnt → dof)
- Uitharding langzaam na 6 uur nog niet uitgeharden. (weekend)
- Goed extrudeerbaar (syringe)
- Nog geen uitharding na 3 dagen (wel uitgedroogd)
- Geleid

Cu:NiAg:tusk 4:4:2 (gram)

- Lekt/loopt uit
- Cement/gips achtige structuur (dunner dan koper+tusk)
- Loopt uit op vlak papieren oppervlak
- Dofheid verdwijnt in mal 3 uur, dofheid blijft op papier (zelfde mengsel en syringe vulsel)
- Stijft in de mal (dof), nat-zand achtige structuur op papier (glans)
- Nickel schift van koper (nickel onder, koper boven) papier (6 uur na proef)
- Nog geen uitharding na 3 weken (wel uitgedroogd na 3 dagen)
- Geleid ~~wel~~/niet (alleen op de vochtigere delen)

NiAg:tusk 4:1

- Lekt/loopt uit (zeer vloeibaar)
- Waterige/moderachtige structuur
- Niet getest op papier
- Blijft vloeibaar in de mal (6 uur na proef incl UV led belichting)
- Nog geen uitharding na 3 weken (wel uitgedroogd na 3 dagen)
- Geleid niet

Cu:tusk 4:1

- zeer droge cementachtige structuur (syringe zuiger permanent verbogen door uitpersing)
- verdroogt/verkorrelt op papier
- cementachtige structuur in de mal (aangebracht met vingers: syringe ging kapot bij gebruik)
- stolt niet-traag in de mal (na 6 uur nog steeds cementachtige structuur)
- nog geen uitharding na 3 weken (wel uitgedroogd na 3 dagen)
- geleid niet

Pur component A 1:1 component B (schudden voor gebruik)

- Stolt binnen 20 seconden na menging
- Wordt zeer heet tijdens het stollen
- Bros en hard (gelig van kleur)

Pur+NiAg

- Droogt / stolt zeer snel (poeder/klonten)
- Zeer bros, verkruimelt bij aanraking
- Geleid niet

Pur:NiAg 1:4

- Mengt zeer slecht (droge klonterige structuur)
- Droogt zeer snel uit: valt bij aanraking uit elkaar
- Zanderig poeder resteert

Experiment 3

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Deelvragen:

1. Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)
2. Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?
3. Hoe is de viscositeit van een 20-80 mengverhouding bij de pasta's?
4. Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's statistisch aantoonbaar?

Eisen:(hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Mengt goed met het metaalpoeder (20-80)*
- *Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen*
- *Stolt snel genoeg voor het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)*
- *Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet (slechts gedeeltelijk <10 Mega Ohm)*

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)
 - Meetbereik 0-50 Mega Ohm

Metaalpoeders

- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)

Bindmiddelen

- Tusk
- Pur MC5

Proef:

Met behulp van een matrijs (hierin zijn holtes van 2x2x20 mm aanwezig) worden de pasta's tot een baan gevormd waardoor dikte en lengte van de banen minder invloed kunnen hebben op het eindresultaat. Tevens zorgt de matrijs voor gemakkelijk hanteerbare samples en verleent het stevigheid (lengte richting) en een referentie waarde voor krimp. De pasta's worden op de hand gemengd tot (zover mogelijk) de 10^e gram nauwkeurig met hoeveelheden van 4-5 gram per sample 10 gram bij enkele samples.

Antwoorden:

1. De pasta's verharden niet (ondanks UV licht, tijd en uitdroging) binnen 1 maand.
 - a. Pur pasta's stolt wel (binnen enkele minuten-seconden)
2. Bij de pasta's is geen krimp waarneembaar
3. De geleidbaarheid van de metalen in de pasta's is statistisch niet aantoonbaar.

Conclusie:

Geen van de pasta's is geschikt voor printen, rekstrookjes of als geleidend materiaal

Aanbeveling:

Een ander bindmiddel zou het probleem kunnen verhelpen, of een commercieel geleidend product dat binnen de producteisen van het Lessius ligt (kosten & baten).

Referentie experiment: geleidbaarheid van de bindmiddelen

Resultaten:

Tusk

- Geleid niet (0.1L)

Pur

- Geleid niet (0.1L)

Cu:Tusk [4:1.4]

- Geen uitlek/uitloop
- Cement/gips achtige structuur
- Stijft snel, 3 minuten (glans verdwijnt → dof)
- Uitharding langzaam na 6 uur nog niet uitgehard. (weekend)
- Goed extrudeerbaar (syringe)
- Nog geen uitharding na 3 dagen (wel uitgedroogd, klei achtig)
- **Geleid niet (40 M Ohm) (20x3x3 mm)**

Cu:NiAg:tusk [4:4:2] (gram)

- Lekt/loopt uit
- Cement/gips achtige structuur (dunner dan koper+tusk)
- Loopt uit op vlak papieren oppervlak
- Dofheid verdwijnt in mal 3 uur, dofheid blijft op papier (zelfde mengsel en syringe vulsel)
- Stijft in de mal (dof), nat-zand achtige structuur op papier (glans)
- Nickel schift van koper (nickel onder, coper boven) papier (6 uur na proef)
- Nog geen uitharding na 3 dagen
- **Geleid niet** (alleen op de vochtigere delen), 33 Mega Ohm (20x3x3 mm)

NiAg:tusk [4:1]

- Lekt/loopt uit (zeer vloeibaar)
- Waterige/modderachtige structuur
- Niet getest op papier
- Blijft vloeibaar in de mal (6 uur na proef incl. UV led belichting)
- Nog geen uitharding na 3 dagen (wel uitgedroogd)
- **Geleid niet 1.0L (20x3x3mm)**

Cu:tusk [4:1]

- zeer droge cement achtige structuur (syringe zuiger permanent verbogen door uitpersing)
- verdroogt/verkorrelt op papier
- cement achtige structuur in de mal (aangebracht met vingers: syringe ging kapot bij gebruik)
- stolt niet tot traag in de mal (na 6 uur nog steeds cement achtige structuur)
- nog geen uitharding na 1 week (wel uitgedroogd (binnen 3 dagen))
- 20-40 M Ohm (10x3x3 mm *na toevoegen van lichte druk)
- 500K Ohm-40 M Ohm (3x3x3 mm *losgebroken klopper, zeer druk afhankelijk/onregelmatige uitlezing)
- **Geleid niet (20x3x3mm)/onbetrouwbaar (10x3x3mm)**
- Hypothese: als hier dunnen banen mee geprint worden zullen deze niet geleiden of een schommelend signaal afgeven, niet geschikt voor de gewenste betrouwbare rekstrookjes.

Pur component A [1:1] component B (schudden voor gebruik)

- Stolt binnen 20 seconden na menging
- Wordt zeer heet tijdens het stollen
- Bros en hard (gelig van kleur)

Carbon nano tubes (statiCyl XC123) **controle proef uitgevoerd**

- Kit-achtige substantie
- Viscositeit laag genoeg voor verder-printen (beperkt aantal lagen)
- Droogt binnen een dag (flexibel rubber achtig materiaal)
- Geleid niet

Pur:NiAg [1:4]

- Mengt zeer slecht (droge klonterige structuur)
- Droogt zeer snel uit: valt bij aanraking uit elkaar
- Zanderig poeder resteert
- Geleid niet

Experiment 4

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Deelvragen:

1. *Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)*
2. *Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?*
3. *Hoe is de viscositeit van een 20-80 mengverhouding bij de pasta's?*
4. *Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's aantoonbaar?*

Eisen: (hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Mengt goed met het metaalpoeder 20-80*
- *Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen*
- *Stolt snel/stevig genoeg voor het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)*
- *Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet (slechts gedeeltelijk <10 Mega Ohm)*

Conclusie: 80% koper, 20% knutsellijm geeft van alle geteste pasta's de beste waarden en is geschikt voor vervolgexperimenten, want deze voldoet aan alle gestelde eisen in dit experiment.

Aanbevelingen:

- Testen van de geleiding van andere poedersamenstellingen met knutsellijm (Experiment F2)
- Testen van de geleiding bij, tijdens en na rek/buiging. (Experiment H)
- testen van de hardheid van het materiaal. (experiment I)
- ~~Testen en beoordelen van commerciële geleidende pasta's (experiment G)~~
 - 20-4-2012 (i.v.m. kosten)

Proef:

Met behulp van een matrijs (hierin zijn holtes van 2x2x20 mm aanwezig) worden de pasta's tot een baan gevormd waardoor dikte en lengte van de banen minder invloed kunnen hebben op het eindresultaat. Tevens zorgt de matrijs voor gemakkelijk hanteerbare samples en verleent het stevigheid (lengte richting) en een referentie waarde voor krimp. De pasta's worden op de hand gemengd tot (zover mogelijk) de 10^e gram nauwkeurig met hoeveelheden van 4-5 gram per sample of 10 gram bij enkele samples. In de geprinte (en uitgeharde samples) worden 1,4 mm gaatjes geboord met de hand en hierna worden er schroeven ingedraaid voor een goed contact oppervlak en een constante meetafstand. De exacte afstand tussen de schroeven kan per sample 1 tot 3 mm variëren maar zal bij de streefwaarden 3-4 ohm verwijderbaar zijn en geen verdere gevolgen hebben voor de uitslag van de experimenten.

beschikbare middelen:**meetapparatuur**

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Analoge Multimeter
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)
 - Meetbereik 0-50 Mega Ohm

Metaalpoeders

- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)

Bindmiddelen

- Knutsellijm (Hema)
- Bison

Conclusie:

De knutsellijm:koper [1:4] is geschikt voor vervolgexperimenten en biedt bij een lagere en/of constante weerstand een mogelijke basis voor rekstrookjes.

Aanbeveling:

Herhaling benodigd voor het bepalen van de herhaalbaarheid en nauwkeurigheid van het gemaakte sample. Tevens zijn de viscose eigenschappen geschikt voor 3D-Printing met behulp van een extruder. Ook de beschikbare reinigingsmethode met water is een positieve eigenschap.

Meetresultaten:

Knutsellijm

- Geleid in vloeibare/stollende fase
- Geleid niet meer na uitharding
- zeer hard na uitharding
- goed reinigbaar met water (voor uitharding)

Knutsellijm[1:4] Koper

- droge zanderige structuur
- Stevig genoeg voor extra lagen
- Geleid
- **120-140 ohm (1x1x20 mm)**
- geen krimp waarneembaar
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Geeft koperkleur bij wegkrassen toplaag

Knutsellijm [1:1] Koper (schatting: sample gemaakt met restanten van vorige proef)

- Geleiachtige pasta
- stevig genoeg voor 1 extra laag
- **Geleid niet**
- Geen krimp waarneembaar
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Geeft koperkleur bij wegkrassen toplaag

Niet geschikt voor vervolgexperimenten

Experiment 4.1

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Deelvragen:

1. Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)
2. Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?
3. Hoe is de viscositeit van een 20-80 mengverhouding bij de pasta's?
4. Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's aantoonbaar?

Eisen:(hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Mengt goed met het metaalpoeder 20-80*
- *Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen*
- *Stolt snel/stevig genoeg voor het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)*
- *Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet (slechts gedeeltelijk <10 Mega Ohm)*

Antwoorden:

1. De 80/20 en 75/25 verhouding (controle experiment) harden uit binnen 1 dag. Aan stollen is geen behoefte in verband met de reeds droge structuur van de mengverhouding.
2. Geen krimp waarneembaar in de breedte, hoogte of lenterichting.
3. Ja, de 80/20 en 75/25 verhouding zijn aantoonbaar geleidend

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Analoge Multimeter
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)
 - Meetbereik 0-50 Mega Ohm

Metaalpoeders

- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)

Bindmiddelen

- Knutsellijm (Hema)
- Bison

Proef/Meetmethode:

In de pasta-samples in de mal (20x2x2mm) zijn 2 koperen contactpunten (draad) gebrand op de buitenste hoeken om een constante afstand tussen de meetpunten te garanderen. De weerstand wordt vervolgens zowel digitaal (multimeter) als ook analoog (Ohmse spoelmeter 0-1000Ohm.) gemeten met krokodillenbekjes op de koperdraad.

Conclusie:

75% koper, 25% knutsellijm geeft van alle geteste pasta's de beste waarden en is geschikt voor vervolgexperimenten, want deze voldoet aan alle gestelde eisen in dit experiment.

Conclusie 2:

(Zie controle proef, pagina 3 behorend bij dit experiment):

Identieke mengverhoudingen geven verschillende resultaten onder identieke omstandigheden maar zijn bovenal zeer gevoelig voor temperatuur na diverse (losstaande) proeven om de constant wijzigende weerstand te verklaren (het wijzigen van de contactpunten van koperdraad naar schroeven is hier een belangrijke stap in geweest). De samples gedragen zich als een PTC: de weerstand gaat sterk omhoog als de temperatuur omhoog gaat.

(zie ook de conclusie van de Controle proef, pagina 4)

Aanbevelingen:

- Toevoegen van een lagere mengverhoudingen 70/20 i.v.m. de pasta eigenschappen/structuur voor 't printen)
- Testen van de geleiding van eigen pasta's bij, tijdens en na rek/buiging. (Experiment H)
- Testen van de hardheid van het materiaal. (experiment I)
- ~~Testen van de geleiding van commerciële geleidende pasta's voor, tijdens en na rek/buiging (experiment G)~~

Meetresultaten:

Knutsellijm

- Geleid in vloeibare/stollende fase
- Geleid niet meer na uitharding
- zeer hard na uitharding
- goed reinigbaar met water (voor uitharding)

Knutsellijm [1:4] NiAg

- geleid/kit achtige pasta, zeer stroperig, kleeft
- niet stevig genoeg voor extra lagen
 - vormt deklaag binnen 2 minuten geschikt voor toplaag, eronder vloeibaar
- Geleid niet
- 0.0L ohm (1x1x20 mm)
- Krimpt bij indroging (niet in lengterichting waarneembaar.)
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Donkergrijs/groene kleur

Knutsellijm [1:2:2] Koper, NiAg

- kit achtige pasta, zeer stroperig, kleeft
- niet stevig genoeg voor 1 extra laag
 - vormt deklaag binnen 2 minuten geschikt voor toplaag, eronder vloeibaar
- Geleid niet/slecht (meetpunt werkt slechts tijdelijk)
- 330ohm / 1K ohm/0.0L (1x1x20 mm)
- Krimpt bij indroging (niet in lengterichting waarneembaar)
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Roestbruin van kleur, doffe glans

Controle proef 16-4-2012 / 18-4-2012:

Bij het mengen van de 20/80 verhouding bleef er droog korrelig materiaal over: doordat niet al het gemengde materiaal in de mal komt is een exacte verhouding niet goed te meten. Het zachtere materiaal (ook droog en korrelig) is gebruikt om de mal mee te vullen. De aannname dat de verhouding in het materiaal dat gebruikt wordt in de mal en wat achter blijft gelijk is. Geeft een onzekerheid over de exacte mengverhouding. De mate van geleiding wordt gemeten tijdens het uitharden van het materiaal en hierna.

Proef:

Met kleine hoeveelheden de mengverhouding verhogen tot de structuur (en verhouding) zoveel mogelijk overeenkomt met het gebruikte materiaal (zonder restant) van de 20/80 verhouding. Ter controle van de eerdere proef en om verschillen met een 20/80 verhouding in droogtijd te kunnen opmerken wordt tevens een 20/80 verhouding referentie sample gemaakt.

In tegenstelling tot het eerste experiment zijn de meetpunten van dit experiment (koper) geplaatst voor de stolling van de pasta in plaats van naderhand er in gesmolten. Dit is tevens een rede waarom een extra controle exemplaar is gemaakt maar biedt ook informatie over het verschil van het wel of niet insmelten van meetpunten (danwel van te voren zijn aangebracht en hechting door opdroging).

Verwachte meetresultaten:

De mengverhouding zal lager liggen dan 20/80 waardoor er geen droog restmateriaal achterblijft. Maar zal hier zeer dicht tegenaan liggen. Het is mogelijk dat een iets lagere mengverhouding een hogere eindconcentratie geeft: als de werkbare pasta van de 20/80 b.v. 35/65 zijn geweest dan zal 25/75 een hogere concentratie zijn dan de oorspronkelijke referentie uit het 20/80 exemplaar.

Na opdroging verwacht ik:

Een weerstand die een constante weerstand in Ohm geeft.

Ik verwacht verschillen tussen de weerstand in de diverse samples i.v.m. de homogeniteit van het geprinte materiaal, oppervlakte ruwheid (afwerking) en dichtheid.

In het gewenste resultaat liggen de weerstanden binnen een factor 10 van elkaar (ze zijn hand gemengd doch nauwkeurig) en hand-made in de mallen, dus een zekere marge is hierdoor benodigd

Conclusie:

Identieke mengverhoudingen geven verschillende resultaten onder identieke omstandigheden maar zijn bovenal zeer gevoelig voor temperatuur na diverse (losstaande) proeven om de constant wijzigende weerstand te verklaren (het wijzigen van de contactpunten van koperdraad naar schroeven is hier een belangrijke stap in geweest). De samples gedragen zich als een PTC: de weerstand gaat sterk omhoog als de temperatuur omhoog gaat.

Meetapparatuur:**beschikbare middelen:****meetapparatuur**

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial),
 - Meetbereik 0-50 Mega Ohm (Ohm tot 0.1 ohm nauwkeurig)
- Analoge multimeter (Protek HC-3030S)
 - 1-10Kohm meetbereik (logaritmische schaal)
- Temperatuurkast: 71 graden (klimaatruimte van de Dimension sst1200 es 3D printer, standby stand).

Meetmethode:

Met behulp van een matrijs (hierin zijn holtes van 2x2x20 mm aanwezig) worden de pasta's tot een baan gevormd waardoor dikte en lengte van de banen minder invloed kunnen hebben op het eindresultaat. Tevens zorgt de matrijs voor gemakkelijk hanteerbare samples en verleent het stevigheid (lengte richting) en een referentie waarde voor krimp. De pasta's worden op de hand gemengd tot (zover mogelijk) de 10° gram nauwkeurig. Hoeveelheden kunnen in de beschrijving van het experiment gevonden worden. Hierna worden er m.b.v. boutjes solide meetpunten aangebracht. afwijkingen die ontstaan door de plaatsing van de boutjes worden verwijderd: de streefwaarde van de weerstand is 0-8 Ohm bij een variatie van 1-3 mm op de 20 mm is onder de 15% (lagere weerstand). Voor de conclusie en de resultaten geeft deze afwijking geen problemen.

Beschrijving Controle proef (werkwijze):

Stap 1: 0.50 gram koperpoeder en 0.50 gram knutsellijm mengen (1:1)

Het mengsel is nu zeer stroperig (zou niet geschikt zijn om te printen)

Stap 2: 0.50 gram koperpoeder toevoegen (1:2) 33/66

Het mengsel is nu nog soepel en laat zich goed mengen en kneden

Stap 3: 0.50 gram koperpoeder toevoegen (1:3) 25/75

Het mengsel begint droog en korrelig te worden en vertoont gelijke eigenschappen aan het 20/80 mengsel maar zonder droge korrels

Stap 4: al het materiaal (zonder enig restant) is in een identieke mal/matrijs geplaatst als het referentie exemplaar (1^e en 2^e het 20/80 mengsel).

Het 25/75 mengsel oogt identiek in kleur en uiterlijk als het 20/80 mengsel van het `referentie exemplaar (het exemplaar dat er vlak voor is gemaakt)

Stap 5: laten drogen

Tijdsinterval: 1 dag tot de pasta uitgehard is

Stap 6: gaatjes boren in de samples (1,5mm)

Stap 7: M2 / M3 boutjes indraaien

Stap 8: multimeter met krokodilenbekjes op de boutjes aansluiten en de meetopstelling zonder verdere interactie laten staan om de waarden van de multimeter per tijdsinterval uit te lezen.

Meetresultaten droogtijd (meetfouten vermoed! , voor vervolg, zie Experiment 4.2)

Tijdstip: 30 minuten (12:00 merkbaar harder/steviger)

Weerstand 20/80 sample 60Kohm

Weerstand 25/75 sample 600Kohm

Tijdstip:2hr (12:30)

Weerstand 20/80 sample 45Kohm

Weerstand loopt geleidelijk op tijdens het meten 23Kohm < 34Kohm (1K ohm/2sec)

(10 minuten later) geeft een spanning van -30mVolt

(loopt af tijdens het meten naar 0 in 1 minuut)

Weerstand 25/75 sample

weerstand loopt geleidelijk op tijdens het meten 45Kohm< (zelf gestopt bij 80Kohm)
bij hermeting na 3 minuten begint de meting weer op 45Kohm

(10 minuten later)geeft een spanning van -10mVolt (loopt af tijdens het meten)

Tijdstip: 3hr (13:30)

Weerstand 20/80 sample

Weerstand loopt geleidelijk af va15Kohm en in 5 minuten naar 11,5Kohm

controle meting: begint op 35Kohm en loopt af naar 25Kohm

Weerstand 25/75 sample

Begint bij 40 Kohm en loopt op,

(na 3 seconden knippert de multimeter)

begint bij 70 Kohm en loopt af naar 49Kohm

Tijdstip: 4hr (14:30)

Weerstand 25/75 sample

weerstand loopt geleidelijk op tijdens het meten 60Kohm< 70Kohm (1min)

na 70K ohm loopt de weerstand weer langzaam terug naar 60Kohm (4min)

gedrag herhaalt zich bij 2^e meting 60→ 70, langzaam weer terug.

30 mVolt

Weerstand 20/80 sample

Weerstand loopt geleidelijk op va26Kohm en in 5 minuten naar 35Kohm

Weerstand schommelt van 7Kohm, 15Kohm 25 Kohm.

de meetpunten en meetopstelling ligt vrij zonder merkbare invloed van buitenaf.

De waardes 7, 16, 24, 20 blijven enkele tientallen seconden hangen rond die waarden (0.3Kohm variatie) maar wijzigen niet tijd gerelateerd naar andere "middelwaarden".

20 mVolt

Tijdsmeting 16:30

Weerstand 25/75 sample

192ohm en loopt op tot 195 ohm na 2 minuten

0mV

controle meting 16:37 (na 20/80)

1Kohm

Weerstand 20/80 sample

5Kohm (schommelt naar 4.7Kohm)

loopt op naar 7Kohm +1 minuut

valt terug naar 5Kohm +10 seconden

de opmeting staat volledig onafhankelijk en wordt niet zichtbaar beïnvloed door bewegingen trillingen en overige factoren. Het afdekken van licht heeft geen invloed op de meting.

2^e meting: de weerstand is omhoog naar 120Kohm en loopt op richting de 160Kohm

einde metingen 17-4-2012

Start metingen 18-4-2012 9:30

Weerstand 20/80 sample

440 ohm 1 minuut later 338 Ohm

2 minuten in 70 graden

54Kohm (en loopt op naar 67Kohm binnen 30 seconden) 60K ohm 30 seconden later.

50 Kohm 1 minuut later.

25Kohm 1 minuut later.

35 millivolt (loopt af tijdens het meten)

Weerstand 25/75 sample

18.4 Ohm (constant)

controle meting 19.6 Ohm (weerstand omhoog naar 22 ohm na warme lucht (adem))

controle meting 35 Ohm (weerstand kort in een warmte kast van 70 graden gelegd)

weerstand loopt langzaam terug onder kamertemperatuur. (33 ohm)

Meting 2: 300 ohm en loopt af naar 110 ohm 30 seconden later

105 ohm 30 seconden later 107 ohm 30 seconden later.

Controle weerstand varieert tussen 6.5 Kohm en 7Kohm

analoge ohmspoelmeter: constante 9Kohm – 10 Kohm (naald beweegt lichtjes)

Meting 3: 55 ohm (10 minuten na temperatuurkast)

Meting 4: 41.4 Ohm (2 minuten volledig constant)
3^e minuut loopt op naar 41.3 ohm en blijft hier 1< minuut op stilstaan)

Meting 5: 44 Ohm.

Controle weerstand 2.3 Kohm

Metingen 10:00

Controle weerstand 2.3K ohm

20/80 weerstand

0 seconden circa 140 Kohm

10 seconden 150Kohm

20 seconden 156Kohm

1minuut 165 Kohm

25/75 weerstand

230 ohm

10 seconden 245 Ohm

20 seconden 245 ohm (meter dropte kort naar 150 Ohm)

1 minuut 180 Ohm

1 min 15 seconden 260 Ohm

1 min 30 seconden 150 Ohm

2 min 130 Ohm

2 minuten 70 graden

0 seconden 43 Ohm

1 minuut 250 Ohm

5 minuten 100 ohm

Experiment 4.2

Printen van pasta met metaalpoeder

Hoofdvraag:

Welke van de pasta's heeft de beste eigenschappen om te worden geprint?

Deelvragen:

1. Wanneer stolt de pasta (tijdsbestek en benodigde hulpmiddelen)
2. Hoeveel krimp is er aanwezig bij de pasta's?
3. Hoe is de viscositeit van een 20-80 mengverhouding bij de pasta's?
4. Is de geleidbaarheid van de metalen in de pasta's aantoonbaar?

Eisen: (hier dienen 'goede' resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Mengt goed met het metaalpoeder 20-80*
- *Stolt niet te snel tijdens het mengen/printen*
- *Stolt snel/stevig genoeg voor het kunnen aanbrengen van een volgende laag (<seconden)*
- *Verhinderd de geleiding van de metaaldeeltjes niet (slechts gedeeltelijk <10 Mega Ohm)*

Antwoorden:

1. De 80/20 en 75/25 verhouding (controle experiment) harden uit binnen 1 dag. Aan stollen is geen behoefte in verband met de reeds droge structuur van de mengverhouding.
2. Geen krimp waarneembaar in de breedte, hoogte of lenterichting.
3. Ja, de 80/20 en 75/25 verhouding zijn aantoonbaar geleidend

Conclusie experiment 4: 75% koper, 25% knutsellijm geeft van alle geteste pasta's de beste waarden en is geschikt voor vervolgexperimenten, want deze voldoet aan alle gestelde eisen in dit experiment.

Aanbevelingen experiment 4:

Toevoegen van een lagere mengverhoudingen 70/20 i.v.m. de pasta eigenschappen/structuur voor 't printen)
 Testen van de geleiding van eigen pasta's bij, tijdens en na rek/buiging. (Experiment H)
 Testen van de hardheid van het materiaal. (experiment I)
 Testen van de geleiding van commerciële geleidende pasta's voor, tijdens en na rek/buiging (experiment G)

beschikbare middelen:**meetapparatuur**

- **Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)**
- **Multimeter (RMS225 Beckman Industrial)**
 - **Meetbereik 0-50 Mega Ohm**

Metaalpoeders

- Nickel-Zilver metaalpoeder (Art & Metal)
- Koper metaalpoeder (Art & Metal)
- Carbon nano tubes (staticyl 123)

Bindmiddelen

- Knutsellijm (Hema)
- Bison

Meetmethode:

In de pasta-samples in de mal (20x2x2mm) zijn 2 koperen contactpunten (draad) gebrand op de buitenste hoeken om een constante afstand tussen de meetpunten te garanderen. De weerstand wordt vervolgens zowel digitaal (multimeter) als ook analoog (Ohmse spoelmeter 0-1000Ohm.) gemeten met krokodillenbekjes op de koperdraad.

Meetresultaten:

Knutsellijm

- Geleid in vloeibare/stollende fase
- Geleid niet meer na uitharding
- zeer hard na uitharding
- goed reinigbaar met water (voor uitharding)

Knutsellijm[1:4] NiAg

- geleid/kit achtige pasta, zeer stroperig, kleeft
- niet stevig genoeg voor extra lagen
 - vormt deklaag binnen 2 minuten geschikt voor toplaag, eronder vloeibaar
- Geleid niet
- 0.0L ohm (1x1x20 mm)
- Krimpt bij indroging (niet in lengterichting waarneembaar.)
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Donkergrijs/groene kleur

Knutsellijm [1:2:2] Koper, NiAg

- kit achtige pasta, zeer stroperig, kleeft
- niet stevig genoeg voor 1 extra laag
 - vormt deklaag binnen 2 minuten geschikt voor toplaag, eronder vloeibaar
- Geleid niet/slecht (meetpunt werkt slechts tijdelijk)
- 330ohm / 1K ohm/0.0L (1x1x20 mm)
- Krimpt bij indroging (niet in lengterichting waarneembaar)
- Hard uit binnen 1-2 dagen (toplaag hard sneller uit → droogt aan de lucht, dehydratatie)
- Roestbruin van kleur, doffe glans

Controle experiment 16-4-2012 / 18-4-2012:

Bij het mengen van de 20/80 verhouding bleef er droog korrelig materiaal over: doordat niet al het gemengde materiaal in de mal komt is een exacte verhouding niet goed te meten. Het zachtere materiaal (ook droog en korrelig) is gebruikt om de mal mee te vullen. De aannname dat de verhouding in het materiaal dat gebruikt wordt in de mal en wat achter blijft gelijk is. Geeft een onzekerheid over de exacte mengverhouding

Experiment:

Met kleine hoeveelheden de mengverhouding verhogen tot de structuur (en verhouding) zoveel mogelijk overeenkomt met het gebruikte materiaal (zonder restant) van de 20/80 verhouding. Ter controle van de eerdere proef en om verschillen met een 20/80 verhouding in droogtijd te kunnen opmerken wordt tevens een 20/80 verhouding referentie sample gemaakt.

In tegenstelling tot het eerste experiment zijn de meetpunten van dit experiment (koper) geplaatst voor de stolling van de pasta in plaats van naderhand er in gesmolten. Dit is tevens een rede waarom een extra controle exemplaar is gemaakt maar biedt ook informatie over het verschil van het wel of niet insmelten van meetpunten (of van te voren zijn aangebracht en hechting door opdroging).

Verwachte meetresultaten:

De mengverhouding zal lager liggen dan 20/80 waardoor er geen droog restmateriaal achterblijft. Maar zal hier zeer dicht tegenaan liggen. Het is mogelijk dat een iets lagere mengverhouding een hogere eindconcentratie geeft: als de werkbare pasta van de 20/80 b.v. 35/65 zijn geweest dan zal 25/75 een hogere concentratie zijn dan de oorspronkelijke referentie uit het 20/80 exemplaar.

Na opdroging verwacht ik:

Een weerstand die een constante weerstand in Ohm geeft.

Ik verwacht verschillen tussen de weerstand in de diverse samples i.v.m. de homogeniteit van het geprinte materiaal, oppervlakte ruwheid (afwerking) en dichtheid.

In het gewenste resultaat liggen de weerstanden binnen een factor 10 van elkaar (ze zijn hand gemengd doch nauwkeurig) en hand-made in de mallen, dus een zekere marge is hierdoor benodigd

Meetapparatuur:

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- **Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)**
- **Multimeter (RMS225 Beckman Industrial),**
 - **Meetbereik 0-50 Mega Ohm (Ohm tot 0.1 ohm nauwkeurig)**
- **Analoge multimeter (Protek HC-3030S)**
 - **1-10Kohm meetbereik (logaritmische schaal)**
- **Temperatuurkast: 71 graden (klimaatruimte van de Dimension sst1200 es 3D printer, standby stand).**

Beschrijving experiment:

Stap 1: 0.50 gram koperpoeder en 0.50 gram knutsellijm mengen (1:1)

Het mengsel is nu zeer stroperig (zou niet geschikt zijn om te printen)

Stap 2: 0.50 gram koperpoeder toevoegen (1:2) 33/66

Het mengsel is nu nog soepel en laat zich goed mengen en kneden

Stap 3: 0.50 gram koperpoeder toevoegen (1:3) 25/75

Het mengsel begint droog en korrelig te worden en vertoont gelijke eigenschappen aan het 20/80 mengsel maar zonder droge korrels

Stap 4: al het materiaal (zonder enig restant) is in een identieke mal geplaatst als het referentie exemplaar (1^e en 2^e het 20/80 mengsel).

Het 25/75 mengsel oogt identiek in kleur en uiterlijk als het 20/80 mengsel van het `referentie exemplaar (het exemplaar dat er vlak voor is gemaakt)

Stap 5: laten drogen

Hypothese Meetresultaten F2 controleproef:

F2/F3: De koperen contactpunten maken slecht contact met het omliggende materiaal

- De weerstand is niet constant maar temperatuur gevoelig.
- De weerstand heeft capacitieve eigenschappen
- De weerstand heeft inductieve eigenschappen (straling)
- De weerstand is vochtgevoelig

Notitie: de samples lijken tevens zeer gevoelig voor overige omgevings invloeden.

Controle experiment 4.2: nieuwe meetpunten

Meten met standaard multimeter contactpennen

De weerstand varieert tussen de 60 Ohm (lager, kilo Ohms en Mega Ohms inclusief buiten het meetbereik) → te veel voor de bekende variatie, pinnen maken slecht contact met het geleidende materiaal.

verhitten van de meetpunten voor een lokale sintering/hervloeien) van het materiaal
→ referentie weerstand geeft weer waarden af, eigen weerstand is (globaal) onveranderd in weerstand, maar de waardes blijven schommelen.

Conclusie: de metingen zijn dusdanig onregelmatig met enkel aanraking dat druk of plaatsverandering al grote invloed heeft op de metingen, nieuwe contactpunten zijn gewenst om een kans op meetfouten beter/verder uit te sluiten.

Werkwijze: krokodillenbekjes

Gat voorboren op 2.5mm in de geleidende baan (3mm) en hier een boutje M3 inschroeven. de krokodillenklemmen worden op de Schroefdraad onder het schroefkopje gezet. de meetopstelling blijft aan staan tot de tijd van de meetpunten is verstreken.

Hypothese:

De schroefmethode zorgt voor een voorspanning en een groter contactoppervlak (schroefdraad, diameter) op de geleidende baan dan de koperen contactpunten.

Conclusie: de nieuwe contactpunten maken beter contact dan de oude contactpunten. De waarden schommelen niet meer extreem zonder aantoonbare aanwijzing en veranderen ofwel geleidelijk of blijven op 1 constante weerstandswaarde staan (afwijking van 1 ohm/min) zijn geschikt om verdere proeven mee uit te voeren. De resultaten van de oude koperen contactpunten zijn vanaf dit punt onbetrouwbaar (gebleken).

Opmerkingen:

het goede geleiden van het 50/50 sample (in vergelijking met de referentie 20/80) geeft mogelijkheden om soepelere pasta's te maken boven de 50/50 verhouding die het prettigst werken met een extruder en zuiniger zijn in koperpoeder tot het geprinte volume.

Aanbevelingen:

uitvoeren van een Vervolgsexperiment 4.3:

Testen van de invloed van temperatuur op de samples.

Meetresultaten:

25/75 sample

0 seconden 270 Ohm

5 minuten 267 Ohm

10 minuten 270 Ohm

(Er vindt een fluctuatie plaats van 'slechts' 1 Ohm tijdens de metingen)

20/80 sample

0 seconden 140 Kohm

5 minuten 150 Kohm

10 minuten 148 Kohm

Referentie baan (20/80)

0 seconden 1.501 Mohm

5 minuten 1.440 Mohm

10 minuten 1.418 Mohm

Referentie baan (50/50) *met de nieuwe contactpunten blijkt deze wel te geleiden

0 seconden 530 Kohm

5 minuten 528 Kohm

10 minuten 525 Kohm

(opstelling aangeraakt)

0 seconden 173 Kohm

5 minuten 173.5 Kohm (wisselt snel tussen 175 en 172 Kohm)

10 minuten 175 Kohm (wisselt met een deviatie van 3 Kohm)

Experiment 4.3

Bepalen van de invloed van temperatuur op de geprinte samples

Hoofdvraag:

Welke invloed (en mate) heeft de temperatuur invloed op de weerstand?

Deelvragen

- Verandert de weerstand onder invloed van temperatuur?
- Zijn er andere factoren die merkbaar invloed hebben op het experiment?

Eisen:(hier dienen ‘goede’ resultaten op de deelvragen en hoofdvraag aan te voldoen)

- *Het meetresultaat geeft constante waarden (zie referentie uit F3)*
- *Het meetresultaat moet herhaalbaar blijken*

Antwoorden:

- Ja, de weerstand veranderd merkbaar/duidelijk onder de invloed van hogere omgevingstemperaturen.
- Nee, met de contactpunten bevestigd door middel van krokodillenbekjes zijn er geen andere factoren meer merkbaar op de meetresultaten en het experiment.

Conclusie:

temperatuur heeft een grote invloed te hebben op de weerstand: de weerstand stijgt met de temperatuur en de samples zijn zeer temperatuur gevoelig. (De sample lag bij de referentie testen achter de laptop op dezelfde afstand als van de warmte-uitvoer voor het experiment: overige straling heeft geen aantoonbare invloed)

Aanbevelingen:

Meer metingen uitvoeren met de samples op kamertemperatuur.

In combinatie met enkele demonstraties van de pasta eigenschappen is de invloed van temperatuur herhaaldelijk als belangrijke weerstandsvariabele bewezen gebleken.

beschikbare middelen:

meetapparatuur

- Weegschaal (tot 1×10^{-6} Kg)
- Multimeter (RMS225 Beckman Industrial),
 - Meetbereik 0-50 Mega Ohm (Ohm tot 0.1 ohm nauwkeurig)
- Analoge multimeter (Protek HC-3030S)
 - 1-10Kohm meetbereik (logaritmische schaal)
- Temperatuurkast: 71 graden (klimaatruimte van de Dimension sst1200 es 3D printer, standby stand).

samples

- 20/80 (koper) 1^e sample
- 20/80 (koper) 2^e sample
- 25/75 (koper) sample

Meetmethode:

Het meetstuk wordt gemeten op kamertemperatuur en, na een in de meting genoteerde tijd, in een ruimte met verhoogde temperatuur uitgelezen.

Vervolgexperiment 4.3:

Testen van de invloed van temperatuur op de sample.

50/50 sample

0 seconden 175 Kohm

(uitlaat laptop koeling op de opstelling gericht) *gpu 70 graden*

weerstand loopt geleidelijk op

2 minuten 190Kohm

4 minuten 198Kohm

5 minuten 235Kohm

6 minuten 500Kohm

7 minuten 650Kohm

8 minuten 710Kohm

9 minuten 750Kohm

(weerstand dropt terug naar 735Kohm)

10 minuten 730-740 Kohm

11 minuten 720 Kohm (hitte laptop fan lijkt minder te zijn geworden).

15 minuten 690 Kohm (hitte laptop fan blijft afgenoemt gelijk 11 minuten)

Einde proef (de samples voelen licht warm aan met de hand)

(zie volgende pagina voor de referentie meetresultaten overgenomen van F3)

Referentie Meetresultaten (experiment 4.2):

25/75 sample

0 seconden 270 Ohm

5 minuten 267 Ohm

10 minuten 270 Ohm

(20/80) 2^e sample

0 seconden 140 Kohm

5 minuten 150 Kohm

10 minuten 148 Kohm

(er vindt een fluctuatie plaats van 1 Ohm tijdens de meting)

(20/80) 1^e sample

0 seconden 1.501 Mohm

5 minuten 1.440 Mohm

10 minuten 1.418 Mohm

Referentie baan (50/50) *met de nieuwe contactpunten blijkt deze wel te geleiden

0 seconden 530 Kohm

5 minuten 528 Kohm

10 minuten 525 Kohm

(opstelling aangeraakt)

0 seconden 173 Kohm

5 minuten 173.5 Kohm (wisselt snel tussen 175 en 172Kohm)

10 minuten 175 Kohm (wisselt met een deviatie van 3Kohm)

T1 30 minuten 175Kohm (wisselt met een deviatie van 2Kohm)

Experiment 5

Microscopisch onderzoek

Hoofdvraag:

Waardoor ontstaat de hoge weerstand in de geprinte pasta's en wat zijn de veronderstelde mechanische eigenschappen gebaseerd op het microscopisch onderzoek op het materiaal?

Deelvragen:

1. Is er invloed te verwachten/verklaren op basis van het bindmiddel (lijm)
2. Is er invloed te verwachten/verklaren op basis van de dichtheid?
3. Is er invloed te verwachten/verklaren op basis van de gebruikte metaal deeltjes?
4. zijn er op basis van het microscopisch onderzoek nog mogelijkheden om de geleiding van de pasta's te verbeteren?

Antwoorden:

- Van het bindmiddel of lijm is geen enkel spoor meer waarneembaar, de aannname is dat deze is geabsorbeerd door een capillaire werking van de poreuze structuur van de metaal deeltjes.
- Ja, de geprinte samples zijn zeer poreus en vormen geen massieve structuur zoals op basis van oog waarnemingen was aangenomen. Dit kan tevens problemen geven als de geprinte samples worden opgerekt: het is een heterogen materiaal waardoor spanningsconcentraties kunnen ontstaan en barsten eerder zullen ontstaan.
- Tevens geeft de variabele dichtheid het theoretische probleem dat bij de rek (benodigd voor de werking van een rekstrookje) de meetresultaten onbetrouwbaar zijn door de verschillen in rek (en het Poisson effect) in het materiaal zelf.
- Ja, de metaal deeltjes van alle poeders zijn zeer grillig van vorm (zie pagina 3 t/m 4). De overdracht van elektriciteit heeft hierbij veel hinder door de contactweerstand tussen de vele metaaldeeltjes. Tevens verhinderd de vorm van de een dichte opeenstapeling van metaaldeeltjes zelf waardoor de poreuze structuur ontstaat (zie antwoord 2).
- De geleiding van de huidige pasta's zal enkel te verbeteren zijn met behulp van sintering, maar dit vergt andere eisen aan de mal en het te printen carrier materiaal (het materiaal waar de strain gauge op wordt geprint / wordt mee ingesloten die veelal uit plastics bestaan. Een andere mogelijkheid om de metaalpoeders geleidende te krijgen is gebruik te maken van een geleidende bindmiddel, maar hier is van de (slecht geleidende) metaalpoeders geen toegevoegde waarde te verwachten, en de kosten zullen hoger uitvallen

Conclusie:

De geprinte pasta's zijn erg poreus in de doorsnede en vertonen een zeer grillige structuur die de geleidingspunten kunnen verklaren maar ook enkele risico's aanwijzen indien de poeders gebruikt zullen worden voor rekstrookjes.

Aanbevelingen:

Verder onderzoek naar de beschikbare metaalpoeders kan gedaan worden naar methoden om de eigenschappen van de metaalpoeders te wijzigen (b.v. een sintering voorafgaand aan het maken van de pasta). Onderzoek naar commerciële geleidende pasta's biedt meer mogelijkheden dan bovengenoemde optie wanneer mogelijk binnen het onderzoeksbudget.

beschikbare middelen:**meetapparatuur**

- **Stereo microscoop (biedt ondersteuning aan een camera)**
- **Sony rgb ccc_camera (voor geïnstalleerd op de stereomicroscoop)**
- **Slijplaten min. Korrelgrootte: 10.000**

onderzoeksmethode:

De matrijzen waar in de pasta's geprint zijn voor het uitvoeren van de geleidende proeven worden met destructief onderzoek bekeken: hiervoor worden de matrijzen gehalveerd. Vervolgens zullen de snijvlakken geslepen worden met een korrel van 10.000 en schoongespoeld om slijpresidu te verwijderen. Na deze bewerkingen zullen de geslepen vlakken onder het oculair worden gelegd en bekeken ter analyse.

Gezien uit het voortgaande onderzoek is gekomen dat de huidige weerstand te hoog is, is het verlies van deze proefexemplaren aanvaardbaar, door het verkrijgen van meer inzicht in de achterliggende theorie van de hoge weerstand (<20 ohm). Verdere geleidingsproeven en/of demonstraties niet meer mogelijk zijn tenzij voorgaande proeven herhaald worden.

Beschrijving experiment:

*voorafgaand aan het experiment zijn alle preparaten op diverse plekken bekeken door de stereomicroscoop. Voordeel van de stereomicroscoop is dat er diepte waargenomen kan worden in tegenstelling tot de foto's die 2-Dimensionaal zijn, waardoor er meer inzicht verkregen kan worden dan in deze documenten op papier kan worden gezet. Tevens is de scherptediepte op de camera nadrukkelijk minder dan via de stereoscoop. Het creëren van een 3D afbeelding op basis van o.a. anaglyph 3D heeft hierdoor weinig toegevoegde waarde op het 2D beeld van de camera.

Werkwijze:

Het preparaat wordt onder het oculair gelegd en scherpgesteld met het een 10x vergroting. als deze scherp staat wordt het midden van de printbaan opgezocht.

De oculairs worden doorgedraaid naar 20x vergroting, scherpgesteld op de oppervlakte laag. en er wordt een foto genomen

De oculairs worden doorgedraaid naar 50x vergroting, scherpgesteld op de oppervlakte laag, danwel net daaronder voor een betere weergave en er wordt een foto genomen.

De oculairs worden doorgedraaid naar 100x vergroting, scherpgesteld en beoordeeld of hiermee meer uit de vergroting kan worden gehaald dan bij 50x (dit is niet gebruikt in alle gevallen doordat de scherptediepte van de 100x vergroting dusdanig klein is dat er meer informatie verloren gaat dan bij het 50x oculair ondanks de verdere vergroting van de samples.

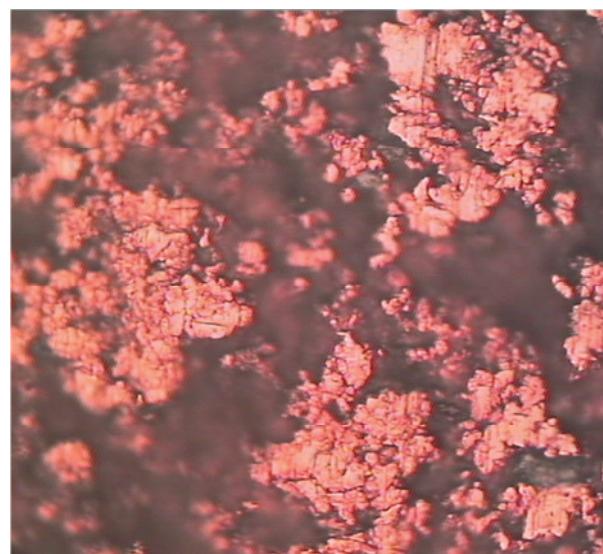
Meetresultaten:

Sample 1: 275 Ohm (referentiewaarde)

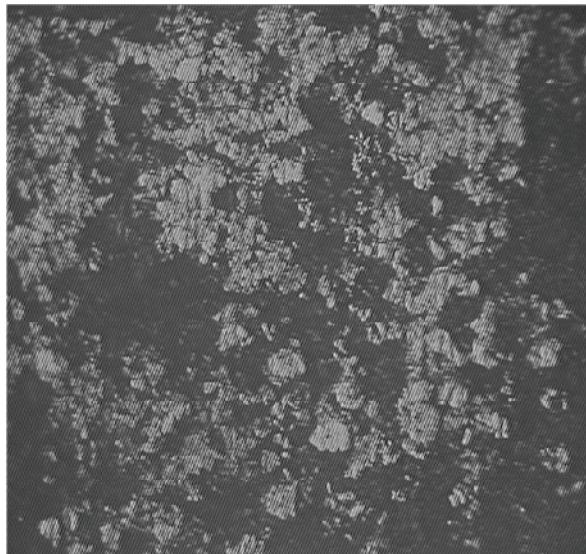
Sample 2: 140 K Ohm (referentiewaarde)



Sample 1a 20x vergroot



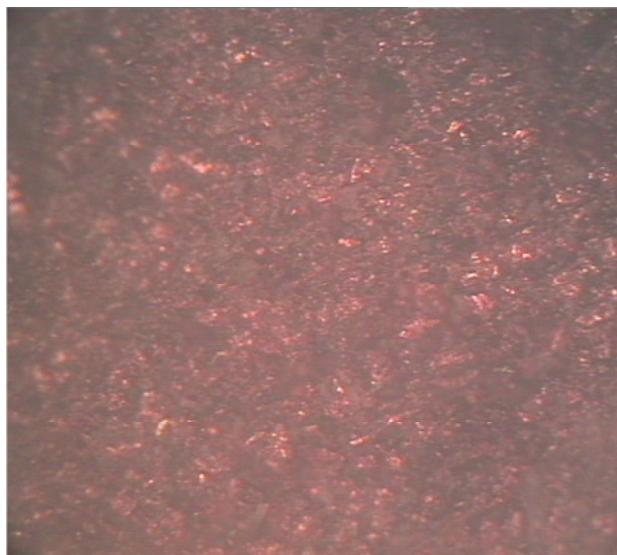
Sample 1a 50x vergroot



cCu4 Sample 1b 20x vergroot



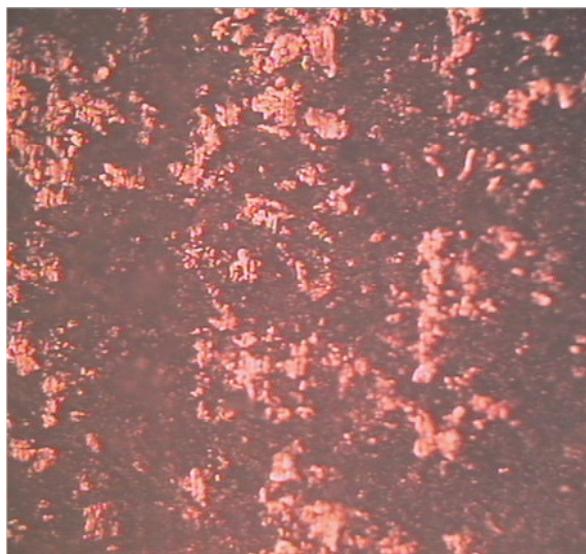
Sample 1b 50x vergroot



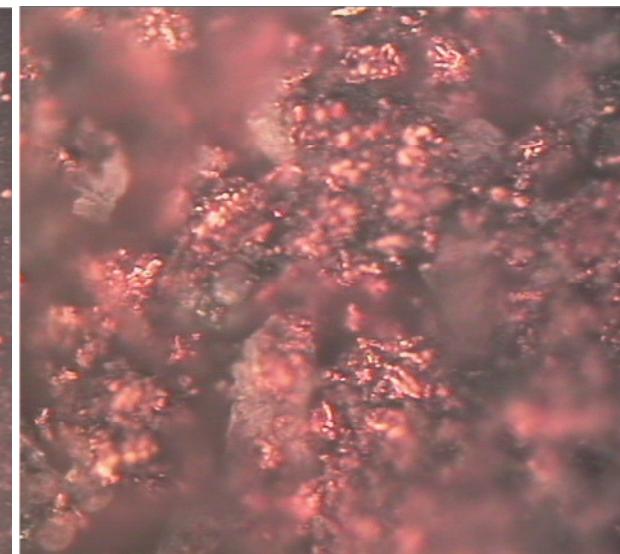
Sample 2a 20x vergroot



Sample 2a 50x vergroot



Sample 2b 20x vergroot



Sample 2B 50x vergroot

Attachment C

Moineau pump printhead – design

J.S. Beerthuizen

5/29/2012

In this document the ‘how’ and ‘why’ about the re-design of the Moineau printhead will be discussed, including the steps made to meet as many of the wishes and demands possible and create the final design which will be used for printing pastes.

I Introduction

In this report the design of the ‘Moineau pump printhead’ (i.e. a paste extruder printhead), will be explained and evaluated. The Moineau pump printhead is developed for the printing of pastes (required for the strain gauges) and for high viscosity fluids using additive manufacturing technology. These pastes (i.e. printing materials) are used for creating 3D objects using 3D printing techniques (layer by layer).

For the printing of pastes many concepts, pump types and solutions are (already) available: The syringe extruder is the leading printing solution for pastes due to the simplicity of the printhead, high flow controllability (both pressurized air and linear rod actuation) and ease of cleaning. For a syringe the syringe itself has to be replaced costing just a few euros but the printhead itself does not need replacement or repairs.

The syringe has one major side effect, which brought to the design of this printhead: a syringe always has a limited amount of printing material and will become bigger and heavier if the printing volume is increased. A pump printhead (e.g.: screw, gear, Moineau) allows for an ‘endless’ flow of printing material (when being refilled) during the printing process. This technique avoids the interruptions^a during printing and thus allowing for larger objects and a more constant print quality.

A Moineau pump based printhead was selected. After evaluation of this available printhead [4], additional demands and wishes were proposed, requiring a re-design to meet the new demands and wishes. The redesign of the printhead itself, is an assignment taken on later during the research project, as the printhead itself was insufficient for my main research for printing strain gauges using additive manufacturing with pastes.

Interruptions^a: Drying of ink during replacements and pausing of the printing leading to inaccuracy of the printhead position and printing result

II Table of contents

I Introduction	0
II Table of contents.....	2
II Summary.....	4
III Assignment	5
IV Print head – sectioned view and legenda	6
Chapter 1 Introduction	7
1.1 Problem definition:.....	7
1.2 Modular build.....	8
Chapter 2 Engine and part orientation	9
2.1 Re-design	9
2.2 Concept development.....	9
Chapter 3 Concepts	10
3.1 Side to side	10
3.2 Top Mounting.....	10
Chapter 4 Engine	11
Chapter 5 Couplings	11
5.1 Commercial solutions - Mechanical couplings.....	12
5.2 Commercial solutions - sealings	13
5.3 Kesselring method – Theory & Legenda.....	14
5.3.1 Legenda - table	14
5.3.2 Kesselring method – table	15
5.3.2 Conclusion	15
Chapter 6 Drive shaft.....	16
6.1 Driveshaft demands	16
6.2 Conclusion	17
Chapter 7 Rotor and Stator design	17
7.1 Redesign	17
Chapter 8 Inlet-chamber and insert.....	18
8.1 Problem analysis.....	18

8.2 Improvements – inlet-chamber.....	18
8.3 Improvements – insert	18
Chapter 9 Nozzle design.....	19
Chapter 10 Mounting design.....	20
9.1 Concepts connecting the printhead to an universal mount.....	20
Chapter 10 Bolt orientation	21
Chapter 11 Strength, weight and cost reduction.....	22
11.1 The mounting base.....	22
11.2 The scaffolds.....	22
Chapter 12 Overall design.....	23
12.1 Length	23
12.2 Airtight & Pressure resistance.....	23
Chapter 13 Discussion	24
Chapter 14 Recommendations:.....	24
Chapter 15 Conclusion.....	25
Chapter 16 Literature	25
Chapter 17 Abbreviations	25

II Summary

Part of the graduation assignment is the selection of a screw based party extruder chosen from internet resources. The research for these extruders, though the amount of internet resources (see: Thesis, Attachment G), provided only 3 models (on 2 different principles) to choose from. After experiments with the chosen chocolate extruder, the cleaning of the printhead proved problematic (and predicted to be fatal for the printhead if resin/glue based pastes are used). Requiring a new design to meet the extra demand, the original PDS has been extended with suggestions from the ‘O&P’ research group to increase the value of the printhead for further paste-extruding research.

The design of the new paste extruder is modular, to improve cleaning accessibility, lower repair costs, allow redesign of specific parts, lower production costs (less support material required), and to allow mounting on different low-end 3D printers. For the modular build, couplings to connect the individual parts were required: A bolted flange with an O-ring sealing is the chosen and best solution according to the used Kesselring method. For the driveshaft between the stepper engine and the translating rotor, concepts are found using the abstraction of the part requirements. The driveshaft concepts are compared to the wishes and demands which were best accomplished by the Oldham coupling. The rotor itself had the pitch decreased, creating more (and smaller) cavities and volume/ rotation to increase the adjustability for the flow rate (set by the rpm of the stepper engine).

The design of the printhead has had several revisions to improve the design based on the knowledge gained on the chocolate printing project. The most recent discovery: the semi-permeable properties of FDM (ABS) parts, has not been accounted for in the redesign: thicker walls would severely increase costs without a guarantee for watertight parts, though no problems are expected with high viscosity fluids (pastes).

My recommendations for further research are: (see also chapter 14)

- Research the properties of FDM printed parts e.g.: permeability, material strength etc.
- Research different pastes for printing (widening the scope of possible applications)
 - E.g. metal powder pastes (copper like statues) and re-moldable plastic (recycling)
- Add modular parts to the printhead to increase the range of pastes and functionality

Furthermore students should be instructed (to account for/on) the properties of FDM parts when designing parts to be printed. i.e. the mentioning of layer orientation, surface finishing and cost reduction measurements (minimizing the required support material in particular).

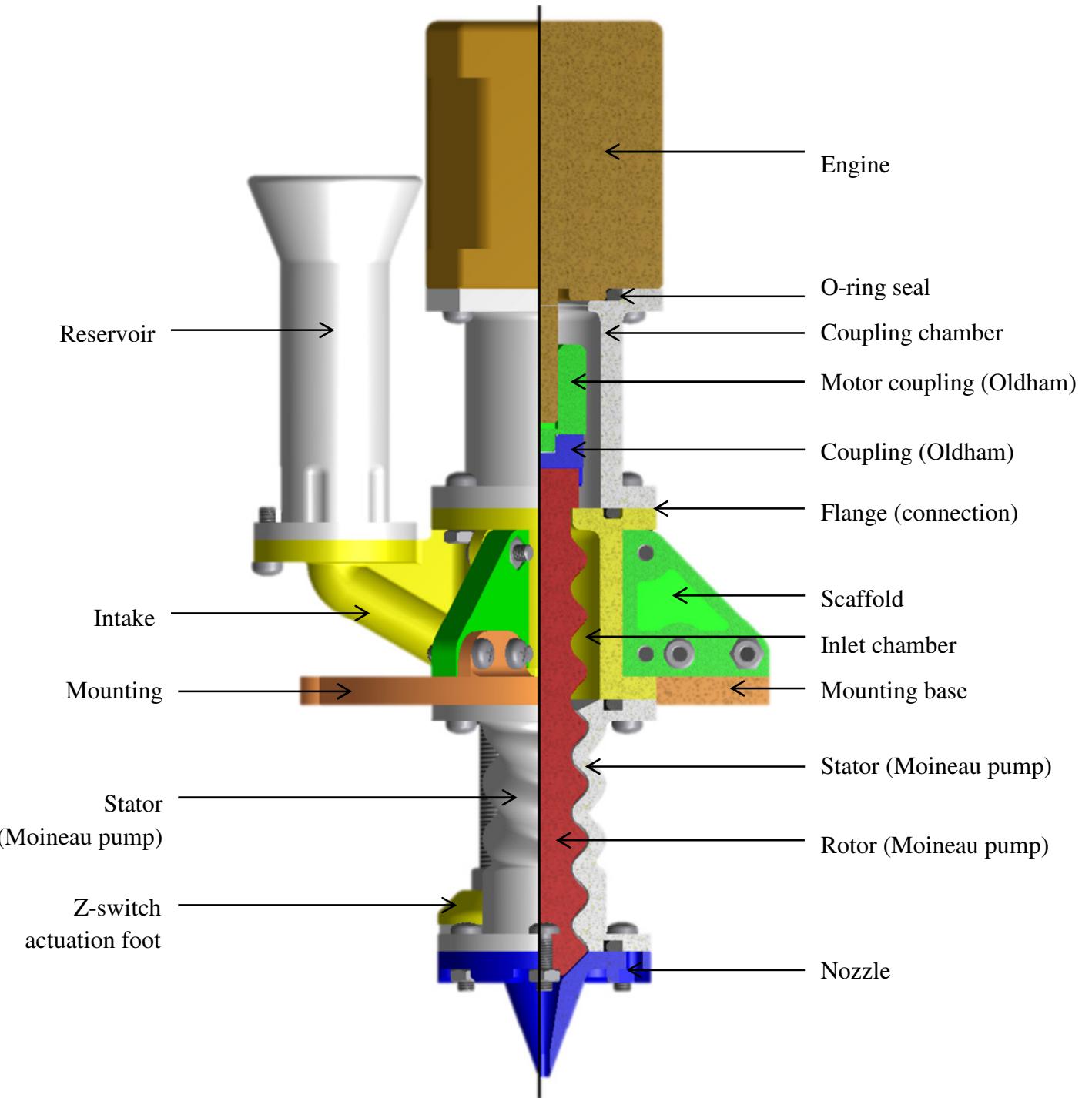
III Assignment

The graduation assignment demands for a screw printhead to be chosen from the available models on the internet. Due to the low number of available screw printheads (see Thesis, attachment G), (extended to all paste extruder other than a syringe,) and even lower number of printheads being in a non-experimental state; only two printheads were considered to be of a satisfactory standard good enough to be printed on the Dimension™ SST 1200ES. The Chocolate extruder [1] showed the best opportunities due to the larger amount of documentation and an available proof-of-concept of the functionality of the printhead

The assignment, on the printhead, has been extended (and allowed to do so by both the company, De Nayer, as my coordinator from the HHS Delft). The assignment now also includes the design of an extruder printhead based on the Moineau pump principle. The required time to complete this assignment has been affected, by the delayed availability of the metal powder for the conductive paste-research. Near the end of the assignment even more time became available by the negative result of the metal-powder paste research; to provide suitable pastes for the printing of strain gauges.

The design of the printhead has further been used as a starting point for the chocolate printing project at De Nayer with the end goal of printing chocolate at ‘Miummm’, Belgium. This chocolate project has been done in collaboration with Hans Valkenaers and Frederik Vogeler. Knowledge gained from this project, also improved my own printhead. Furthermore experimental parts from my printhead have been tested during the chocolate project, (such as the Oldham coupling and the 3D parts of the Moineau rotor and stator), providing me with valuable feedback.

IV Print head – sectioned view and legenda



Chapter 1 Introduction

1.1 Problem definition:

The first usage and installation of the reference printhead [1], showed that its height, severely limits the work space on the RepRap Mendell 3D printer. Aside from the drive carriage of the RepRap Mendell, requiring an update to the “X-carriage”, the Repman 3D printer has been used thus giving similar (but other) difficulties with quick workarounds possible. Part of the difficulties emerged by the total height of the mounting point to the carriage in relation to the printing platform below. From further working with the reference printhead to print chocolate (its main feature) the walls proved not thick enough but also revealed that the walls ‘sweat’ the material to other separated compartments.



Figure 1.1-1 Reference Moineau printhead [1]

For cleaning, the complete printhead must be submerged in boiling water to soak, and all of the components (including the coupling) are submerged in the chocolate/paste while printing. For more aggressive pastes where boiling/soaking in water is not an option; cleaning will not be (entirely) possible, requiring the entire printhead, to be replicated again.

The problem in height of the nozzle to the printing platform of the Repman was easily solved using a workaround by adding extra height to the printing platform to allow the nozzle to (nearly) touch the printing platform. Unlike the RepRap Mendel, the Repman (and Darwin) does not have height limitations above the printing carriage and allows for a better manual path editing than the Darwin and shows no dimensional problems, like the RepRap Mendell does with ‘large’ printheads.

1.2 Modular build

Part of the demands in the Product Design Specifications (PDS) is for the pump to have a modular build to realize a customizable pump for different pastes, ease of cleaning and alternating demands. Costs are also saved by decreasing the size of parts (instead of larger ‘merged’ parts) to allow for smaller replacements when such is needed due to wear and tear and other defects.

The side effects of the modular build, add to the amount of couplings and chance on leaking pressure are minimized by the choice for sealed couplings. The advantages listed in the modular specific sections outweigh the side effects of leaking pressure and complexity created by the choice for a modular build. Note: the original design against leakage is only valid if the semi-permeable properties (found during the last 4 weeks of my assignment) of the printed parts are taken care of.

Paste extruder printhead Demands (syringes excluded: already present in the lab)

- Viscosity to handle 100-600 (will be higher with particles)
- Must have a suck back function or immediate flow stop at the motor stop
- On-going and steady flow with low fluctuations ensuring a constant output while printing
- Modular build to replace or add new components and functionality and to improve access for cleaning
- Light-shielded for UV-resins
- Air pressure option

Wishes: XXX

- Easier and better to rinse/clean
- Cheaper replacement for wear intensive parts
- Heating or additional functions (broadening the range of the print paste's after my work)
- Extra enhancements to be added or changed
 - More products and pastes possible
 - More connections possible (pressurized air)
- Faster and cheaper to print
- Nozzle suggestions
 - Mount for syringe nozzle
 - Mount for kitpistol nozzle
- Modulair supply from the shaft
 - Reservoir (with hood and pressurized air)
 - Syringe (by hand or pressurized air)
 - Hose (any actuation available)
- Modulair mounting (adapter/base)
 - Darwin
 - Fab@home
 - Mendel/Prusa
 - Future proof
- Easier and better to rinse/clean
- Cheaper replacement for wear intensive parts
- Heating or additional functions (broadening the range of the print paste's after my work)

Chapter 2 Engine and part orientation

2.1 Re-design

In the re-design of the printhead, the wish to decrease the height and size of the printhead has been taken on board in the product design specifications (Attachment A). Some of the specifications conflict with each other, with the total height and size of the printhead occurring more often than most others. The modular design of the printhead requires height and size for the flanges and making the parts detachable.

2.2 Concept development

Most of the height is created by the engine and the eccentric coupling. Two functional concepts were made. The engine and height of the axle is used as a variable to decrease the height of the printhead. The original eccentric coupling is taking even more height and needs to stay above the rotor to properly function. A low height solution such as for example, asymmetric sprockets (oval shaped and placed just above the rotor) would give problems with the rotation speed and speed of eccentric shifting both determined by the sprockets. The eccentric coupling only dictates the rotation as the eccentric shifting is following the movements of the rotator. The coupling shaft is thus in both concepts still placed above the rotor.

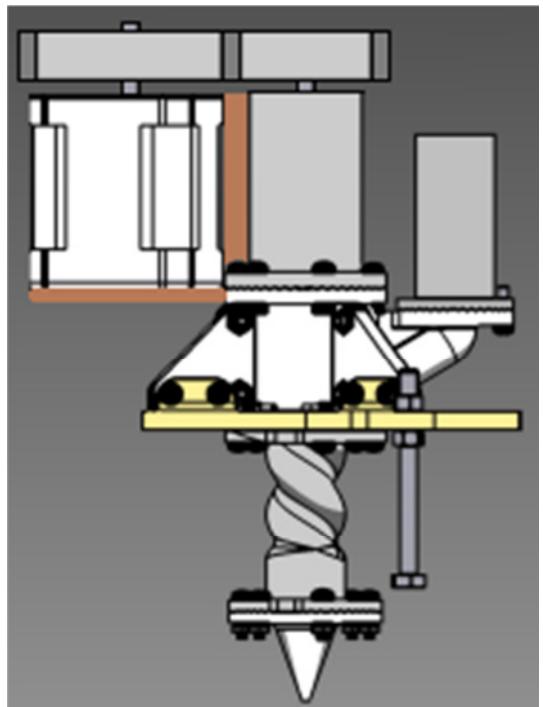


Figure 2.1-1: Side mounted stepper-engine concept

Chapter 3 Concepts

Concept	Benefits*	Negatives/problems*
Side to Side	Lower Height	More building material required Wear and tear of the helical sprockets Extra sealings and bearings required eccentric motor weight creates momentum
Top-mounting	Less parts required Fully linear design (less parts)	Higher gravity point A tall design won't fit all printers

* relative descriptions and values are made in comparison to the other concept

3.1 Side to side

This concept (figure 2.2.1) has been turned down due to the higher demands such as pressure sealings, bearings (not needed for a top mounted engine) and the extra building material required. All of these side effects of the eccentric motor mounting make for extra production costs, replacement costs and a higher chance of failure compared to a top-mounted engine while only a minimal improvement (40mm max) in total height is made but also increasing the width of the design, giving root to other fitting and design problems .

3.2 Top Mounting

The Top Mounting concept is chosen for further development based on its lower production costs and simple design (chance on failure) compared to the side by side concept. The top mounting of the engine also determines the placement of the inlet chamber and allows for a better adoption of the printhead to other printers such as the Darwin, where the printheads are mounted sideways to the carriage (the newest custom RepRap (Mendell) updates are also working with side-mounted carriages). A side mounted engine would limit the possibilities of mounting on such carriages, where a top mounted engine allows for side mounting more easily (except where the intake is placed). The triangular scaffolds as seen in chapter IV, are detachable and can be used to mount an adapter to enable placing on side mounted carriages.

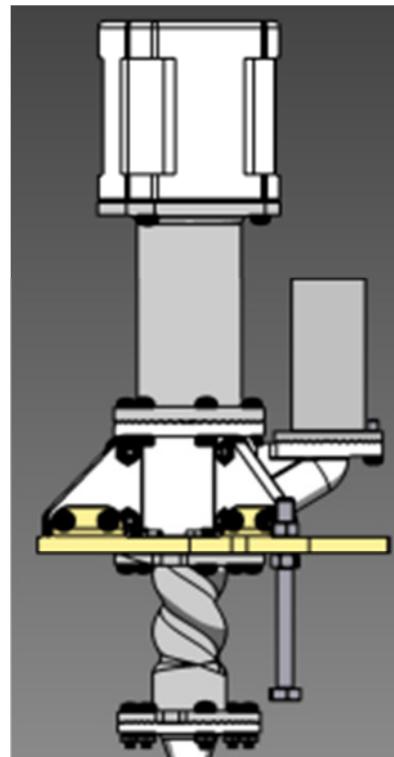


Figure 3.2-1: Top mounted motor concept

Chapter 4 Engine

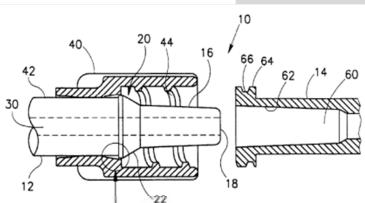
No changes were made to the engine powering the printhead. The chosen stepper-engine, is a default engine for 3D printheads which has proven its functionality and proper working combined with the various firmware of different 3D printers. For where problems with the engine or printing are present (e.g. the suck back or reverse turning of the engine), the problem is due to the printer's firmware and its inability to control the movements manually or firmware dedicated to plastic extrusion demands.

Chapter 5 Couplings

In the pump, many couplings will be needed in order to gain a modular pump and improve the access to the internal compartments for cleaning. Due to the demands, such as the 5-10 bar air pressure and the chosen production method (3D ABS printing) the couplings will need to contain the pressure and loads applied. The static couplings will be determined with the use of a market analysis (given the most common coupling types) and a Kesselring comparison. A transmission coupling is evaluated in the last part of this chapter and chosen based on their properties.

Demands:
<ul style="list-style-type: none"> • Airtight (and liquids) on 5-10 bar. • Parts easily replaceable (direct deliverance/availability) • Producible with 3D printer Dimension™ 1200SST ES or Makerbot™ and standard parts
Material properties 3D printed parts - Dimension printer (o.a. ABS-plastic):
<ul style="list-style-type: none"> • Good pressure resistance (equals the material properties) • Layer thickness 0,245 mm • Object finish is highly orientation dependent on the printed orientation • Delaminates on layer level (e.g. tension and shear loading) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Does not apply/ stronger in longitudinal direction of the print-trajectory
<ul style="list-style-type: none"> • Parts easily replaceable (direct delivery/availability) • Good cleanable design (manual rinsing of self-hardening printing materials)
Wishes:
<ul style="list-style-type: none"> • Standard parts where possible (see also replace ability and costs) • No wear & tear (replacing costs) • No post-processing needed • Parts quickly disassembled (see also cleansing) • Coupling can hold moments, couple and inertia <ul style="list-style-type: none"> -e.g. moment created by weight of connected modules and supply (printing) material

5.1 Commercial solutions - Mechanical couplings

Benaming/type	afbeeldingen	bron	opmerkingen
Camlock (ball) coupling		http://www.airhosefittings.org	Parts with springs Rotation free Quick to disassemble
Camlock coupling		http://www.actionsealite.com	Hinged parts Rotation free Quick to disassemble
Bauer coupling		t2.gstatic.com	Hinged parts Rotation free Quick to disassemble
Victaulic FRP coupling / V band clamp		http://www.wastewaterpr.com	2 parts Rotation free Disassembling time dependent on bolts
Screw coupling		http://vr-speed.com www.gardena.com	Solid part Rotational unfastening Quick to disassemble
Luer Lock		http://www.freepatentsonline.com USA P5,984,373	Solid part Rotational unfastening Quick to disassemble
GEKA coupling		www.gardena.com	Solid part
Firehose connection		Google	Rotational unfastening Quick to disassemble
Flange		http://www.allplasticpipe.com	Solid part No rotation possible Severability depending on the bolted connection

5.2 Commercial solutions - sealings

Benaming/type	afbeeldingen	bron	opmerkingen
Teflon Tape		http://www.mekshat.com	Replace after use Only usable on outer diameter of threading Low costs
O-ring		http://www.pickettbrass.com	Re-usable Usable on round and flat surfaces Deformable Low costs
Gasket		http://www.techniparts.nl	Re-usable Only usable on flat surfaces Rigid (not flexible) Low costs
Cuff (grooved-ring)		www.tradcom.com	Re-usable Shape-specific Deformable Price varies
Chemical adhesive		http://www.furioza.nl	Not-detachable without damage/delamination Rigid Price varies
Mechanical adhesive (e.g. hot glue)		http://www.made-in-china.com	Not-/ detachable depending on type Leaves remnants Rigid Price varies
Kit		http://www.formidotros.nl	Replace after use Detachable, Leaves remnants Deformable Price varies

5.3 Kesselring method - Theory & Legenda

For choosing the best connection between the joints, for the re-design of the printhead, the Kesselring method is used to determine which of the (combination off) solutions will give the best result. This method was especially chosen, due to the amount of wishes and demands (see table 5.3-1), as well as their variety in importance (see table 5.3-2).

5.3.1 Legenda - table

Demands:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Airtight (and liquids) minimal 5 bar (maximum 10bar) 2. Producible with 3D printer Dimension 1200SST ES and standard parts 3. High pressure resistance (10 bar) 4. Layer thickness 0,245 mm 5. Minimized risk on lamination between printed layers (tension and shear loads) Does not apply / stronger in longitudinal direction of the printed trajectory 6. Parts easily replaceable (direct delivery/availability) 7. Good cleanable design (manual rinsing of self-hardening materials) 8. Detachable / modular
Wishes:
<ol style="list-style-type: none"> 9. Standard parts where possible (see also replace-ability and costs) 10. Costs as low as possible (estimated: 500 euro total maximum) 11. No wear & tear (replacing costs) 12. No post-processing needed 13. Parts quickly disassembled (see also cleaning) 14. Coupling can hold moments and inertia e.g. moment created by weight of connected modules and supply (printing) 15. Coupling enables free rotation (option for material insert coupling)

Table 5.3-1: table of wishes and demands (adapted to the joints)

5.3.2 Kesselring method – table

naming \ Demand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	score	Ideal
Factor of importance	5	5	2	2	3	1	3	5	5	3	3	2	5	3	2		
A Couplings																	
Camlock coupling (ball)	B	-	3	2	2	-	1	3	-	1	1	-	3	1	2	62	117
Camlock coupling	B	1	3	2	2	1	1	3	-	1	1	1	3	2	2	73	117
Bauer coupling	B	1	3	2	2	-	1	2	-	1	1	1	3	2	2	67	117
Victaulic/ V band clamp	B	2	3	2	1	3	2	1	-	2	3	2	2	2	2	76	117
Screw coupling	B	2	3	1	?	3	2	2	-	2	2	3	2	-	-	65	117
Luer Lock	B	2	3	1	?	3	1	2	-	2	2	-	2	-	-	56	117
GEKA coupling	B	2	3	2	2	3	2	2	-	2	3	3	3	-	-	81	117
Flange	B	2	3	3	2	3	3	1	-	3	3	3	1	3	-	83	117
B Sealings																	
Teflon Tape	2	-	2	-	-	3	3	3	3	3	-	-	2	-	-	75	102
O-ring	3	-	2	-	-	3	3	3	3	3	-	-	3	-	3	91	102
Gasket	1	-	1	-	-	2	3	3	2	3	-	-	3	-	-	67	102
Cuff	3	-	2	-	-	1	2	3	1	2	-	-	2	-	2	66	102
Chemical glue	3	-	1	-	-	1	1	-	3	2	-	-	2	-	-	48	102
Mechanical glue	3	-	1	-	-	1	1	-	3	2	-	-	2	-	-	48	102
Kit	2	-	-	-	-	1	2	1	3	2	-	-	2	-	-	53	102
none	-	-	-	-	-	3	3	3	3	3	-	-	3	-	3	21	102

Table 5.3-2: Kesselring method

The Kesselring (table 5.3-2) gave a definite answer, without the need to estimate the best solution based on preferences. As giving points to the matrix is not based on facts but determined by hand, close results should be looked at.

On the coupling method, two concepts outrun all others: the Geka coupling and the flange. Both have strong assets of their own: the Geka coupling to be fast (one of the most important demands) and the flange to its resistance to momentum, wear & tear. The final decision is made based on the geometry and chance of delamination. For a maximum pressure of 10 bar (peak loading), the pressure on a flange is divided by the surface of the bolts connecting the flanges and the minimal sectional area of the flange, where for a Geka coupling the area on tension is smaller creating a higher load and also with a higher risk of delamination when a high pressure is applied. Safety is not listed in the demands but should always be accounted for, thus a flange is chosen over a Geka coupling.

In the 2nd part the O-ring lists 16 points higher (or more) out of a 102 points than any other solution. For the O-ring no doubt is possible, for it to be the best possibility listed. For the types of slots available for the O-ring an ISO-normed O-ring groove is chosen (the pressure will be applied on the flat side of the O-ring, instead of radial, this gives (small) benefits on fitting, required accuracy, tolerance and usage).

5.3.2 Conclusion

The combination of a flange and O-ring is the best solution according to the Kesselring method and will be used in the final design.

Chapter 6 Drive shaft

For the coupling, the required force transmission is first deducted to the required motion and required axis of freedom. This deduction gives a stationary, rotating axis: the top cylinder in figure 6-1 and a translating or shifting cylinder which is connected to the rotating motion of the cylinder above (the stepper engine axis).

The selection and concepts are also based, on ‘Rolof/Matek’, [6] which aided me in the selection of flexible couplings.

The drive shaft coupling (simplified as 2 rotating cylinders) must be as short as possible to minimize the total height of the engine and coupling chamber and be able to handle torque when high viscosity fluids are pumped without part failure. The adaptive coupling concepts, which meet these demands, are illustrated in table 6-2 with their (dis-)advantages and individual characteristics (notes).

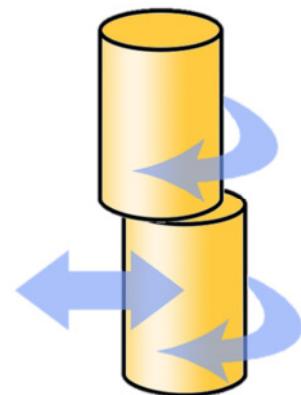


Figure 6-1: coupling with rotation and translation – abstract display

Type	Image	printable	extendable	notes
Flexible shaft		No	Yes / no	Including alternative single piece solutions E.G. spring, rubber
Cardan coupling		Partly	Yes	(modified:) extendable
Schmidt coupling		Yes	N.a.	Minimal height needed No extension required 9 rotating axis (wear & tear)
Oldham coupling		Yes	N.a.	Minimal height needed No extension required 2 sliding parts (wear & tear)
Geared shaft		Yes	Yes	Tested, no problems found

Table 6-2: feature abridgement (from top to bottom): [5], [2], [4], [3], [N.a.]

6.1 Driveshaft demands

For the driveshaft, many of the demands are equal to those of the couplings in Chapter 5. In addition to these request, clean-ability is not a high demand, as the parts will be placed in a clean area, though the risk of soiling is still present. The most demanding request to the coupling is to be able to drive an eccentric axis. The demand of a minimal height solution (minimized height starting where all other demands are met (e.g. printable)) leaves a choice between just 2 concepts of Table 6-2. The first coupling concept with a minimal height needed, is the Schmidt coupling. This coupling has a disadvantage due to its amount of printed rotating axis and amount of fragile parts (orange beams). A second disadvantage is that it is printed as an assembled part making replacement of defect parts impossible.

The Oldham coupling as an alternative is valued as a better solution on its overall properties for the required function due to its simplistic design, low height and mechanical properties.

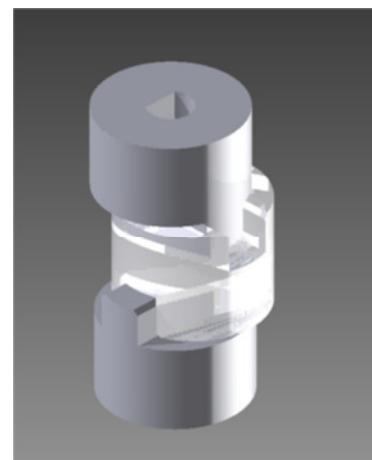


Figure 6.2-2: Oldham coupling

6.2 Conclusion

Granting the wish, for the part to be printable, instead of a commercial product (costs) and taking height (lowering the engine) in consideration; the Schmidt and Oldham coupling come closest to the ideal solution. Between these 2 options the Oldham coupling was chosen based on the amount of parts (wear) and mechanical strength of the individual parts.

The Oldham coupling design, (3D Cad) has afterwards proven itself in the chocolate extruder during the chocolate experiments.

Chapter 7 Rotor and Stator design

The Moineau printhead is designed based on the Moineau screw or pump. This design has been chosen over several other print designs not only due to its availability and proven success on the web but also based on the theory and properties of the Moineau printhead.

The most important property of the Moineau pump is its constant flow or supply of material. Even though the material is delivered from both sides of the stator and rarely from one side, the flow [m^3/s] is very constant, which is obligatory for good printing results.

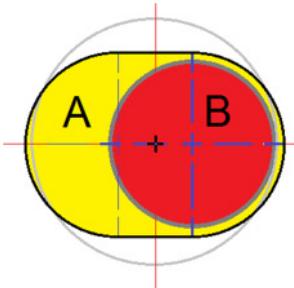


Figure 7-2: Surface area

The constant flow can partly be explained by a sectioned view of the stator A and rotor B. As the rotor B moves from the left to the right and back inside the pump the actual sectional area A where material 'C' can flow (yellow) remains always the same: $A-B=C$ (material in m^2 , the height being the 3rd dimension for creating volume). Other paste pumps (other than syringes) such as gear-pumps and Archimedes screws always leave a gap behind in the material flow which can create an unsteady flow, which is essential to a uniform layer thickness for building the model.

The constant volume also allows the printing of incompressible fluids and/or pastes. This also gives the other interesting property of the Moineau pump: its capability to pump and allow small and large particles in the pastes, and thus allowing a wider variety of pastes possible than other printheads. Moineau pumps are for this reason used in food industries (soups with chunks for example) and mud or sewer installations which also shows its capability of dealing with thick fluids. (for more information see Thesis, chapter 2.3).

7.1 Redesign

The pump rate of the stepper motor was very high during experiments with the reference rotor and stator (5 rpm giving the best result for chocolate). This low setting in rpm allows only a few and relatively large adjustments (0-10). The firmware only allows adjustments by 1 rpm and will go up to 200 rpm with the current stepper motor without blocking. Hence, the actual pump rate of the reference stator and rotor is higher than needed and can be lowered by shortening the pitch to increase adjustability in RPM and amount of pumping lobs, each lobe or cavity is 1/2 rotation of the rotor) to allow better pressure building when needed for extrusion of thicker fluids and downward flow in the inlet-chamber.

Another feature added to the rotor is a tapered tip to decrease the amount of dead volume in the nozzle. The tapered tip will also be creating a better flow into the nozzle by minimizing the change in sectional area when the material goes from the stator to the nozzle: a cavity or air pocket could form itself below the current rotor which has a flat bottom (a vortex effect for low viscosity fluids), the tapered tip will minimize the chance and also help with a better transition and linear flow.

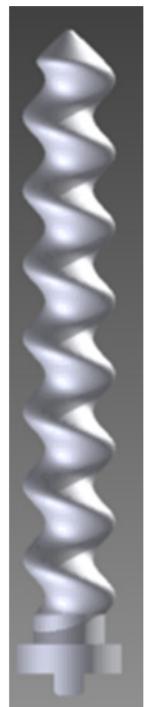


Figure 7-3: Rotor

Chapter 8 Inlet-chamber and insert

One of the most important parts of the pump is the inlet chamber where the pastes are pushed/flow into the pumping mechanism. The inlet chamber also functions as the element to which the adapter to the drive carriage is mounted. In this case using scaffolds as an adapter to the mounting base of the Repman Darwin. More important to the inlet chamber is the insert to which the reservoir is mounted.

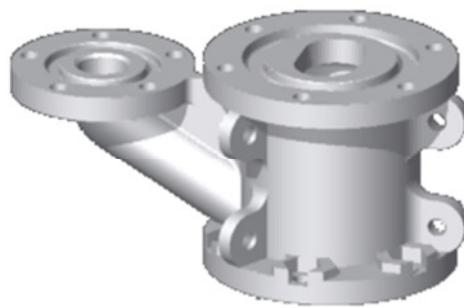


Figure 8-1: Inlet chamber and insert

8.1 Problem analysis

In the original printhead, the coupling was placed inside the inlet chamber (where the insert is placed) which can give problems with paste clogging the coupling mechanism, but also creates a large space with paste without any actuation, increasing the risk of paste drying up during printing. Also the insert in the previous printhead proved, not to be optimal: due to the tapered end, no lids or other items could be attached to prevent UV-light, drying an UV-resin or applying pressurized air to aid the flow of pastes (as is done with frosting with the Frostruder printhead).

8.2 Improvements - inlet-chamber

Due to the placement of the coupling above the inlet chamber to prevent the clogging, a separate compartment was needed to place the insert and allow the paste to enter the pumping mechanism. The rotor has been lengthened in its full length, along the inlet chamber to improve mixing of the printing material and ideally create a downward flow.

All walls around are kept circular on purpose: The shaping of the walls, to create an actual pumping behaviour, would also create an upward flow into the coupling compartment above the inlet chamber, if the pump uses its suck-back feature with a stator shaped interior and a filled compartment. Furthermore, a tight fitting (with the sideways insert) would also prevent a good flow into the pump compared to a downward flow into the pump. Note that due to the eccentric behaviour the paste should enter on two sides of the rotor.

8.3 Improvements - insert

The insert of the pump is longer and closer to a horizontal position than originally intended. A shorter horizontal insert close(r) to the inlet chamber was not possible, due to the amount of space needed to place a flange including an O-ring seal and keep space to allow the nuts and bolts to be tightened. An angled insert was chosen to let gravity aid in the process of letting the paste flow and compensate for the longer insert. The end of the shaft is in a vertical position and given an extra rim to support heavy pastes inside (large) external reservoirs or forces created by an attached hose following the movements of the printhead.

The length of the insert is determined by the space needed for the flange and its bolts and to prevent the reservoir being mounted too close to the engine above it. The placement of the shaft ends as close to the bottom of the inlet chamber as possible to decrease the dead volume from the amount of material in the system allowing the printing of material with only small volumes available (25-50 ml) though larger volumes will ensure better flow rates (less/no air pockets in the pumping system). Even though the insert has a bend near the flange for the material-reservoir, the internal sides are still easily reached from the outlet side of the insert for cleaning (from the bottom of the inlet chamber).

Chapter 9 Nozzle design

For the nozzle, only minor design modifications have been applied: For all nuts, an insert is created to allow the unbolting of the nozzle to require only a cross-head screw driver. Furthermore the dead area is minimized to the sectional area of the stator and the channel at the tip side of the nozzle. The (not tapered) last part of the channel seen at the tip of the nozzle is not in the actual design to be printed: If the channel as seen in figure 9-2 is printed, the tip is either weaker or duller creating the ‘looping’ of some materials as was shown with the first experiments. The ‘sharp’ nozzle point is thus created with a small drill (e.g. 1,3 mm) and can be changed to the desired diameter for the material used.

As there is no more a pumping rotor in these parts the material inside the nozzle counts as dead-volume, but also functions as a pressure buffer for a more constant flow. The characteristic of the Moineau pump is very constant but air-pockets and alternating pressure of the material at the inlet, both created by factors such as, the weight of the supplied printing material and viscosity of the printing material in relation to the set flow rate of the printhead.

The length of the nozzle is given in combination with the other parts of the printhead to create a protrusion of at least 65 mm from top-surface of the x/y carriage and is used to reach this height even for larger nozzle diameters (shortening the actual nozzle).



Figure 9-1: Translucent nozzle

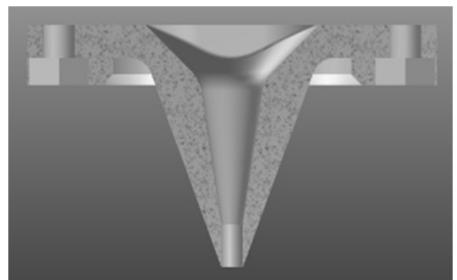


Figure 9-2: Nozzle, sectional view

Chapter 10 Mounting design

For the mounting of the printhead, the modular build demands, to allow the mounting of the printhead on different printers. A lot of the original connections of the standard printheads were not possible: Every printer has its own carriage mounting: some sideways, some on top and all of these restrict the printhead geometry in different places. A direct fitting of the printhead, (especially with a side mounted inlet (due to the motor being on top)), a direct fitting of the printhead to different, both vertical and horizontal carriages, was not possible and is a major disadvantage if a carriage is changed by(community) updates (as is the case with e.g. the RepRap Prusa/Mendel). The use of an Adapter between the carriage and the printhead allows for a wider use of printers and allow for mounting on future carriages where these advantages are slim, when a direct connection is used (though the part where the 'direct' mounting is applicable to, is modular itself).

For the adapter, two concepts were worked out, for they allowed fitting on the RepRap Darwin. The concept of the adapter itself (orange in Table 9-1), ensures the fitting on other printers but does require a new concept design of the adapter to use the adapter connection points on the printhead for the new adapter to allow a different printer mounting.

9.1 Concepts connecting the printhead to an universal mount

Concepts	Screw / thread	Triangular-support	
Amount of support	1x 360°	2x 90°	3x 120°
Connection types (can be combined)			

Table 9-1 mounting concept table

To ensure that the pump remains upright on the mounting platform, a connection is needed to fasten the pump to the mounting base. Note that the mounting base varies to the printer used, hence requiring the connection to the pump to be modular. A tight fit (of printed parts) is a possible solution but also allows vertical movement and has a poor support of moment and inertia. Only fastened solutions have been chosen for this reason.

The first possible solution is to create a thread, to screw the printhead into its place on the mounting base. The first problem with the threading is identical to those of the coupling: the layer thickness of 0,245 mm, gives a jagged thread preventing a smooth working. Second, as the thread relies on printed paths, a delamination of the thread can occur theoretically if the pump is fastened to much.

The second solution at hand is the use of triangular supports (in the case of a bottom-mounting surface). These supports create a broader support area on the mounting base and divide the moment and inertia created by the weight of the pump and movements of the printhead.

For the triangular scaffolds 1, 2, 3, 4 (or more) supports can be used. The chosen solution is 3 scaffolds due to the amount of mounting points, place left on the mounting base, orientation of other parts of the pump (material insert), but also because any 3 legged object will always prove stable.

The triangular supports can be attached in many more than these 3 solutions. Many of the alternatives use geometrical locks (such as seen in the middle-right image of connecting solutions). This solution has been discarded as it will require additional distance to the pump itself (to allow hooks, etcetera to be placed) and won't allow pre-tightening to create a firm connection to the mounting base.

Conclusion:

A screw/bolted connection (the black line, Table 9-1) is the best solution listed to create a stiff connection. The directions of the bolts has been chosen to fit accordingly to the middle-left connecting solution, to give easy access to the screw driver, reduce material needed on the inlet chamber to house the nuts for tightening and allow the mounting base to be as easy as possible, containing just a rim with holes.

Chapter 10 Bolt orientation

In order to keep all bolts accessible at all times and to ensure the bolts can be unbolted quickly, time is spent to orientate all bolts to be quickly accessible without the need of disassembling other parts.

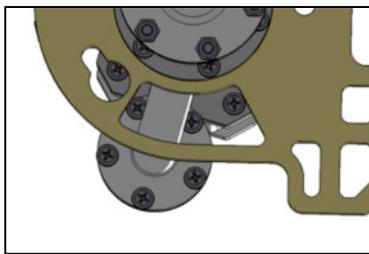


Figure 10-1: Mounting base
bottom view

For some bolts the screw driver needs to be tilted but always as little as possible by design. Holes in the mounting base for example give access to the bolts of the insert-piping and the nozzle.

For orientation of the bolts on the nozzle is chosen to place the nuts on the side of the nozzle:

Nozzle's will, similar to the paste reservoir, be switched more often for different materials or hole-diameter. To prevent wear and tear on large static parts (like the stator of the pump) and if any nuts gain too much space after several cycles of tightening; only a small part will be needed to replace by choosing the placement of the nut cut-outs to be on small parts. In the case of the paste reservoir, to enable a wider barrel for the reservoir (leaving no room for the nuts on the flange), a nut locking geometry will be realized as well. The geometry to lock the bolts is thus altered that both a screw-head will fit as well, that a nut will be held in place.

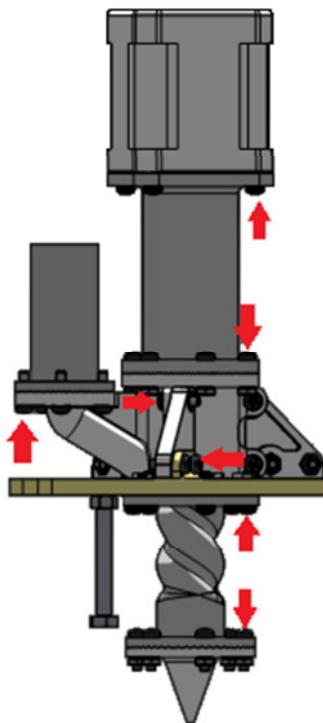


Figure 10-2: Bolted connections orientation



Figure 10-3: Locked nut - detail view

More time is saved by allowing all nuts to be ‘locked’, eliminating the need of double tools and ease the unscrewing of bolts when needed. An additional advantage is that with sinking the nuts into the surfaces, more space is generated in places where multiple bolts are close together. For example: in the top corner of the triangular supports near the upper flange of the middle chamber the bolts and nuts are close together.

Chapter 11 Strength, weight and cost reduction

In contradiction to subtractive fabrication techniques such as milling, turning and others, where a part is fabricated from a cast-shape or standard geometry, additive manufacturing saves cost and time with eliminating the need to remove material where it is not wanted and needed, but instead adding it where it is needed. The reduction of weight and material volume is directly a saving on cost and production time. To this purpose many parts of the pump have been designed thus, that no more material is placed as deemed necessary for functionality and strength. Parts of particular interest are the scaffolds and mounting base.

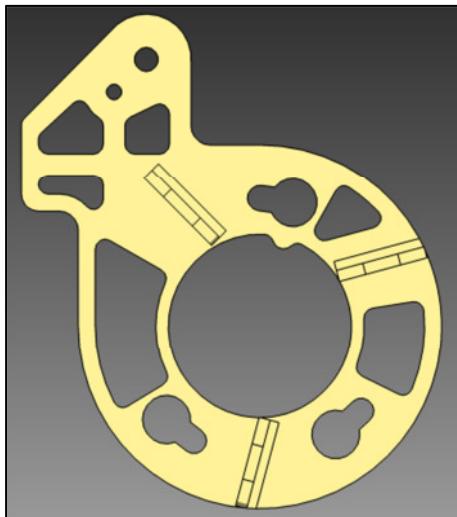


Figure 11-1: Mounting base top view

11.1 The mounting base

For the mounting base two options were possible: to trim around the holes, diminishing the amount of material towards the outer boundary of the mounting base, or to keep the outer ring intact and insert holes where no material needs to be applied for function or structural strength.

The latter option is chosen, due to the higher stiffness available and the larger outside diameter. Aside from the greater resemblance to the original part (which is no benefit from an engineering point-of-view) the outer rim also gives additional support (though minimal) against tilt and gives an estimated higher reduction of material than trimming would have enabled.

11.2 The scaffolds

For the material reduction of the scaffolds, extra demands to its geometry were posed by the required functionalities:

To connect the pump, including paste reservoir to the mounting base, to keep stable and carry the pumps weight and momentum (created by the movements of the printhead) as well as keeping a rigid connection. Furthermore, it needs to allow the nuts and bolts to be unfastened quickly and effective while also enabling multiple bolts and nuts to be placed close together.

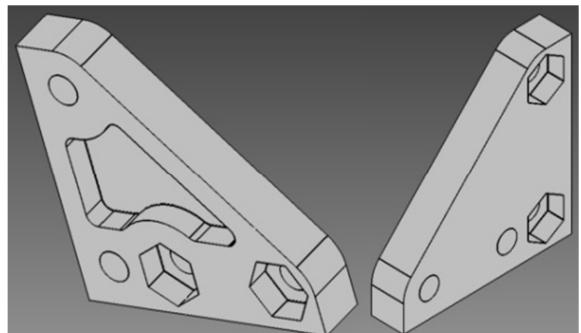


Figure 11-2: Scaffolds

Chapter 12 Overall design

Aside from all the separate modules also the print head as its whole has to meet specifications in order to work properly and ensure the printhead as an ensembled piece offers the best properties possible within the limitations.

12.1 Length

A few of the improvements to the overall design did not come from the separate parts but were formed by the entire pump. The first demand on length which was taken into account is vertical distance between the mounting base of the Darwin and the z-axis homing switch: the nozzle of any printhead for the Darwin needs to protrude at least 65 mm past the top-surface of the x/y axis mounting base carrier (i.e. the bottom side of the mounting base) in order to be able to ‘touch’ the building platform. The second demand in length is based on the gravity point and accelerations executed by the x-y axis carrier of the printer: with a higher gravity point the momentum on the scaffolds and printhead in general will increase. also the stability and forces executed on the scaffolds will be beneficial if the engine is placed lower and the length above the carrier is as short as possible. Material costs are a beneficial side effect to minimizing the height.

12.2 Airtight & Pressure resistance

The pump on itself is designed to be air-tight. A notification must be placed that depending on the printing quality and settings, the printed parts may or will find problems with containing the pressure due to the properties of printed parts. During the chocolate printing research, water leaked through ‘solid’ walls of 3mm thick and so did pressurized air, used to clean the printhead. The problem is solved by using a polyurethane resin to ‘coat’ the walls of the printhead on the outer surface to prevent the air and water from escaping. Another solution if these problems are found could be making double walled printhead components which are then filled with the resin to contain the inner and outside geometry precisely. The function of the O-ring will remain identical in this situation.

Chapter 13 Discussion

As in any design, also for the redesign of the Moineau printhead compromises have been made. Some of the demands aided each other (modular build & cleaning) while others conflicted (accessibility, air pressure, printable & reliable/durable).

The flanges are a good example of a compromise:

the bolting and nuts require time to dissemble but are one of the few solutions which are bothprintable, durable and reliable. A threaded or Geka type coupling would be both faster and does not require nuts and bolts which require tools to attach. The disadvantage of the bolted flanges is clearly shown at the material inlet:

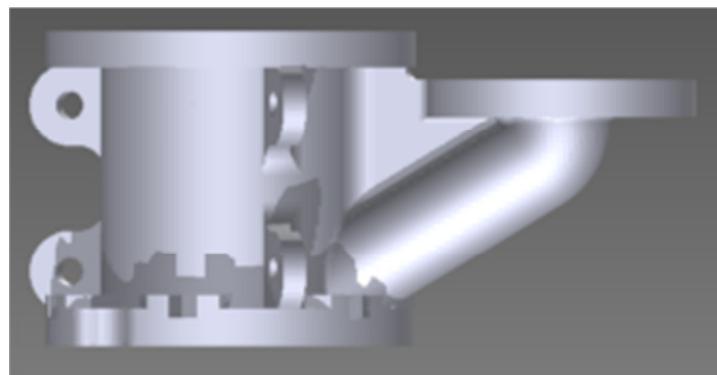


Figure 13-1: Inlet chamber and insert

The insert flange is both long and has an angle and corner in the shaft, all these properties are not wished for the inlet as it creates a ‘dead space’ between the inlet chamber and the reservoir. Due to the flange the design was obligated: the flange requires bolts to be mounted from below requiring a tool to reach the bolts from the flange. If the insert would not have a corner (creating a straight shaft) the inlet chamber itself would prevent access for tools to screw the bolts into the material reservoir (when attached). The distance is needed to create the required space for the flange to be located at the side of the inlet chamber. The ideal situation of a bolted flange placed against the inlet chamber (vertical mounting) giving a near zero dead space is not possible due to tool access but would have been possible with the Geka coupling or threading while still meeting all other demands.

Chapter 14 Recommendations:

For the proper functioning of the designed printhead with low viscosity fluids (e.g. water) and pressurized air, either a different printing material or surface/material treatment is required. The printed ABS of the Dimension sst 1200es is semi-permeable up to (at least) a wall thickness of 4 mm. further thickening the walls would greatly increase the costs, leaving surface treatment or other material as both the most cost effective, weight reduction, solution to meet the demands.

Furthermore a wide variety of pastes can be tested for 3D printing using the designed printhead, such as renewable/re-usable plastic (becomes a paste after being submersed in hot water becomes mouldable, and hardens out in a volume related amount of time. The printed plastic can, be heated again in hot water for new printing applications. (e.g. InstaMorph™)

If the pump would be manufactured with subtractive technologies or other materials, I would strongly suggest to exchange the flanges, for a threaded- or Geka solution and to re-design the chamber as described in Chapter 13. Also the nozzle would benefit from a threaded- or Geka-coupling design. The O-ring isolation will remain the same so a slight re-design will be necessary. Using other materials also a common air pressure connection would be advisable for the coupling chamber. The threaded connection is available in any hardware store, making a threaded hole the best solution (this way also a plug can be screwed in when no air pressure is needed or wanted).

The properties of FDM parts should be researched, as no information based on strength (maximum shear, stress, strain, pressure) is known in relation to layer orientation, printer settings (sparse, low-, high density, solid) and length or sectional area is known or readily available. Other material properties such as permeability (found during the experiments) are unknown to our research group and provide knowledge for possible applications (built-in filters) as preventing (unknown material) problems, when being researched.

Chapter 15 Conclusion

The new printhead delivers many more functionality than the previous printhead which was designed with printing chocolate as its main feature. Also the cleaning will be easier to perform and allow for a more thorough cleaning or not needed at all (: The coupling is not submerged in the printing material).

Chapter 16 Literature

[1] Chocolate Extruder by Ttsalo - Thingiverse. 2012. *Chocolate Extruder by Ttsalo - Thingiverse*.

[ONLINE] Available at: <http://www.thingiverse.com/thing:18017>. [Accessed 23 May 2012].

[2] groneman . 2012. *kogelkoppelingen en kruiskoppelingen*. [ONLINE] Available at:

http://www.groneman.nl/aandrijftechniek/cardanassen/also_koppelingen. [Accessed 12 May 2012].

[3] John Oldham (1779-1840) - Machines and Mechanisms. 2012. *John Oldham (1779-1840) - Machines and Mechanisms*. [ONLINE] Available at:

[http://kmmoddl.org/machinesandmechanisms/index.php/John_Oldham_\(1779-1840\)](http://kmmoddl.org/machinesandmechanisms/index.php/John_Oldham_(1779-1840)). [Accessed 23 May 2012].

[4] Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects. 2012. *Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects*. [ONLINE] Available at: <http://www.thingiverse.com>. [Accessed 16 May 2012].

[5] Toolstation. 2012. *Toolstation*. [ONLINE] Available at: <http://www.toolstation.com>. [Accessed 23 May 2012].

[6] Matek, W., Muhs, D. , Wittel, H. , Becker, M., Janasch, D.. (2000). 13.3.2, Beweegbare koppelingen. In: Broekhuijsen, J.a, Hoejenbos, R. ir. Ter Hoeven, D.J. and Trentelman, J.G. *ROLOFF / MATEK MACHINEONDERDELEN*. 3rd ed. Schoonhoven: Academic Service. p394-404., ISBN 90-395-142204

[N.a.] Not Applicable: Self-made photo's, images and figures.

Chapter 17 Abbreviations

N.a. Not applicable: i.e. does not apply

i.e. Id Est: in other words

e.g. Exempli Gratia, for example

Attachment D

An introduction to strain gauges a literature research

J.S. Beerthuizen

5/30/2012

This document contains information about strain gauges on both theoretical as practical level to understand their function, behaviour, design and usage, and covers commercial strain gauges aswell as laboratory and experimental strain gauges.

I Préface

This report is intended for readers with a technical background to gain additional information on strain gauges and the necessary information in order to understand their design, function, and behaviour in relation to measurements made on the specimen. This report provides instruction on material properties, electronics, strain gauges in general and the measurement of strain gauges. For general information and interest a short history of the strain gauge and its dependent parts is sometimes provided to give a better overall view of the developments made in the technology of strain gauges.

For readers of either a mechanical or electrical background, some of this work may include some repetition of previous knowledge, but will give a highlight to the required theoretical knowledge to understand the other paragraphs and the strain gauges in general.

Furthermore I would like to thank Frederik Vogeler for his feedback and Wesley Verheecke for providing me several sources and references about printing electronics with high- and low-end 3D printers which gave provided additional information and new leads to search for further literature.

Published: 30 may 2012, Lessius *Campus De Nayer*, Sint-Katelijne-Waver, Belgium

II Disclaimer

Many of the sources have been used for information or citations which is indicated as [reference number, #] below or behind the text for which the source is used, supplementary information on the subjects within this report can always be found using the appropriate terms (similar to those used within this document). Due to the fact that there are many unnamed sources available on the internet and to prevent an overload of references, a concise selection has been made based on –

- global information
- up to date technology (i.e. innovations published most recently)
- specific subjects
- and, verification, support or extension of information extracted from earlier found sources.

No further research is has been done if the information to answer the main, and research questions/criteria, derived from the above, have been answered/addressed or confirmed by additional references. If, from further research and experimentation results are documented, which can not be answered by theory, additional sources not included in this literature should be found and used. All sources are available on request, by contacting the writer via e-mail on jeroenbeerthuizen@gmail.com.

III Table of contents

I Préface.....	1
II Disclaimer	2
III Table of contents.....	3
V Introduction	5
V.I Method	5
V.II Reading directions	5
1. Strain gauges	6
1.1 History	6
1.2 Applications.....	7
1.2-d Torsion fracture test [11] 1.2-e Strain measurements[17].....	7
1.3 Grid design	8
1.3.1 Linear strain gauges.....	9
1.3.2 Double strain gauges	9
1.3.3 T-rosettes.....	9
1.3.4 Herring-bone Strain gauges.....	9
1.3.5 Rosettes with three measuring grids.....	9
1.3.6 Full bridge strain gauges	9
1.3.7 Membrane rosettes.....	9
1.3.8 Chain strain gauges.....	10
1.3.9 Columnar strain gauges	10
1.3.10 Optical strain gauges	10
1.3.11 Custom design	10
1.4 Resistor materials	11
1.4.1 Constantan.....	11
1.4.2 Silver	11
1.4.3 Semi-conductor	12
1.4.4 Carbon nanotubes	12
1.5 Carrier.....	12
1.6 Adhesives	12
1.7 Carrier materials	13
1.8 Creep	14

1.9	Manufacturing of strain gauges	15
1.9.1	Innovative methods	15
2.	Wheatstone bridge	16
2.1	History	16
2.2	Working principle of Wheatstone Bridges	17
2.3	Measuring using a Wheatstone bridge	17
2.3.1	Measurements during tension of a strain gauge	18
2.3.2	To determine the resistance of the strain gauge	18
2.3.3	Types of Wheatstone bridges	19
2.3.4	Calibrations	20
2.4	Measuring Principals	21
2.4.1	Resistance	21
2.4.2	Gauge Factor K	21
2.4.3	Reliability	22
3.	Material properties	23
3.1	Composition	23
3.2	Young's Modulus	23
3.3	Poison Ratio	24
3.4	Shear Modulus	24
3.5	Electrical Conductivity	25
3.6	Material behavior	26
3.6.1	Fatigue	26
3.6.2	Temperature	26
3.6.3	Creep	27
4.	Glossary	28
4.1	Abbreviations	30
4.2	Symbol list	30
5.	References:	31
	Papers & Books:	31
	Online papers & websites:	31
	Attachment A – PDS	33
	Attachment B – Calculation example: Wheatstone bridge	35

V Introduction

This report has been compiled, in order to summarise the preliminary information. A literature research was required during the research undertaken on strain gauges to gain the knowledge required to understand, use, develop and design ‘3D-printed’ strain gauges. All theoretic information about strain gauges, material behaviour, measuring, practical applications, innovations and research regarding 3D printing and strain gauges (sometimes combined) is collated in this document. Thereby providing a theoretical foundation for my practical research on ‘printing strain gauges using additive manufacturing’.

V.I Method

Literature research commenced in the library of ‘Campus de Nayer’ which is a technical institute giving both academic and professional education consequently providing many technical books on engineering and associated subjects. For web research I used the digital library system searching in both the local language as well as English, German and French on both direct terms such as strain gauge, strain gage, Wheatstone bridge, as synonyms and descriptions as well as related subjects where such devices can be used (e.g. measuring, torque, tensile stress).

For the second part (printing using additive manufacturing), search terms such as Additive Manufacturing, RepRap, Fab@Home, Inkjet and 3D printing have been used over several global search machines: google.com/scholar, google.com, Yahoo.com, Bing.com, duckduckgo.com. Also scientific websites have been accessed to search for topic related articles (sciencedirect.com (i.e. Elsevier), giving the most results). Using several search machines, delivered significantly more hits and relevant sources than only one search machine would have given me, for not all hits were trustworthy or of an acceptable quality.

V.II Reading directions

In Chapter 1, strain gauges will be explained based on their historical background and usage. Also extended information about the design, measurements including possible problems and the production methods, will be treated in this chapter. In Chapter 2 the Wheatstone bridge is explained again based providing a historical background, its usage, working principle, selecting the right bridge and finally their function for measuring strain gauges. In Chapter 3, material properties are described in order to give the reader the minimum amount of theory on stress, strain, creep, temperature and other material effects which need to be taken into account when measuring with strain gauges. In Chapter 4 subject specific terms are explained, if not done within the text itself. The full meaning of used abbreviations is also explained.

1. Strain gauges

A strain gauge (also called strain gage), is an electronic component with which the strain (e.g. the amount of deformation) of a material can be measured. This strain gauge is made from a deformable insulating base/carrier and a conductive material (usually Constantan). The most common type of strain gauges have a deformable insulating backing with a metallic foil pattern on top. For usage, the strain gauge is mounted on the object of which the deformation is to be measured. By the deformation of the object, the foil or conductive material is deformed, causing its electrical resistance to change, usually measured using a Wheatstone bridge. The change of resistance is related to the strain by the quantity known as the gauge factor (K). Typical strain gauge resistances⁴ range from $30\ \Omega$ to $3k\Omega$. [1]

A standard strain gauge measures deformation in 1 direction. If measurements in multiple directions are demanded, a rosette-orientation¹⁴ of 3 standard strain gauges or a special strain gauge will be needed. Likewise there are special strain gauges available for almost any type and expected deformation (combination) imaginable which all vary in size and design. A further distinction in the strain gauges is made for the behavior and type of the material to be measured as well as the surrounding environment and climate.

Strain gauges can differ in the following properties:

- Design amount and position of measuring grids⁵
 - Series layout of the strain gauge, containing a carrier foil or a measuring grid foil
 - Connection amount and position of electrical connections
 - Temperature response material for which the strain gauge is adapted
 - Active measuring grid length in mm
 - Electrical resistance resistance R given in Ohm (Ω)

1.1 History

A practical method for the experimental determination of material stresses is based on a discovery made in 1678 by the English scientist Robert Hooke (1635 – 1703). He found a causal relationship between material stress and resulting deformation. This deformation, called “strain”, also occurs on the surface of objects and is therefore accessible for measurement [4].

In 1856, Lord Kelvin researched the changing of the electronic resistance of a wire under the influence of a mechanical load (stress). The inventors Edward E. Simmons and Arthur Claude Ruge, had an idea in 1939 to attach a thin metal wire on a paper ‘carrier’. With this measuring instrument they determined surface-deformations. The elongation of the deformed surface was transferred to the paper by glue. The linear resistance changes were measured electronically. Further enhanced research has led to the choice of wire, paper and glue to ultimately gain trustworthy measurement elements for specific purposes [6]. Both their work used the effect which Charles Wheatstone had mentioned in 1843, in his first publication on the bridge circuit that he had invented. This effect is the change of resistance in an electrical conductor due to the effects of mechanical stress. Simmons and Ruge, were followed up by Thomson (‘Thomson effect’) and Paul Eisler (see also: [4]) and the strain gauge is still undergoing an evolution in many directions, one of them being additive manufacturing. [16]

1.2 Applications

Strain gauges are used for stress-analytical applications, sensor and construction-technical applications, it is clear that strain gauges can offer a great service (image 1.2-a ... -e). The strength of constructions will be calculated, but these calculations are always based on assumptions and simplifications of complex dependencies, formulae and models. Hence it is often necessary to validate the calculations, to prove the calculations are a good and (/or) acceptable approximation of the calculations made. For validating such mechanical calculations strain gauges are often used. [8]

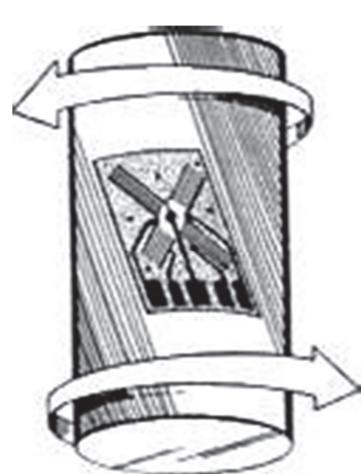
Note: In some cases strain gauges are used as temperature sensors (TT series), using the ‘disadvantage’ instead, for measuring the change of temperature (without being subjected to stress/strain). [15]



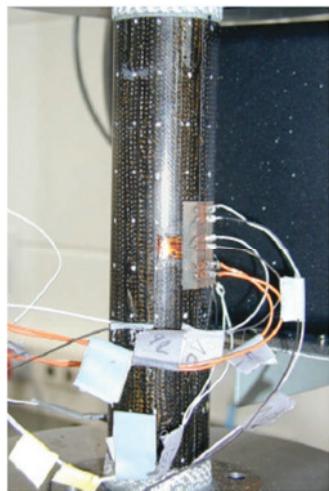
1.2-a Load cell cutaway [1]



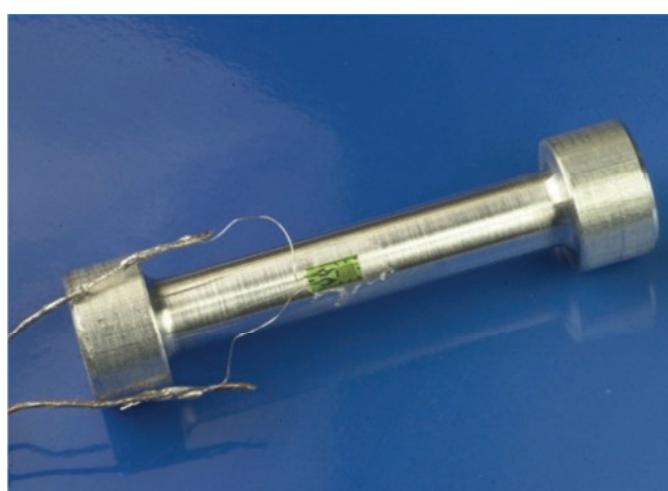
1.2-b Stress/tension on concrete (buildings) [11]



1.2-c Torque measurements [13]



1.2-d Torsion fracture test [11]



1.2-e Strain measurements[17]

1.3 Grid design

One of the first design criteria of a strain gauge is the grid⁵ design: the layout of the wire/foil pattern which will change its resistance due to stress or shear and transverse resistivity¹⁷. The actual application is the key to the decision which grid, pattern or array of grids will be needed: [8]

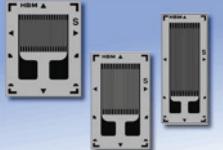
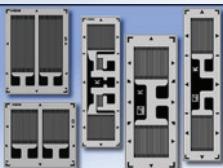
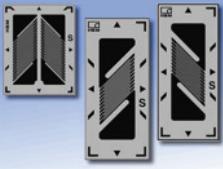
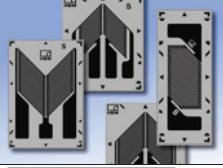
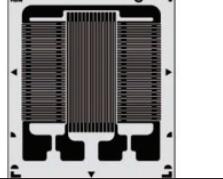
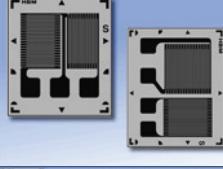
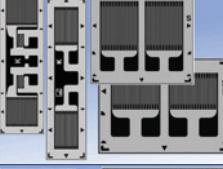
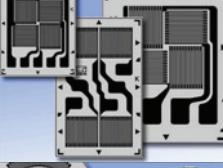
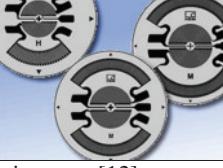
Linear strain gages		Linear strain gages
Double linear strain gages		Double linear strain gages
Single shear strain gages		Single shear strain gages (herringbone pattern)
Double shear strain gages		Double shear strain gages (herringbone patterns)
Columnar strain gages		Columnar strain gages
T-rosettes		T-rosettes
Half bridge strain gages		Half bridge strain gages
Full bridge strain gages		Full bridge strain gages
Membrane rosettes		Membrane rosettes

Table 1.3-1: General types of strain gages [12]

1.3.1 Linear strain gauges

A linear strain gauge, measures strain in the direction in which the grid has been aligned. A typical application for a linear strain gauge is the determination of the Young's modulus: E (see also 3.2) for strain and stress specimen. The Young's modulus, can easily be calculated with the measured linear strain in the (aligned) main direction and the calculated mechanical tension σ , using the law of Hooke.

1.3.2 Double strain gauges

Double strain gauges are used when two measuring grids in the same direction are needed. For example: if the bending in a bar needs to be measured on stress or to compensate for push- and pull-tensions and thermal expansion. Generally four active strain gauges are used in a Wheatstone bridge. A similar higher output signal, compared to quarter- or half bridges, is an additional advantage for this type of measuring grid (see also chapter 2.2).

1.3.3 T-rosettes

T-rosettes¹⁴ usually have two or three measuring grids on 1 carrier rotated 90° (2 grids) in relation to each other. In the experimental stress-analysis T-rosettes are used to determine a bi-axial state of tension with a known main direction. This type of strain gauge is also used in the construction of cylindrical tensile/pressure force-absorbers. T-rosettes are further used to determine the Young's Modulus and the Poisson ratio-v (See also 3.3 Poissons ratio). By the tension on a component or specimen, the first grid measures the positive axial strain ε_z , and the other measures the lateral⁹ strain ε_y : $v = \varepsilon_y / \varepsilon_z$.

1.3.4 Herring-bone Strain gauges

Herring-bone strain gauges have a double grid (as in 1.3.3, rotated 90° to each other) but these grids are rotated 45° on the carrier, creating a herring-bone style pattern. A typical application of herring-bone strain gauges is the measurement of torque or the manufacturing of absorbers based on the principle of shear¹⁵.

1.3.5 Rosettes with three measuring grids

Rosettes with three measuring grids are available in two basic designs, assigned with the angles on which the measuring grids are placed on the carrier. The two types are: 0°/45°/90° and 0°/60°/120° rosettes. The angles always correspond to the direction of the three measuring grids, independent of the further structure or grid on the carrier. These rosettes are used for the determination of bi-axial stress with an unknown main-direction and amount of stress.

1.3.6 Full bridge strain gauges

The four measuring grids of a full-bridge strain gauge are already connected and orientated in a full Wheatstone bridge on the carrier. These strain gauges are used for countless applications, e.g. shear-tensions and torque measurements for axels.

1.3.7 Membrane rosettes

Membrane rosettes are used almost exclusively for the production of pressure absorbers. At the construction of the membrane (or membrane rosette) it should be taken into account that the four measuring grids, must be placed precisely on the places where (positive or negative) deformation of the membrane occurs. In the Wheatstone bridge positive and negative strains of equal size are added to each other.

1.3.8 Chain strain gauges

Chain strain gauges combine a series of identical measuring grids with equal spacing on one carrier. Typical designs of chain-strain gauges are:

- Measuring grids in the same direction of the chain strain gauge carrier
- Measuring grids lateral¹⁰ to the direction of the chain strain gauge
- Measuring grids alternating in the same direction and lateral to the direction of the chain strain gauge
- A chain of rosettes (for example five rosettes with a 0°/60°/120° design)

Chain strain gauges are used to determine the stress- or (derived) strain curve of a specific section, or to determine the shifting of peak loads, which are caused by forces exerted by a moving part

1.3.9 Columnar strain gauges

Columnar strain gauges show several similarities to the T-rosette strain gauges having two grids which are orientated in a 90° angle. Without an implementation of a bridge (otherwise an extra measuring points between the two similar grids would have been added (see table 1.4-1). They are primarily used by transducer manufacturers but are not further specified on a large suppliers websites. [8]

1.3.10 Optical strain gauges

An optical strain gage is made from glass fibres with a very small core diameter of (in the case of the K-OL type) no more than 5 µm. The fibre core is surrounded by a cladded layer from purified glass with a 125 micrometre diameter. The optical effect that is used for strain measurement is because of the distance of the reflection points and therefore the wavelength of the reflected light being changed by the induced strain.

Optical strain gauges (based on Bragg grating¹) have several advantages:

- Insensitive to electromagnetic fields
- Can potentially be used in highly explosive atmospheres
- Suffer no mechanical failure of sensor material (glass) under high vibration loads
- Reduced numbers of connection lines and hence less impact on test objectives
- Low interconnection needs as numerous sensors with different Bragg wavelengths can be included in one fibre
- 10 million load cycles at ±3.000 µm/m alternating strain [12]

1.3.11 Custom design

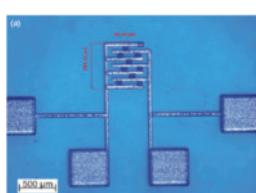


Figure 1.3-1 [21]

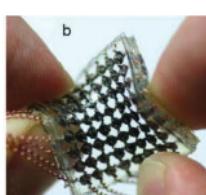


Figure 1.3-2 [14]

Aside from the types of strain gauges listed above, there is a market as well for custom designed strain gauges which are application specific. These will be related to combinations of forces to be measured on a single carrier or otherwise to attain a non-standard value of the 6 properties set out at the introduction of this chapter (see Chapter 1. Strain gauges).

A more common grid design not seen in commercial strain gauges, is used in micro-engineered parts and biomedical engineering (figure 1.3-1). Even radical designs can be found in university papers (figure 1.3-2), which contribute to the wide variety of strain gauge design available. For 3D printed strain gauges, e.g. multi-layered strain gauges are easily created combining a long active grid length on a small surface, using volume and height instead.

1.4 Resistor materials

For the working principle of the strain gauge, a resistor material is required for the output of an alternating resistance. In the early days of the strain gauge a wire wrapped around paper was used, which was later replaced by a flat pattern with copper alloys and other materials such as semiconductors and carbon nanotubes on a polymer or other carrier.

	Cu ^{13,14,15}	Constantan ^{14,16,17,18} CuNi	Nichrome ^{14,17,19,20} NiCr	Manganin ^{14,17,21} Cu/Mn/NI
Resistivity, Ωm	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
Young's modulus, Pa	$1,2 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{11}$
Tensile strength, Pa	$3 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$
Yield strength, Pa	$7 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^8$
Gauge factor	2,3	2,1	2,2	0,6
TCR, K^{-1}	4041	-74	170	10

Table 1.4-1 Resistor material properties [6]

The difference in resistivity¹³ between copper and Ni-chrome is very large. Temperature dependence for copper is in the typical range of elements which is much higher than the alloys. This makes it unusable for many applications unless it is compensated for. All the numbers are approximations and depend on the exact composition and the used fabrication method.

The resistance changes with strain, because of a geometrical factor and a piezoresistive^{XXXpiezo} effect. Metals are generally not piezoresistive whereas semiconductors are dominated by this effect, in this last case the resistivity ρ is non-constant. The gauge factor is slightly above 2 [K] for most metals but it can be 100-200 [K] for semiconductors. Table 1.4-1 shows relevant properties of copper and a few high resistivity alloys commonly used in strain gauges due to their low temperature coefficient of resistance (TCR). [5][6]

1.4.1 Constantan

One of the materials used for most commercially available (foil) strain gauges is Constantan. This is an alloy of 54% Copper, 45% Nickel, and 1% Manganese. The material is popular due to good variations in resistance during tensile stress and its constant resistance value even at high temperatures. Except for strain gauges, it is used for calibration-resistors, measurement devices, thermocouples and nearly everywhere where a resistance needs to stay at a set value.

1.4.2 Silver

Silver is also used for (especially experimental) strain gauges, because it is easier to produce objects with silver. It has a high gauge factor and scales proportionally¹¹ to the stress on the strain gauge. Silver also has some downsides: it only allows measurements at small amounts of strain, has a short life-time and greater influence by changes in temperature.

1.4.3 Semi-conductor

Where common strain gauges have a gauge factor below 10, p-type silicon for example (a semi-conductor) has a gauge factor between 70 and 200 [K]. Likewise N type silicon has a comparable gauge factor around the 100 [K]. Another semiconductor used is Germanium with similar high gauge factors.

Except for these advantages semiconductors have disadvantages related to material impurities, which cause inaccuracies in measurement devices. Also various bonding agents and their curing can have effects on semi-conductor strain gauges. When used these disadvantages are taken for granted and ruled out where possible for the semi-conductor strain gauges sensitivity, precision and reliability. [19] [20]

1.4.4 Carbon nanotubes

Resistive sensors can be designed in different ways. Another way compared to the strain gauge technology described earlier, is to use a conductive polymer/composite as proposed by F.Y. Chang et al. [22]. This material consists of a polymer mixed with carbon nanotube powder which makes the polymer conductive. As the pressure increases, the polymer is compressed and the carbon nanotube concentration is increased, leading to an increased number of tubes that are interconnected, causing the resistance to decrease. In theory this is very easy to fabricate by mixing and pouring it over copper electrodes. Although the design and fabrication of conductive polymer-based pressure sensors can be simple, the drawback is that the output signal can sometimes be unstable, especially at low concentrations of carbon powder. Health issues using carbon nanotubes have also been reported. Another way to design resistive sensors is to create cantilevers with piezo resistors that are covered with PDMS. If four cantilevers are used in a cross configuration for each sensing pixel, both normal and shear force can be measured. [5]

1.5 Carrier

For all commercially available strain gauges, a carrier is used on which the measuring grid is placed. This carrier is often flexible and is used as a placeholder for the grid to be placed with adhesives to the specimen to be measured. Meanwhile the carrier is also used for the protection of the grid against its environment and to prevent wear and tear and measuring errors due to the elements i.e.: the weather, physical- and chemical damage, corrosion and dust.

1.6 Adhesives

The adhesives or bonding agents, are not further documented in this report as no adhesive is required for the experiments and overall research for additive manufacturing, for the grid can be printed on the specimen or carrier itself. Adhesives are different for each type of strain gauge, specimen material and environment and should be chosen according to your application.

1.7 Carrier materials

Due to the difference in demands for the carrier and strain gauge (see Chapter 1.6), there are several commercial standard carriers as listed below in table 1.7-1

Name	Adhesive bonding	Moist sensitivity	Maximum temperature C° static / dynamic	notifications
Paper	good	sensitive	70 / 90	Japanese: silk
Paper drenched in Akril-resin	good	insensitive	80 / 100	IMPA from Hotinger
Epoxy resin	difficult	insensitive	120 / 200	
Polyester	good	insensitive	110 / 150	
Fenolresin with glasfibre	difficult	insensitive	250 / 320	
Ceramic material with glassfibre	none: glue required	moisture absorbing	320 / 700?	very delicate
Teflon with glassfibre	metalizing	insensitive	650? / 800?	very delicate

Table 1.7-1 carrier materials [3]

In this document and in the final report, a carrier material is not further specified: the carrier material is not determined by any of the factors above but by the materials available for the printer and their bonding with the conductive pastes.

Common printing materials for 3D printers (often polymers) can be very diverse, ranging from ABS and PLA to Polycarbonate, Polyamide. Other available carrier materials are available when paste extruders (a syringe extruder being the most common printhead) are used. Examples for such pastes are Silicone (kit), Clay, Chocolate and resins (e.g. Tusk, Pur MC5, UV-resings, etc..).

1.8 Creep



Figure 1.8-1 Grid dimensions

(See also 3.6.3 Creep²) For a proper design of reliable strain gauges, the corners in the grid can be modified to minimize the creep error. This is achieved by making the extra filling (k) (see Figure 1.8-1) of different lengths and is, for factory defaults, given the letters A-W (where the K-series is known most) [7]. If no 'h' is determined the reliability against creep is defined as A: where $k = B$. (see table 1.8-1).

A:	$k = 1 B$	I:	$k = 5 B$
C:	$k = 2 B$	K:	$k = 6 B$
E:	$k = 3 B$	-	$- = -$
G	$k = 4 B$	W:	$k = 12 B$

Table 1.8-1, K-series overview

The measurement of creep error in a strain gauge should be done after the zero signal stability in the unloaded state is checked. Until this zero signal is sufficiently stable, it would not be possible to carry out the measurement under constant load conditions. Also the option of mechanical hysteresis²⁰ can occur due to the parameters of the installed strain gauge.

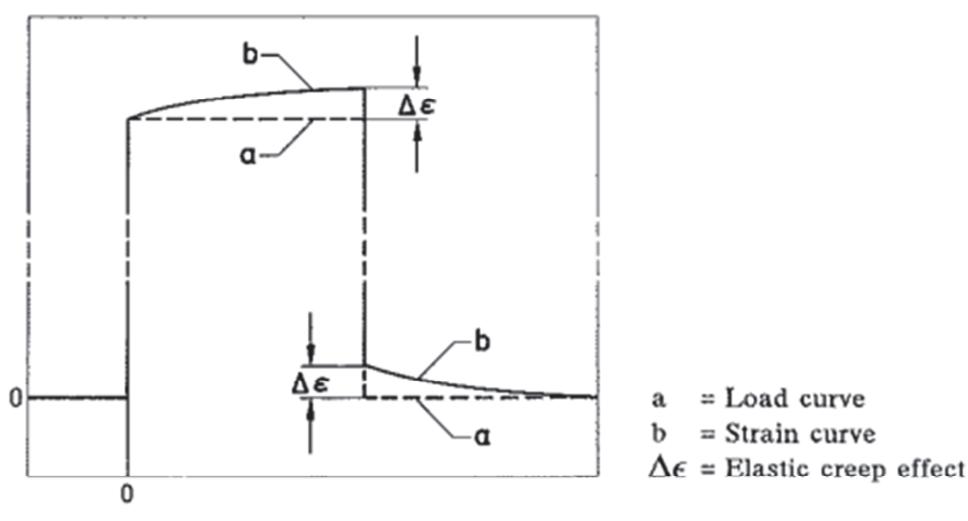


Figure 1.8-2 Curve of strain of a component under constant load and after being completely unloaded. [7]

If a specimen is subjected to a tensile load in the elastic deformation³ area, it will exhibit spontaneous strain by an amount defined by Hooke's Law. When the specimen (metal) adjusts to the load applied (relaxes), this is followed by an additional strain which is time-related and asymptotic. When the specimen is released of the tensile load, it will spring back by the amount of the spontaneous strain under load. Leaving a small residual strain equal to the time related additional strain (figure 1.8-2). This strain will slowly reduce itself until the specimen reverts to its original state, also known as elastic creep.

The spontaneous strain of a material is a measure of load both in the case of stress analysis and when measuring other physical variables involving force effects (force, weight, bending moment, torque, pressure, etc.) The elastic creep generates a time related positive error (in the direction of deformation by the measured variable. [7: 3.2.6.4] [2]

1.9 Manufacturing of strain gauges

Strain gauges are commonly manufactured by etching or masking the circuits. These techniques, also used for printed circuit boards and even chips allow a high grade of detail and quality, in nearly any size of grid imaginable (micrometers or smaller would be possible).

The advantages of these techniques, is that they produce a sheet of thin metal, without almost any imperfections in the material at all and excellent uniformous material properties (i.e. the composition, thickness and density of the material is equal for the entire part).

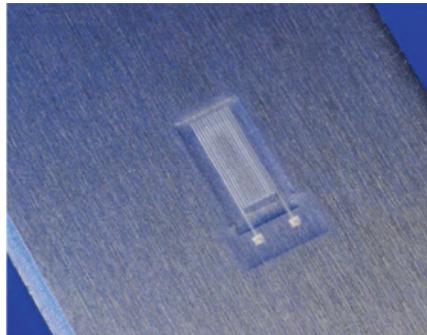
A Disadvantage is that a substrate on which the metalfilm can be placed and later on etched is needed. Furthermore the strain gauge needs to be connected to measurement devices, so an interface is needed for this connection. Requiring soldering, wiring and relative large contact surfaces for the interface connection.

1.9.1 Innovative methods

Similar to etching and masking, an innovative method to create standard strain gauges from metal film is the use of thermal spray and ultrafast laser micromachining. [21]

Due to the size of the connection interfaces and wiring, normal strain gauges can not be adopted easily in biomedical situations or implemented inside a part or assembly. Using 3D printing interconnections of the strain gauge could be made including all circuits and even 3D printed antennas could be integrated providing wireless reading of data.

Working strain gauges have been printed with 3D printing techniques such as aerosol jet printing using silver particles both on flat and 3D surfaces. These have been tested successfully and applied in aircraft and laboratory environments(figure 1.9-1) and have proven reliable. [18][23]



The printing of aerosol strain gauges is documented in detail by [16][22]. The mentioned documents give information on material properties e.g.: the K-factor¹⁸, disambiguation / parabolic and durability. Due to the production similarities between the low-end techniques used in my work and aerosol jet printing, (though it does show differences on major points) the results printed with aerosol jet, will be used as a reference and source of information.

Figuur 1.9-1 Aerosol printed strain gauge on aluminium surface with printed isolation layer and encapsulation [16]

2. Wheatstone bridge

As mentioned previously, the changes in conductivity (resistance) of strain gauges, created by the applied stress are very small. Therefore Wheatstone bridges are used to allow a better and more accurate reading of the resistance. Resistance in strain gauges is often as small as $10^{-4} \Omega$, the Wheatstone bridge, transforms the value of the resistance into voltage (U) giving an output of several volts (V) which is fed to the input of a measuring device (e.g. an analogue-to-digital converter).

For commercial measuring strain gauges, there are many types and designs of Wheatstone bridges which all work on the same principle and basis circuit (figure 2.2-1).

The Wheatstone bridge circuit can be supplied from direct or alternating voltage. For commercially available measuring amplifiers (used to supply the power and readings for the Wheatstone bridge) a constant voltage source is used for supply to the bridge circuit. This voltage varies between 0V and 10V, matching the allowed voltage on commercial strain gauges.

2.1 History

Sir Charles Wheatstone (1802 - 1875), an English scientist, reported in 1843 on a circuit which made the accurate measurement of possible electrical resistances. This circuit has become known as the "Wheatstone bridge circuit".

The Wheatstone bridge can be used in various ways to measure electrical resistances:

- For the determination of the absolute value of a resistance by comparison with a known resistance.
- For the determination of relative changes in resistance.

The latter method is used in strain-gauge techniques. It enables the relative changes of resistance in the strain gauge, which are usually around the order of 10^{-4} to $10^{-2} \Omega/\Omega$ to be measured with greater accuracy. The versatile Wheatstone bridge is especially required in regard to strain gauge techniques.

2.2 Working principle of Wheatstone Bridges

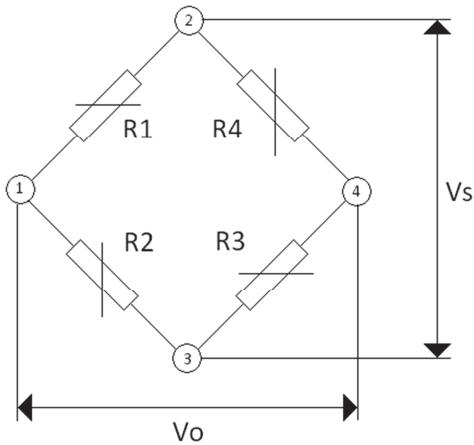


Figure 2.2-1 Representation of a Wheatstone bridge circuit

Figure 2.2-1 shows the electrical circuit of a Wheatstone bridge, also referred to as a Rhombus type. The four leads or arms of the bridge circuit are formed by the resistances R1 to R4. A bridge is created from 2 half bridges 2-1-3 and 2-4-3 where both are supplied with a current from V_s . When all four resistors in the bridge are absolutely equal, the bridge is perfectly balanced and $V_o = 0$. But when any of the resistors change value by only a fractional margin, the bridge produces a significant, measurable voltage.

The corner points 2 and 3 of the bridge are used for the connections of the excitation voltage V_s (power supply); the bridge output voltage V_o : the measurement signal, is read on the contact points of 1 and 4. The strain gauge (also a variable resistor) is placed as one of the resistors, for example R2. If a supply voltage V_s is applied to the two bridge supply points 2 and 3 then this is divided up in the two halves of the bridge R1, R2 and R4, R3, as a ratio of the corresponding bridge resistances. In other words: each half of the bridge works as a voltage divider. [4][1]

2.3 Measuring using a Wheatstone bridge

Using Ohm's law, ($U = I \cdot R$), several relations between current and voltage can be deduced. The assumption is made that on V_o (between 1 and 4) no current is flowing. From Figure 2.2-1 the following current in the bridge 2-1-3 and the next formula can be made where R2 is assumed to be the strain gauge without stress or strain: (A calculation example can be found in Attachment B).

$$I_{R2} = \frac{U}{R2}$$

The voltage over the points 1 and 2 is as follows:

$$U_{2,3} = V_{1,2} + V_{2,3} \quad \text{and } R1=R2 \text{ thus: } V_{1,2} = V_{1,3}$$

$$V_{1,2} = I_{R1} \cdot R1 = \frac{\frac{1}{2}U}{R1} \cdot R1 = \frac{1}{2}U_{2,3} \quad (\text{serial circuit with } V_{1,3})$$

The same counts for bridge 2-4-3 and the voltage between 2 and 4:

$$V_{2,4} = \frac{1}{2} U$$

the voltage measured over 1-4 can be calculated :

$$V_o = V_{2,4} - V_{1,3} = \frac{1}{2} U - \frac{1}{2} U = 0V \quad (\text{if } \frac{1}{2}U \text{ over the bridge 2-4-3 and 2-1-3 is equal}).$$

2.3.1 Measurements during tension of a strain gauge

When the strain gauge is subjected to tension, R2 will be replaced by a resistance R2+ΔR. The resistance which was originally equal to the other resistors R1,3,4 has increased with ΔR. For the voltage V_{1,4}, the formulas used are equal to the un-tensioned situation; the current in bridge 2-1 and 2-4 has become (identical resistors):

$$I_R = \frac{U}{R + (R + \Delta R)}$$

The voltage over the points 1 and 2 is:

$$V_{1,2} = I_{R1} \cdot R = U \cdot \frac{R_1}{2R_1 + \Delta R}$$

The bridge 2,4,3 has remained the same being:

$$I_{R3,4} = \frac{U}{R_3 + R_4} \text{ and } V_{2,4} = \frac{1}{2} U$$

The voltage over points 1 and 4 which is measured by V₀ is now:

$$\begin{aligned} V_{1,4} &= V_{2,4} - V_{1,2} \\ &= \frac{1}{2} U - U \cdot \frac{R}{2R + \Delta R} \\ &= U \left(\frac{1}{2} - \frac{R}{2R + \Delta R} \right) \\ &= U \left(\frac{2R + \Delta R - 2R}{4R + 2\Delta R} \right) = U \left(\frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} \right). \end{aligned}$$

For ΔR being very small compared to R, V_{1,4} can be said to be equal to:

$$V_{1,4} = U \frac{\Delta R}{4R} = \frac{U}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

V_{1,4} measured is proportional to the *specific* change of resistance (ΔR) of the strain gauge. This change of resistance is proportional to ε, by which therefore the scale of the measurement device can be adapted thus that ε can be read directly by the value on the measurement device. [4][6]

2.3.2 To determine the resistance of the strain gauge

If the resistance of the strain gauge is not known, with the formula below, (adapted to the circuit in figure 2.2-1) e.g. R2 can be determined, if all other resistors have a known value:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2}{R_4} \rightarrow R_2 = R_1 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

With the Wheatstone bridge, this is usually measured using the voltage and the following equation;

$$V_o = V_s \times \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right)$$

2.3.3 Types of Wheatstone bridges

On a Wheatstone bridge 1, 2 or 4 resistances can be used and likewise there are at least 3 types of Wheatstone bridges, corresponding to the amount of measuring variable-resistors (strain gauges) used for the Wheatstone bridge. A quarter bridge is used when only one strain gauge is implemented in the circuit (See table 2.3-1).

- Quarter bridge (one active gauge)
- Half bridge (two active gauges)
- Double quarter or diagonal bridge (two active gauges)
- Full bridge (four active gauges)

Both half-bridge and full-bridge configurations grant greater sensitivity over the quarter-bridge circuit, though not always a half-/full-bridge can be applied to the specimen. Thus, the quarter-bridge circuit is used in strain measurement systems. For the planned research on strain gauges, only a quarter bridge will be needed with known resistors (and a calibration on contact point 4 if possible).

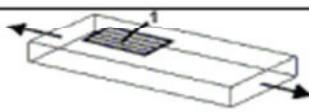
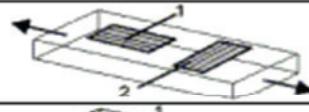
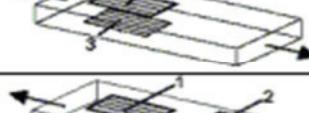
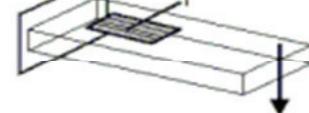
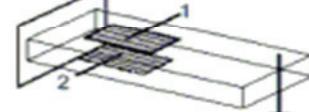
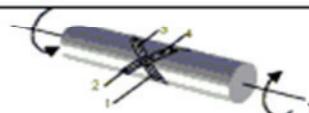
Strain	Gauge Setup	Bridge Type	Sensitivity MV/V @ 1000 μ E	Details
Axial		1/4	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Also responds to Bending Strain.
		1/2	0.65	Better: Temperature compensated, but it is sensitive to bending strain.
		1/2	1.0	Better: Rejects Bending Strain, but not temperature. Must use dummy gauges if compensating for temperature.
		Full	1.3	Best: More sensitive and compensates for both temperature and bending strain.
Bending		1/4	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Responds equally to Axial Strain.
		1/2	1.0	Better: Rejects axial strain and is temperature compensated.
		Full	2.0	Best: Rejects axial strain and is temperature compensated. Most sensitive to bending strain.
Torsion and Shear		1/2	1.0	Good: Gauges must be mounted at 45 degrees from centerline. Axial and Bending forces produce equal strain and are hence rejected.
		Full	2.0	Best: More sensitive full-bridge version of previous setup. Rejects both axial and bending strains.

Table 2.3-1: gauge setup and bridge type selection [11]

2.3.4 Calibrations

The complete Wheatstone bridge should be excited with a stabilized DC supply and with additional conditioning electronics and can be zeroed at the null point of measurement.

A passive variable resistor can be added to the circuit for calibration but can be seen as a standard resistor during measurements. Further a contact point (e.g. point 4 in figure 2.2-1) can be replaced by a potentiometer for calibration towards a zero value and thus balancing the ratio between the resistors in the Wheatstone bridge.

2.4 Measuring Principles

To start measuring and reading or calculating the required values, several formulas and constants with their according symbols will be needed. This chapter will cover those formulas and constants, as well as on methods to keep the measuring results reliable and trustworthy.

2.4.1 Resistance

The strain gauge is an electronic resistor which resistance will (linear) increase or decrease causing small changes in the length of the strain gauge (and specimen). These changes are explained by the change of geometry of the wire or resistor material (afterwards only called wire), resulting in a change of the electrical resistivity and conductivity (also influenced by temperature).

This can also be described by the following formula:

$R =$	[Ohm, Ω]	Resistance
$\rho =$	[$0 \dots \infty$]	Electrical resistivity
$L =$	[mm]	Length of the wire
$A =$	[mm^2]	Cross-sectional area

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad [\Omega = \rho \frac{\text{mm}}{\text{mm}^2}]$$

2.4.2 Gauge Factor K

To actually measure the resistance [R] of the strain gauge, the relationship between the change of resistance and change in length [ε] of the wire needs to be described and is known as the gauge factor¹⁸ [K]. Taken this relationship a very important measurement can be made: the strain gauge can measure the specific (amount) change of length (ε) in comparison to most other measuring elements which measure the absolute change in length [Δl]. The K-factor usually varies between 2 – 4[K] and is dependent on the resistor material used for the strain gauge. If a semiconductor is used higher K-factors can be expected. The K-factor in these cases can go as high as ± 180 [K].

Described in a formula the relation between specific change in length and resistance relates as:

$K =$	[$0 \dots \infty$]	Gauge factor
$\varepsilon =$	[$\Delta l/l_0$]	Strain
$R_g =$	[Ohm, Ω]	Resistance of the undeformed strain gauge

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (= K \cdot \varepsilon)$$

$$K = \frac{\Delta R / R_g}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

2.4.3 Reliability

Ensuring an experiment provides reliable measurements and results, both practical conditions as mathematical solutions are available. Note that reliability does not guaranty that a measurement is valid (!), as an answer of the researched value/variable, though a high amount of reliability is a requirement for validity of the measurements.

2.4.3.1: practical solutions

The first practical solution is to minimise the number of variables as much as possible and keeping the changes of the unwanted variables as low as possible. Environmental variables can alter the measurements or outcome of the experiment. To a certain extent, ensuring stable environmental conditions is easily achieved by, for example printing the same model strain gauge with the same paste and software settings on the same carrier material, at the same temperature and humidity levels.

Even if all values of an experiment remain fixed, the quality of a product could still have significant effects. If this quality would not be known at the start of the experiment, the differences and outcome of an experiment could be caused solely by errors in the measurements, due to differences in the quality, while the changed variable could have had no effect at all (relative to the differences in quality altering the results).

Hence a control or notification of possible errors is needed for the experiment to ensure no false measurements are used to make conclusions based on an experiment.

Note: If all outcomes of practical tests are reliable and valid even though they contradict a theory, it should raise the question; *why* the facts don't fit the theory.

2.4.3.2 Mathematical solutions:

One of the simplest mathematical solutions to find errors from measurements is to interpolate the results or create an average value. For better interpolated values, a sum of least squares¹⁶ can be used. If some results are way out of the range of the other results, neglecting the results which don't fit the average of the others results, can improve the accuracy of the data. It should be examined and conclusions made on why the other results have such deviations. For the deviation allowed, which can be set as close to 0σ as needed (e.g. 0.5σ), it ensures a set quality and reliability of the measurement values has been established. The reliability of the results can be determined by using statistics for the research (see next alinea).

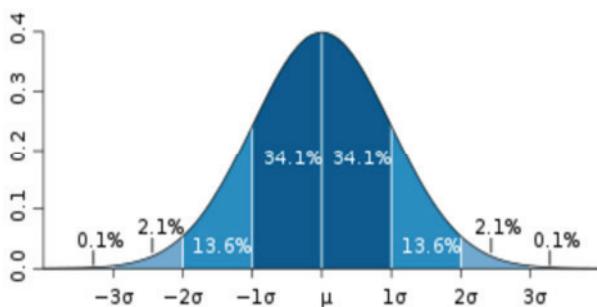


Figure 2.4-1 Normal distribution (Bell curve)

The margin of error in polling data is determined by calculating the expected standard deviation in the results if the same poll were to be conducted multiple times. The reported margin of error is typically about twice the standard deviation – the radius of a 95 percentile confidence interval

The results of measurements can be plotted into a normal distribution (Bell curve, Figure 2.4-1). The opposite can be done as well: researchers commonly report the standard deviation of experimental data, and only effects that fall far outside the range of standard deviation are considered statistically significant. A normal random error or variation in the measurements is in this way distinguished from causal variation.

3. Material properties

For the strain gauges to be used for measurements, the specimens (often construction materials such as steel, concrete or even plastics) general properties must be known.

3.1 Composition

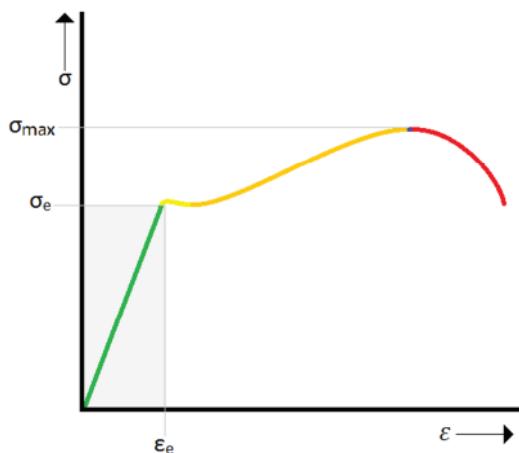
Concrete for example, is a heterogeneous⁷ material (or in other words non homogeneous⁸ composite) which under stress or strain does not deform equally and requires multiple measurement locations or large (chain) measuring units to reduce deviations and keep reliable measurements.

3.2 Young's Modulus

For all materials (especially construction metals), the strain gauge only offers a reliable measurement if the strain of the object doesn't exceed σ_e/ϵ_e : the elastic area of a material (figure 3.2-a). Following the law of Hooke, for all stress lower than σ_e , σ and ϵ are proportional¹¹. The relation between σ and ϵ is known as the Young's Modulus (E). For many applications the Young's Modulus is altered towards a preferred value, with different methods, such as heat treatment (tempering), coatings, or surface treatment and finishing.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



F = [N] Force in Newton's
E = [MPa, N/mm²] Young's Modulus

σ = Tension
 σ_e = Maximum elastic tension
 σ_{\max} = Ultimate tensile strength

- = Plastic behavior
- = Yield
- = Strain hardening
- = Ultimate strength
- = Necking (ends in fracture stress)
- = Elastic range of the material

Figure 3.2-a: Hooke's Law

3.3 Poisson Ratio

When tensile stress is imposed on a metal specimen, an elastic elongation and accompanying strain ε_z , result in the direction of the applied stress (arbitrarily taken to be the z direction) as indicated by the formula's below. As a result of this elongation¹⁹, there will be constrictions in the lateral (x and y) directions perpendicular to the applied stress; from these contractions, the compressive strains ε_x and ε_y may be determined. If the applied stress is uniaxial (only in the z direction) and the material is isotropic¹⁰, then $\varepsilon_x = \varepsilon_y$. A parameter termed Poisson's ratio ν is defined as the ratio of the lateral and axial strains, or $\nu = -\varepsilon_x/\varepsilon_z = -\varepsilon_y/\varepsilon_z$. The negative sign is included in the expression so that ν will always be positive.; since ε_x and ε_z will always be of opposite sign. Theoretically, the Poisson's ratio for isotropic^{xxxxiso} materials should be 1/4 . furthermore, the maximum value for ν (or that value for which there is no netto volume change) is 0.50.

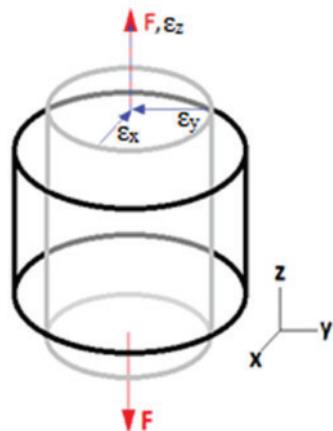


Figure 3.3-1 - deformation

For many metals and other alloys, values of Poisson's ratio range between 0.25 and 0.35 . For isotropic materials, shear¹⁵ (and elastic moduli) are related to each other and the Poisson's ratio according to Young's Modulus $E: =2G(1+\nu)$. In most metals G is about 0.4E; thus if the value of one modulus is known, the other may be approximated.

Many materials are elastically anisotropic; that is, the elastic behavior (i.e. the magnitude of E) varies with the crystallographic^{xxxxcrys} direction. For these materials the elastic properties are completely characterized only by the specification of several elastic constants, their number depending on the characteristics of the crystalline structure. Even for isotropic materials, for complete characterization of the elastic properties at least two constants must be given. Since the grain orientation is random in most polycrystalline materials, these may be considered to be isotropic. [2 (p122, p123)]

3.4 Shear Modulus

When a force is applied to an object and causes or tends to cause two adjacent parts of the same body to slide relative to each other, in a direction parallel to their plane of contact, this can be quantified as shear¹⁵.

The shear modulus G, simplifies the calculation of shear stress. It is not an independent material parameter such as the Young's modulus E (See 3.2) and Poisson's ratio ν (see 3.3) but is derived from these.

$$G = \frac{E}{2} \cdot \frac{1}{1+\nu} = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 0.385 E \text{ for } \nu = 0.3$$

The unit for the shear modulus is N/mm²; the same unit as for the Young's modulus. It describes the ratio of the shear stress τ to the shear deformation angle γ measured in radians: $G = \frac{\tau}{\gamma}$ [4]

3.5 Electrical Conductivity

The Electrical conductivity gives information about the resistance of a material by a standard cross-sectional area with the (conductive) length of material as a multiplier. As stated in the introduction: the change of shape and length of the conductor/resistor changes the resistance measured which is used as the working principal of strain gauges.

The carrier on which the resistor material of the strain gauge is printed should be non-conductive, where it would otherwise shortcut the resistor material of the strain gauge. This carrier isolates the strain gauge as well from any conductive specimen to be measured often a coating is applied to prevent water and dust from altering the resistance / conductivity by shortcircuiting the active length of the strain gauges measuring grid. The degree by which the resistance drops is the temperature coefficient (the reference¹² conductivity ρ_0 is usually at 20 °C).

$$\rho(\Omega \cdot m) = R \frac{A}{l} \quad \Delta\rho = \alpha \cdot \Delta T \cdot \rho_0$$

3.6 Material behavior

The properties of a material are not the only factor, which influence the behavior of a specimen and maximum load by themselves but are always subjected to the influence of the environment such as the geometry, temperature and location of stress (and the speed at which it is applied).

3.6.1 Fatigue

Accepting the unreliability of measurements of stress outside the elastic range of the material, measurements can as well become unreliable due to fatigue⁶. Fatigue (disambiguation) is endowed by cyclic or repetitive loading and stressing of the material, especially if this proceeds locally or on highly stressed points in the material (such as bends, corners, hardened welds). For cyclic loading the stress allowed in the material (nominal maximum stress) must be lower than the ultimate tensile stress limit, and could be below the Yield stress, in the elastic range.

The fatigue of the material shows itself in microscopic cracks on the surface. These cracks themselves, create new stress concentration, every crack has at least one, near 0° (θ) degree 'corner' without a radius, creating high stress on the surrounding molecules, stimulating further progression of the crack.

The start and progression of this process is highly related to the material properties and temperature.

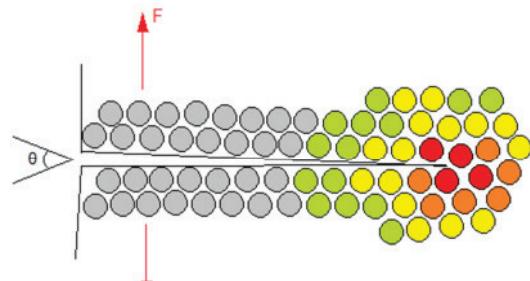


Figure 3.6-1 – crack propagation

Note that this process doesn't only occur in the specimen but also in the strain gauges themselves. In a commercial strain gauge, the minimum curvature of the radius²¹ allowed, is given to prevent failure due to bending and the rupture between the grid and carrier.

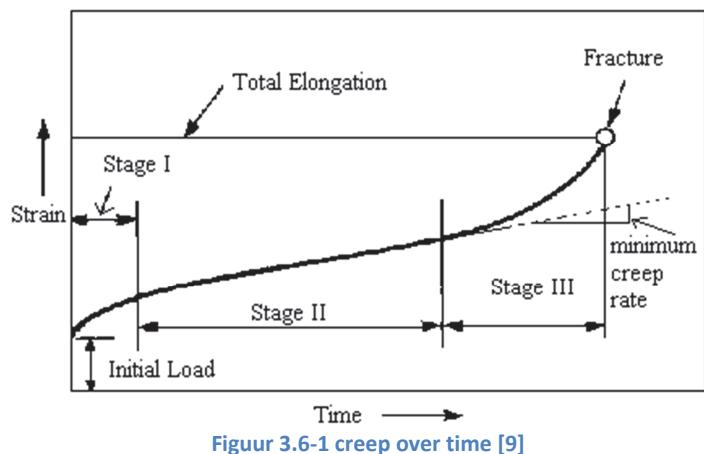
3.6.2 Temperature

Perhaps the most important influence on the behavior of a material is its temperature, at a certain temperature an object can vaporize, melt, burn (e.g. organic), or solidify to create a solid object. Temperature (and heat-treatment) can also cause the composition of materials to change and thus the Young's modulus; Steel is one of the best examples (austenite, ferrite, martensite, etc.). The most important influence of temperature on a material with regard to strain gauges, is the alternation of the reference value of the strain gauge[1]. For nearly all metals, the resistance increases and vice versa if the temperature rises [10].

For measurements, temperature is important for both reference¹² values and behavior. For a higher temperature, the speed of creep increases, creating the possibility for stress to relieve itself. This behavior of the material makes a material brittle on low temperatures and ductile at high temperatures. Low and high being relative to the melting point of the material. If a material becomes (more) ductile, the elongation of the material no longer corresponds to the appropriate stress. The stress will be lower and the maximum stress allowed will increase, so more creep is tolerated before breaking, this is especially the case for plastics. When a material becomes more brittle (e.g. when frozen), a material resistance against creep and elongation increases. For the usage of strain gauges, a ductile material (at room temperature) will be required for the wire/resistor material not to break when subjected to stress even during cyclic or repetitive load. For more demands, see the PDS¹ (Attachment A).

3.6.3 Creep

If a strain gauge is subjected to ‘static strain’ then, in spite of the constant strain on the component, it will exhibit a time related change in its resistance, this change in the measurement signal in a strain gauge under tension, proceeds very slowly (by the mechanics of creep) and in the reversed direction of the load. This can be explained by the strain in the atomic-layers of the strain gauge carrier. If by additive manufacturing, this carrier is not present (due to being printed directly to the specimen), other behavior could occur, related to the type and time of load being applied (figure 3.6-1).



Figuur 3.6-1 creep over time [9]

Primary creep, stage I, is a period of decreasing creep rate. Primary creep is a period of primarily transient creep. During this period deformation takes place and the resistance to creep increases until stage II. Secondary creep, Stage II, is a period of a roughly constant creep rate. Stage II is referred to as steady state creep. Tertiary creep, Stage III, occurs when there is a reduction in the cross sectional area due to necking or effective reduction of the sectional area due to internal void formation. [9]

The elongated measuring grid by a tensile load, acts like a tensioned spring. The spring tension generates shear stress on the contact surfaces between the grid and the carrier, primarily around the grid end-loops. These shear stresses are in addition to the direct stresses resulting from the strain. Under the influence of these stresses, the plastics in the strain gauge and adhesive both relax, in other words, the counterforce weakens and the grid pulls itself back: a negative error occurs. (see image 3.6-2)

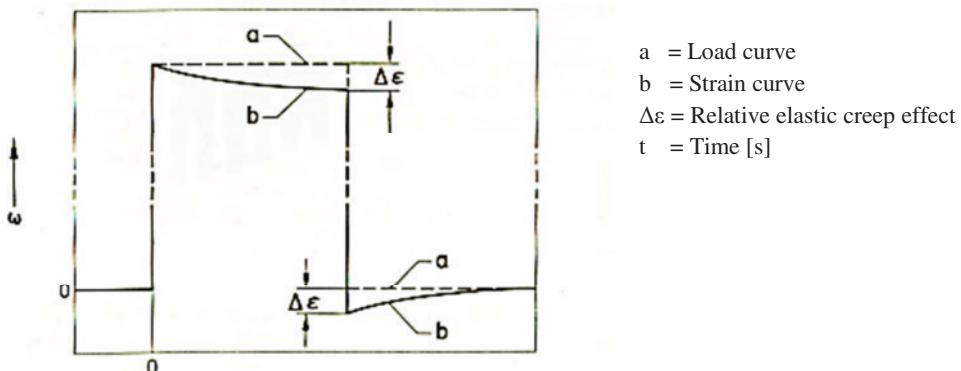


Figure 3.6-2: Curve of strain of a component under constant load and after being completely unloaded [9]

This process also occurs in the region of the grid ends. This effect is greater on short measuring grids than on long ones. One of the advantages implemented in foil strain gauges is for the extended end loops to be distributed over a larger area and thereby minimizing the shear stress (see length k, Figure 1.8-1).

[4, P92-99 paragraph 3.3.9]

[7, P31 -37 paragraph 3.2.6]

4. Glossary

1. **Bragg grating** - A fiber Bragg grating (FBG) is a type of distributed Bragg reflector constructed in a short segment of optical fiber that reflects particular wavelengths of light and transmits all others. [10]
2. **Creep adjustment** - K-series strain gauges are available with different creep adjustments. They are differentiated by a letter to the type designation. It is identification for the end tab to strand width ratio. This is expressed as end tab length u , which corresponds to a multiple of the grid line widths.
3. **Deformation** - In materials science, deformation is a change in the shape or size of an object commonly due to a change in environmental conditions, e.g.: an applied force or a change in temperature. Applied forces to an object can result in tensile (pulling) stress, compressive (pushing) stress, shear, bending or torsion (twisting). A change in temperature of an object, can cause the mobility changes of the structural defects such as grain boundaries, point vacancies, line and screw dislocations, stacking faults and twins in both crystalline and non-crystalline solids. The movement or displacement of such mobile defects is thermally activated, and thus limited by the rate of atomic diffusion. Deformation is often described as strain [10]
4. **Gauge resistance** - The resistance of a strain gauge is the electrical resistance between the two metal strips designed for the connection of the measuring cable or between the leading ends. The resistance in nominal strain gauges are: 120Ω , 350Ω , 600Ω , 700Ω , and 1000Ω
5. **Grid** – In this document a is a short description of a geometrical organized (conductive) line structure as found on the several images and figures of strain gauges.
6. **Fatigue life** - If a strain gauge is loaded with an alternating force which can be superimposed on a static strain, changes in the reference point and also irregularities in the resistance-strain characteristic can occur with increasing cycle numbers. The k-factor remains constant in general. However, changes cannot be excluded in special cases. These effects are summarized as the “fatigue life” of strain gauges and are dependent on the alternating strain amplitude and the mean strain, but largely independent of the frequency.
7. **Heterogeneous** - Homogeneity and heterogeneity are concepts relating to the uniformity or lack thereof in a substance. A material that is *homogeneous* is uniform in composition or character; one that is *heterogeneous* lacks uniformity in one of these qualities. To determine whether a substance or material is homo-/heterogeneous is dependent on the scale of which it is observed: atoms, molecules, nm, mm, cm, and forth. [10]
8. **Homogeneous** – see Heterogeneous
9. **Lateral** - a sideways or backwards motion, a shift from the mid-line
10. **Isotropic** - Having properties that are identical in all directions [10] (see also chapter 3.3)

11. **Proportional(ity)** – (mathematics) Two variable quantities are *proportional* if one of them is always the product of the other and a constant quantity, called the coefficient of proportionality or *proportionality constant*. In other words, x and y are proportional if the ratio $\frac{x}{y}$ is constant. [10]
12. **Reference temperature:** - The reference temperature is the ambient temperature required for the correct readings of the strain gauge. The indicated technical data for strain gauges are based on the reference temperature of 23° C. *unless otherwise specified*
13. **Resistivity** - the resistance to electric current of a material. In particular, the degree to which a material resists the flow of electricity or heat. [10]
14. **Rosette** – a circular pattern around a shared point or axis.
15. **Shear** - A force applied so as to cause or tend to cause two adjacent parts of the same body to slide relative to each other, in a direction parallel to their plane of contact.
16. **Sum of least squares** – The determination of a shared line between points in a two or more dimensional plane, giving an approximation of the relation between the points using a line. Also used for determining a new or unknown value based on (known) surrounding values.
17. **Transverse sensitivity** - The transverse sensitivity is the ratio of the relative resistance change of a gauge installed vertically to a single axis deformation field (transverse strained) to the relative resistance change of a similar strain gauge installed parallel to the same deformation field (longitudinal strained).
18. **K-factor (gauge factor)** - The strain sensitivity k of a strain gauge is the proportional factor between relative resistance change $\Delta R / R_0$ and the strain to be measured ε : $\Delta R / R_0 = k \cdot \varepsilon$. The strain sensitivity arises as an unnamed figure and is called k-factor. The k-factor is determined for each strain gauge and is indicated as a nominal value.
19. **Maximum elongation** - The maximum elongation of a strain gauge is understood to be the elongation at which its characteristic curve (resistance-strain characteristic) deviates by more than +5% from the mean characteristic line of the type. This usually happens when the installation is poor, or the gauge is damaged.
20. **Mechanical Hysteresis** - Mechanical Hysteresis is the difference in the indication between the increasing and decreasing strain load with the same strain performance of the test piece. The development of the hysteresis depends not only on the strain gauge itself but to a great extent on installation parameters such as adhesive, later thickness etc. For this reason, the data of the mechanical hysteresis cannot be indicated for all variation possibilities.
21. **Minimum radius of curvature** - The flexibility of a strain gauge is characterized by the minimum radius of curvature which is tolerated in each direction, without additional support. Polyimide carriers of strain gauges are so flexible that they can be bonded easily around edges. Although other carrier materials are more brittle, they can also be prepared easily by “deformation” (e.g. hot adjustment) for installation on smaller radii.

4.1 Abbreviations

e.g.	Exempli gratia; for example
i.e.	Id Est; in other words
PDMS	Polydimethylsiloxane (PDMS) belongs to a group of polymeric organosilicon compounds that are commonly referred to as silicones [10]
PDS	product design specifications; (NL: 'pakket van eisen en wensen')
Ppm	Parts per million, used for
TCR	Temperature coefficient of resistance

4.2 Symbol list

$K =$	$[0 \dots \infty]$	Gauge factor
$E =$	$[\text{Pa}, \text{N/m}^2]$	Young's Modulus (Tensile modulus) ()
$\varepsilon =$	$[0 \dots \infty]$	strain (Specific change of length)
$R =$	$[\Omega, \text{Ohm}]$	Resistance
$\rho =$	$[\Omega \cdot \text{m}]$	electrical resistivity
$l =$	$[\text{mm}]$	length (standard S.I. unit: m, meter)
$r =$	$[\text{mm}]$	radius (standard S.I. unit: m, meter))
$A =$	$[\text{m}^2, r^2 \text{ for a round wire}]$	Cross-sectional area
$\nu =$	$[0 \dots \infty]$	Poisson's ratio
$G =$	$[0 \dots \infty]$	Shear modulus
$\sigma =$	$[\text{N/m}^2]$	Stress

5. References:

Papers & Books:

- [1] Pasindu S. De Abrew (10/10/2010). *Strain gauges and Wheatstone bridge and their relation on temperature variation*. Literature Review.
- [2] William D. Callister, Jr.. (2006), *materials science and engineering an introduction*, USA: John Wiley & Sons.
- [3] Van de Heijning Jan, Selleslach Luc (1991). *Meten met rekstrookjes*. Thesis, Hoger Technisch Instituut Kardinaal Mercier, Belgium.
- [4] Karl Hoffmann. (1989), *An Introduction to Measurements using Strain Gages*, Germany: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt
- [5] Staffan Johanson (2009). *Fabrication of novel force sensing elements made of flexible substrates for use in medical devices*. Master thesis Thesis, KTH Royal Institute of Technology.
- [6] Bruno Kelchtermans, Danny vrolix (1990). *Meten met rekstrookjes*. Thesis Thesis, Hoger Technisch Instituut Kardinaal Mercier, Belgium.
- [7] *The Route to Measurement Transducers - A Guide to the Use of the HBM K Series Foil Strain Gauges and Accessories* 1991, Germany: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt.
- [8] Het selecteren van rekstroken: een kunst apart. 2008, *Constructeur*, 12, p22-24.

Online papers & websites:

- [9] Properties of Materials. 2012. *Properties of Materials*. [ONLINE] Available at: <http://www.mdme.info/MEMmods/MEM30007A/properties/Properties.html>. [Accessed 28 February 2012].
- [10] <http://en.wikipedia.org>
- [11] Choosing the Right Strain-Gauge for Your Application - Developer Zone - National Instruments. 2012. *Choosing the Right Strain-Gauge for Your Application - Developer Zone - National Instruments*. [ONLINE] Available at: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3092>. [Accessed 20 February 2012].
- [12] HBM Strain Gages for Transducer Manufacturers. 2012. *HBM Strain Gages for Transducer Manufacturers*. [ONLINE] Available at: <http://www.hbm.com/en/menu/products/strain-gages-accessories/>. [Accessed 20 February 2012].
- [13] Binsfeld engineering inc., *How a Strain Gage Senses Torque*. 2012. [ONLINE] available at: http://www.binsfeld.com/index.php/tech_info/strain_gage_senses_torque/. [Accessed 27 may 2012].
- [14] Johansson, S. (2009). *Fabrication of novel force sensing elements made of flexible substrates for use in medical devices*. Master Thesis Thesis, KTH Royal Institute of Technology. [ONLINE] Available at: http://www.ee.kth.se/php/modules/publications/reports/2009/XR-EE-MST_2009_003.pdf [Accessed 20 February 2012]

- [15] Strain Gauge Catalog - HBM Test and Measurement. 2012. Strain Gauge Catalog - HBM Test and Measurement. [ONLINE] Available at: <http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/s1265.pdf>. [Accessed 20 February 2012].
- [16] Maiwald et al., M., (2009). INKtelligent printed strain gauges. In *Aerosol Jet User Group Meeting September 11th to 13th, 2011*. Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research, Bremen, Germany, 7-10 september. www.sciencedirect.com: ScienceDirect, Elsevier. 1 - 4. [ONLINE] Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619609002277> [Accessed 27 February 2012]
- [17] Barber, B., Best C. University of Cambridge DoITPoMS, *Introduction to mechanical testing*. 2012. [ONLINE] Available at: <http://www.doitpoms.ac.uk/tplib/mechanical-testing/printall.php> . [Accessed 27 may 2012].
- [18] Taubenrauch, E., Wirth, I., (2011). Printed strain gauges for aircraft load detection using Aerosol Jet (r) printing. In *Aerosol Jet User Group Meeting September 11th to 13th, 2011*. Fraunhofer IFAM, 11-13 september. Germany: Fraunhofer Ifam. 1 - 39.
- [19] Sanchez, J.C. 1963. *Semiconductor strain gauge*, US Patent 3084300
- [20] Roger W. Pryor, 1983. *Semiconductor strain gauge*, US Patent 4422063
- [21] Jon P. Longtin, Jinggao Li, 2007. Sensors and Actuators A. *Interdigital capacitive strain gauges fabricated by direct-write thermal spray and ultrafast laser micromachining* [Online]. 133, issue 1, 1-8. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424706002883> [Accessed 27 February 2012].
- [22] Maiwald, M., 2010. Sensors and Actuators A: Physical. *Sensors and Actuators A: Physical*, [Online]. 162, issue 2, 198-201. [ONLINE] Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424706002883> [Accessed 27 February 2012].
- [23] Ingo Grunwald et al, 2010. Biofabrication. *Biofabrication: Surface biofunctionalization and production of miniaturized sensor structures using aerosol printing technologies* [Online]. Volume 2, Number 1, 1-12. [ONLINE] Available at: stacks.iop.org/BF/2/014106 [Accesed 27 February 2012]

Attachment A – PDS

PDS strain gauges

General assumptions made:

The temperature at which the materials are stored and tests are done is 20-23 degrees Celcius.
a syringe printhead is used (later on, one or more printheads will be added)

Ink/paste

- Lifetime
 - The ink or paste must not be brittle and allow stress or tension to be applied
- Shrinkage
 - As less shrinking (drying) as possible for better geometry results and preventing cracks during the drying process.
 - A shrink similar to the shrink of the carrier to prevent cracks
- Accuracy
 - The ink or paste should have a uniform resistance and gauge factor after being printed and when loads are applied to the strain gauge.
 - All printed results must give similar values in resistance and influence behavior
- Ease of manufacturing
 - The ink or paste must be printable with the fab@home/RepRap and the available printheads
- Size
 - Thin printed paths are preferred over thicker paths.
- Flexibility
 - TheInk must not be brittle and endure bending and tension/stressing.
 - Maintain a closed electrical circuit when loads are applied to the strain gauge.
- Conductivity
 - The ink for the grid must conduct electricity and have a low resistance
 - 0-10 Ohm / meter
- Effect on resistance
 - A higher change of resistance due to stress is preferred (gauge factor)
 - No / low temperature influence
- Ease of delivery
 - The inks and pastes must be able to be delivered within 2 weeks or at least one month before the graduation will be finished
- Adhesive properties to carrier (see also carrier adhesive properties)
 - The ink must have a good mechanical or chemical connection to the carrier material which ensures the stress and strain in the carrier is transferred to the grid.

Grid

- Lifetime
 - Where design can increase lifetime, this design must be implemented.
- Accuracy
- Ease of manufacturing
 - The grid must be printable with the fab@home/RepRap
- Size
 - The grid must have an effective length (estimated, trial & error)
 - The grid must fit on the carrier available (see also: carrier - size)
 - The size of each grid line must be at least as thick as the printed path.
- Effect on resistance
 - The design of the grid must be that stress influences the resistance by a measurable amount
- Influence on lateral stress
 - Should be minimized by the design of the grid within the other demands.
- Function required. (bend)
 - The grid should act on bending and tension in one direction.

Carrier

- Adhesive properties to the ink (paste).
 - The carrier must have a good mechanical or chemical connection to the grid which ensures the stress and strain in the carrier is transferred to the grid.
- Isolation
 - The carrier has to be non-conductive to prevent current from the grid to flow through the carrier.
- Ease of manufacturing
 - The material and design used for the carrier must be printable with the Fab@home/RepRap
- Lifetime
 - The material used for the carrier must remain flexible and not harden significantly within at least 2 months in laboratorial conditions.
 - The material used must be able to endure bending and repeated tension for a longer period of time than the grid it is used for. (estimated, trial and error)
- *Heat resistance (only viable, if the ink chosen needs sintering)*
 - *If the ink or paste needs sintering before use, the carrier material must not fail or lose its elastic properties (additional precautions for heat protection can be made).*
- *Flexibility (no demand but preferred)*
 - *The grid design and material should be able to endure bending and tensioning at least once before the grid applied on the carrier fails.*
- Shrinkage
 - As less shrinking (drying) as possible for better geometry results and preventing cracks during the drying process.
 - A shrink similar to the shrink of the carrier to prevent cracks.
 - Slightly more shrink than the paste is better than slightly less shrink

Attachment B – Calculation example: Wheatstone bridge

Equations:

$$U = I \times R$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \text{ (balanced bridge)}$$

$$V_o = V_s \times \left(\frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_2+R_1} \right)$$

Symbols:

U = Voltage [V]

I = Ampere [A]

R = Resistance [Ω , ohm]

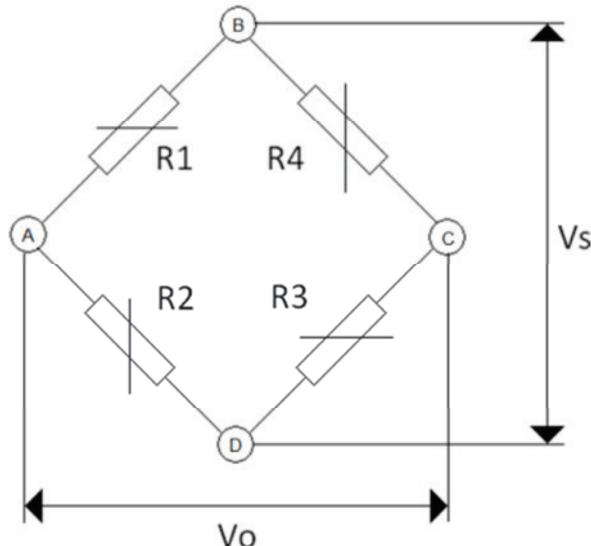


Figure B-1: Wheatstone Bridge

In the situation of figure B2 the complete bridge is in balance: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ (balanced bridge) is true.

This means that the voltage V_o or output voltage is equal to 0V.

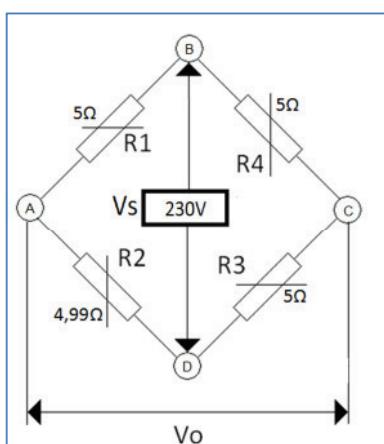
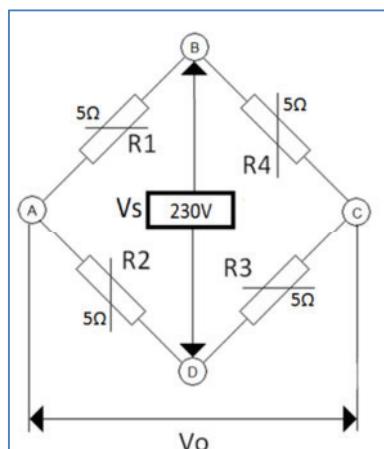
$$V_o = 230 \times \left(\frac{5}{5+5} - \frac{5}{5+5} \right) = 230 \times 0 = 0 \text{ V}$$

If the straingauge (say R2 is stretched and variates with 0,01 Ω , the balance in the wheatstone bridge is distorted and the voltages in the sections AD and AB chance accordingly to the new situation. Giving the output voltage V_o an other value than 0 V;

The equation $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ (balanced bridge) is false in the new situation and can not be used to determine the resistance R2. Instead the output voltage is used to determine the new value of R2. Also the output voltage amplifies the difference of 0,01 Ω to a ‘large’ difference in the voltage V_o :

$$V_o = 230 \times \left(\frac{5}{5+5} - \frac{4,99}{4,99+5} \right) = 0,115 \text{ V}$$

A difference of 0,01 Ω gives us (with the used resistors) an amplification factor of ≈ 115 . And gives a value which can be used to either determine the strain directly (if the calibration is made based on the voltage output) or to calculate the actual resistance in R2 using the same equation if the calibration is made on the resistance of the strain gauge.



Attachment E

Weekverslagen

J.S. Beerthuizen

5/29/2012

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: Nader te bepalen

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 4

Gerealiseerd vorige week:

- Nieuwe printkop gekozen en uitgeprint
- Printkop geassembleerd
- Orienterende proef uitgevoerd met de nieuwe printkop: concept werkt goed
- Software en Machinecode Reprap eigen gemaakt en eigen bfb file geschreven
En bewerkt.

Code M102 is niet geïmplementeerd in firmware: geen reverse/suckback

- Administratie (aangestuurd) laten afregelen m.b.t. afstuderen & verplichtingen
- Literatuurstudie ingeleverd
- Nieuwe poederleverancier gezocht (nog geen contact opgenomen)
- Werken aan de presentatie

Logboek week 3

27-2-2012 8:15-10:00 + avond	3D model uit de printer halen en in 't zuurbad leggen, thuiswerken aan 't onderzoeksrapport
29-2-2012 8:40-8:45-18:00	Printkop assembleren, punten uitzetten v/d presentatie, reprep software installeren, literatuurstudie afronden, printkop keuze verantwoorden, administratie afstuderen
1-3-2012 8:45-18:00	weekverslag, week3 schrijven, administratie HHS & Lessius, inlezen RepRap update, literatuurstudie controleren.
2-3-2012 8:20-17:45	Literatuurstudie Ingeleverd, Printkop droogdraaien, opties voor montage printkop bekijken, handmatig schrijven testfile.
3-3-2012 8:15-17:15	Werken aan presentatie, werken aan testfile (testfile niet haalbaar i.v.m. firmware), nieuwe poederleverancier, opties printkop bekijken

Doelstellingen voor de volgende week (4):

Volgens planning:

- Het onderzoeken van een nieuwe printkop
- Pakket van eisen en wensen pasta's
- Communicatie starten met de inkt fabrikanten/leveranciers
- Ontwikkelen van nieuwe rekstrookjes

Opmerkingen:

Een deel van de taken voor deze week zijn al gedaan in de vorige week:
Pakket van eisen en wensen voor de pasta's,

2 andere taken zijn wel al begonnen maar worden (na goedkeuring aangepast i.v.m. de omstandigheden met de pasta's en printkop:

- Het onderzoeken van een nieuwe printkop
 - Het doorontwikkelen van de gekozen printkop voor de gewenste toepassing.
- Communicatie starten met de inkt fabrikanten/leveranciers
 - Meer metaalpoeder fabrikanten aanschrijven om een geschikt mengsel geleverd te kunnen krijgen
- Ontwikkelen van nieuwe rekstrookjes
 - Niet van toepassing tot er met de pasta's geprint kan worden
 - Er zijn wel "droge" prints gemaakt van de rekstrookjes die succesvol zijn gegaan op de reprep in vergelijking met de Fab@Home.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: Nader te bepalen

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 5

Gerealiseerd vorige week:

- Presentatie gegeven
- Printfile geschreven (machinecode)
- Poederleveranciers gemaild voor offerte
- Mountbase gemeten, ontworpen en getekend voor RepRapDarwin
- Begin herontwerp 3D Printkop

Logboek week 5

5-3-2012 8:15-17:20	Presentatie afronden, handmatig "printfile" schrijven (machinecode), testprint met printkop (materiaal: zeep "pasta"). Weekverslag maken.
6-3-2012 8:20-18:00	ochtend: Presentatie geven/volgen + nabespreking & lunch
7-3-2012 8:30-17:15	Middag: mail (poeders, documenten, voorbereiden tests op 7-3-2012 mailen poeder (leveren geen pasta's), opmeten parts, uitbreiden concepten modulaire printkop
8-3-2012 8:25-17:10	uitbreiden concepten printkop + meten parts + tekenen parts.
9-3-2012 8:15-17:00	hermeten parts + hertekenen parts + ontwerp mountbase afmaken

Doelstellingen voor de volgende week (6):

Volgens planning:

- Het onderzoeken van een nieuwe printkop
- Communicatie starten met de inkt fabrikanten/leveranciers
- Ontwikkelen van nieuwe rekstrookjes
- Gecontroleerd Printen/deponeren van pasta met toegewezen printer en gekozen printkop

Opmerkingen:

Er is contact geweest in voorgaande weken met metaalpoeder leveranciers: LPWtechnologies en AVL metal powders. Waar (nog) geen resultaat mee is geboekt: de poeders van AVL metal powders zijn gecoat met vetzuur en geleiden niet. LPWtechnologies heeft niet de volledige mail beantwoord (ze leveren geen pasta's maar over de losse poeders melden ze niks) waar het contact mee is hervat. Ook de carbo-nano tubes moeten worden aangevraagd om ook deze mee te nemen in het onderzoek.

De printkop heeft enkele nadelen waarvoor een her-ontwerp wenselijk is, na besprekking is besloten de huidige printkop de herontwerpen om zijn mogelijkheden en toepassingen uit te breiden en beter aan te laten sluiten bij onze eisen en wensen.

De planning voor het opmeten en testen van rekstrookjes (week 6 en 7) komt in gevaar door het ontbreken van metaal poeders waarbij rekening gehouden wordt met de levertijd wanneer de offerte is opgemaakt. Alternatieven als Carbo nano tubes of het zelf reinigen van de vetzuur coating moeten worden bekeken deze week.

Opmerkingen bedrijfspromotor:

Concentreer eerst op het her-ontwerp en probeer parallel aan de powders te geraken.

Opmerkingen hogeschoolpromotor:

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 6

Gerealiseerd vorige week:

- Poederleveranciers gemaild
- Mountbase voor extruder geprint (M5 bout ontbreekt nog)
- Ontwerpen en tekenen van modulaire 3D Printkop + verslagen
- 3D printer afgesteld + aansturing stappenmotor verbeterd

Logboek week 6

12-3-2012 8:30-17:15	Mailen Poederleverancier, voorstel mountbase indienen, PVE + informatie_vergaring verslag
13-3-2012 8:35-17:55	herberekenen en 3D tekenen Moineau pomp, ontwerpverslag printkop, mountbase bijwerken
14-3-2012 8:20-17:55	ontwerpverslag printkop, Printer afstellen, printkop bijwerken, extra poederleveranciers zoeken
15-3-2012 8:15-17:20	Printkop ontwerp, mailen poederleveranciers, opmeten referentie printkop, ontwerpverslag
16-3-2012 8:30-17:00	Bezoek Nederland & Rondleiding, Printkop ontwerp, Bespreking met stagebegeleider (inform)

Niet gerealiseerd:

- Ontwikkelen van nieuwe rekstrookjes
- Gecontroleerd Printen/deponeren van pasta met toegewezen printer en gekozen printkop

Toelichting:

Contact met de metaalpoeder leveranciers verloopt met tussenpozen van dagen. In week 7: 19-3-2012 zijn poeder samples aangevraagd om aan de pasta's te beginnen. Zoals aanbevolen door de 'Bedrijfsbegeleider': P. Pelgrims, in weekverslag 5, is de aandacht gericht op het herontwerpen van de printkop.

Doelstellingen voor de volgende week (7&8):

Volgens planning:

- Controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven
- Testen, parametriseren, documenteren (rekstrookjes)
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen

Wens: mountbase herontwerpen voor nieuwe printkop en materiaalbesparing.

Opmerkingen:

De planning voor het opmeten en testen van rekstrookjes (week 6 en 7) is nu definitief niet op schema door het uitblijven van pasta's. Samples zijn nu (19-3-2012) wel aangevraagd. In het kader van de 3D printkop is er met het herontwerp van de pasta extruder aangevangen zoals aanbevolen door de bedrijfspromotor, die aan alle gestelde eisen en diverse wensen voldoet.

Alternatieven als Carbo nano tubes kunnen nog worden bekeken.

Wanneer de poeders binnenkomen zal zo snel mogelijk begonnen worden om de planning in te halen. Het verrichten van voorwerk is, waar mogelijk, voor week 7 de doelstelling tot de poeders binnenkomen

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 7

Gerealiseerd vorige week:

- Tussentijdse presentatie gegeven
- Printkop doorontwikkeld
- Eerste proeven uitgevoerd met de pasta's

Logboek week 7

19-3-2012 8:20-18:55	aanvraag samples poederleveranciers, Printkop (basis) ontwerp afronden, Conceptverslag bi...
20-3-2012 8:30-23:00	Concepten Printkop uitwerken & tekenen, Presentatie opzetten, ontwerp controleren
21-3-2012 8:25-22:30	Presentatie afmaken, test draaien met printkop, 3D tekening uitbreiden,
22-3-2012 8:35-17:00	Presentatie Voorbereiden & Geven
23-3-2012 8:30-17:00	Proef opzetten en uitvoeren met pasta's.

Toelichting:

Mijn stageperiode is nu halverwege. Dit wordt gepresenteerd aan een jury en tevens door een vertegenwoordiger uit nederland. De printkop is bijna af maar kan nog verbeterd en uitgebreid worden gedurende de aanstaande week. Met betrekking tot de experimenten: De metaalpoeders zijn op de vrijdag binnengekomen en dezelfde dag nog gebruikt om de eigenschappen van de pasta's en poeders te bepalen. De resultaten zijn zeer tegenvallend: slechts enkele pasta's lijken geschikt op basis van sterkte en rekbaarheid. Tenslotte zijn er op de maandag van week 8 de geprinte proefbanen bekeken en doorgemeten: de printbanen stollen/drogen niet (na 3 dagen) en de geleiding is zeer slecht 4×10^{-6} ohm (mega ogh) is geen uitzondering

Doelstellingen van volgende week (7&8):

Volgens planning:

- Controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven
- Testen, parametriseren, documenteren (rekstrookjes)
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen

Wens: mountbase herontwerpen voor nieuwe printkop en materiaalbesparing.

Opmerkingen:

De planning voor het opmeten en testen van rekstrookjes (week 6 en 7) begint op schema te komen, helaas zijn er uit de eerste proeven geen antwoorden gekomen die een geschikte pasta voor rekstrookbanen kan opleveren. Nieuwe oplossingen en mogelijkheden uit andere hoek dan metaalpoeders en pasta's zullen deze week verkend moeten worden om een gunstig eindresultaat te kunnen.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 8

Gerealiseerd vorige week:

- Verslaglegging bijgewerkt
- Printkop aangepast en mountbase ontwikkeld
- vervolg proeven uitgevoerd met de pasta's

Logboek week 8

26-3-2012 8:35-18:55	3e evaluatie moment pasta's, verslaglegging, Mogelijkheden verkennen andere bindmiddelen en oplossingen Verslaglegging/documentatie, 3D printkop aanpassen.
27-3-2012 8:35-17:45	Nieuwe opties verkennen naar aanleiding van proef-resultaten verslaglegging, archivering, 3D printkop aanpassen, proeven voorbereiden , nieuwe leveranciers zoeken
28-3-2012 8:30-17:30	Proeven voorbereiden vrijdag , verslaglegging 3D printkop, 3D printkop aanpassen, leveranciers contact
29-3-2012 8:30-18:00	Werk voorbereiden week 9, 10, proeven uitvoeren &documenteren, 3D printkop documentatie, afronden werkplek, leveranciers mailen
30-3-2012 8:35-17:00	

Toelichting:

Deze week zijn er veel kleine details aangepast aan de printkop en zijn veel van de onderdelen meerdere malen gecheckt op foutjes. Tevens is er in deze week begonnen aan de verslaglegging van de printkop nu de meeste onderdelen hun definitieve vorm hebben gekregen. De resultaten van het geleidend materiaal vragen om nieuwe experimenten. Deze week ben ik op zoek gegaan naar materialen van de commerciële markt uit diverse vakgebieden om hier of proeven mee uit te voeren of direct een rekstrookje mee te maken (indien geleiding een zeker gegeven is). De komende 2 weken is het lessius zelf gesloten i.v.m. een paasvakantie en zal ik thuiswerken. Hiervoor is voorbereiding benodigd om alle benodigde middelen en materialen over te hevelen zodat ik hier thuis mee verder kan. Ook is de mountbase herontworpen zoals uitgesproken in de wens van vorige week.

Doelstellingen van volgende week (9):

Volgens planning:

- Controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven
- Testen, parametriseren, documenteren (rekstrookjes)
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen

Opmerkingen:

Ik zal zelf 4 dagen op vakantie zijn en de rest van de tijd thuiswerken en meer materialen verzamelen om tot een geleidend materiaal te kunnen komen. tevens zal ik in de 'paasvakantie' weken de verslaglegging bijwerken zodat op het lessius meer tijd is voor proeven en experimenten.

De rekstrookjes liggen niet op schema omdat de materialen ervoor (of geleidende pasta) hier nog niet de mogelijkheid toe bieden.

Opmerkingen bedrijfspromotor:

Doe zo verder Jeroen

Opmerkingen hogeschoolpromotor:

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 10

Gerealiseerd vorige week:

- Verslaglegging bijgewerkt
- Printkop aangepast en mountbase ontwikkeld
- vervolg proeven uitgevoerd met de pasta's

Logboek week 10

9-4-2012 2e paasdag	werk voorbereiden dinsdag
10-4-2012 8:00 - 17:00	Proef afronden, proef verslaglegging, 3D printkop aanpassen, Verslaglegging 3D printkop, afsluiting
11-4-2012 9:00-16:00	verslaglegging, proefmateriaal aanvragen.
12-4-2012 8:30-17:30	verslaglegging, documentatie.
13-4-2012 8:30-19:00	proefmateriaal en meetapparatuur aanschaffen, verslaglegging, proef uitgevoerd

Toelichting:

Deze week is het lessius gesloten i.v.m. de paasvakantie en ben ik thuis aan het werk. Deze week is hierbij voornamelijk gebruikt om de verslaglegging volledig up-to-date te krijgen en bij te werken (dan wel de eerste inhoud op te stellen en concepten te maken). Daarnaast is er deze week meer tijd gestoken in het 3D ontwerp van de printkop om de laatste fouten en verbeteringen aan te brengen. Volgende week maandag zal (indien mogelijk) het ontwerp voor de laatste keer worden voorgelegd. Gedurende deze week is ook het voorstel binnengekomen om met de huidige printkop onderzoek te doen naar het printen van chocolade, hierover zal ik eerst met mijn begeleiders spreken al zal het een welkome aanvulling zijn op het onderzoek derhalve dat ik van de 'geleidende materialen' te weinig volume heb om print-proeven uit te voeren en voorrang geef aan proeven met de geleiding om materiaal over te houden voor de eigenlijke rekstrook proeven in de komende weken.

Doelstellingen van volgende week (11&12):

Weekverslagen

Attachment E

Volgens planning:

- toevoegen van nieuwe ontwerpen rekstrookjes
- printen van rekstrookjes voor div. toepassingen
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen
- Laatste week onderzoek nieuwe printkop en keuze
- Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen pasta's bepalen

Opmerkingen:

De 2 weken die bedoeld zijn om de geplande rekstrookjes uit week 7 en 8 te verbeteren naar de eigenschappen van geprinte rekstrookjes zullen gebruikt moeten worden om de rekstrookjes zelf te maken en te testen. Deze achterstand is ontstaan door de problemen met geleidende materialen en geringe beschikbaarheid en kosten hiervan. Uit de nieuwe proeven met metaalpoeder is één geleidend materiaal gekomen maar deze geeft geen constante weerstand en lijkt sterk door de omgeving beïnvloed te worden dit kan een zeer interessant materiaal zijn voor onderzoek naar een variabele weerstand (op b.v. ~~l~~icht, temperatuur, vocht, inductie, capacitor etc.). Hij zal echter niet geschikt zijn voor een rekstrookje door deze eigenschappen. Dit is mogelijk een meetfout zodoende wordt er andere (controle) meetapparatuur aangeschaft.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 11

Gerealiseerd vorige week:

- Pasta onderzoek voortgezet
- Verslaglegging uitgebreid
- 3D printkop verslag aangelegd
- 3D printkop aangepast (detaillering)
- Proefmateriaal aangevraagd (andere poeders & lijmen)

Logboek week 11

16-4-2012 9:30--17:30	Experiment F2 metingen herhaald, experiment-ontwerp rekstrook rekken (globaal), experiment F2 zelf herhalen (ter bevestiging), gesprek regelen,
17-4-2012 8:30-17:15	internet informatie zoeken variabele weerstanden
18-4-2012 8:30-17:55	Experiment F3 uitvoeren en T1 beginnen, nieuw contactpunten zetten, gesprek pomp is niet doorgegaan
19-4-2012 8:30-18:00	Voortgangsgesprek (P. Pelgrims, F. Vogelear,L. Koeleman niet aanwezig), T1 voortzetten
20-4-2012 8:30-18:20	1e Chocolade proef, gesprek printkop met begeleiders lessius (Geen reactie L. Koeleman op afwezigheid), kennisverbrenging koppelingen

Toelichting:

Op basis van de resultaten van de experimenten en de metingen is te concluderen dat er met de metaalpoeders geen rekstrookjes geprint kunnen worden. De andere mogelijkheden die ik geregeld had (geleidende pasta's, Orthodontie cementen etc.) zijn niet gewenst i.v.m. de kosten van deze pasta's indien deze gebruikt zouden worden voor 3D modellen, verder onderzoek hiernaar is dus niet relevant.

Op basis hiervan is mijn onderzoek naar rekstroken afgerond en vinden er enkel nog controle proeven plaats. Een mogelijke wending is het onderzoek naar het printen van PTC's (gekozen op basis van de metingen van de geleidende eigenschappen v/d pasta's). Vanuit het lessius is er nog verder onderzoek gewenst en benodigd naar het Weekverslagen

Attachment E

printen van chocolade. Deze opdracht sluit (gedeeltelijk) aan bij het herontwerp van mijn printkop en zal meer informatie geven over de eigenschappen van de referentie printkop. Daarnaast is het een welkome aanvulling na het wegvalen van het onderzoek naar de rekstroken. Het gesprek met mijn Stagebegeleider uit Nederland (aangevraagd m.b.t. de resultaten en voortgang) heeft niet plaatsgevonden door afwezigheid op de dag van afspraak, het gesprek met mijn bedrijfsbegeleider is wel doorgegaan en heeft enkele besluiten vastgelegd en de richting bepaald (printkop).

Doelstellingen van volgende week (11&12):

Volgens planning:

- toevoegen van nieuwe ontwerpen rekstrookjes
- printen van rekstrookjes voor div. toepassingen
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen
- Laatste week onderzoek nieuwe printkop en keuze
- Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen pasta's bepalen

Opmerkingen:

De planning is aanzienlijk gewijzigd, en richt zich nu op de printkop, het verwerken van alle meetresultaten en experimenten en het printen met chocolade (dit laatste in samenwerking met de docenten). Het onderzoek doen naar het printen van ptc's is niet verder bevestigd. Uit de resultaten is het gedrag van de samples als ptc wel sterk naar voren gekomen, de evt. gewenste vorm en uitvoering van ptc's is niet bekend en benodigt om verder onderzoek mogelijk te maken. Indien niet gewenst zijn er wel gedocumenteerde aanwijzingen en resultaten om direct ptc's te printen en dit door te zetten tot een werkend prototype / proof of concept. P.s. rekstrookjes kunnen wel al geprint worden met een inktjet, van ptc's is hier nog geen informatie van bekend. ptc's worden (voornamelijk) gebruikt als temperatuur beveiliging in elektronische circuits.

Opmerkingen bedrijfspromotor:

Opmerkingen hogeschoolpromotor:

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 12

Gerealiseerd vorige week:

- 3D printkop aangepast (detaillering)
- Onderzoek naar chocolade printing
- Repman/Darwin gerepareerd (o.a. dupliveren & verbeteren van onderdelen)
- Voortzetting van documentatie

Logboek week 12

23-4-2012 8:15-18:30

controle proef T1 meten (resultaten gelijk), Reparatie werkzaamheden Darwin, voorbereiden op 2e chocolade proef, printkop update

24-4-2012 8:30-19:30

proef chocolade (water als warmtedrager i.p.v. lucht), samenwerking aan chocolade printkop, Darwin printer onderdelen tekenen + reparaties

25-4-2012 8:20-19:30

Documentage + printkop controleren (geen aanpassingen)

26-4-2012 8:30-18:15

Chocolade experimenten & documentage printkop

27-4-2012 8:30-20:00

Chocolade experimenten, afspraak gemaakt met Dhr Koeleman voor voortgangsgesprek.

Toelichting:

Deze week is er verder gewerkt aan de printkop maar vooral ook aan het kunnen printen van Chocolade in 3D met behulp van een 3D printer. De kennis die hierbij wordt opgedaan over de printkop en print-parameters zullen tevens tot verbeteringen in mijn eigen printkop ontwerp kunnen leiden.

Doelstellingen van volgende week (11&12):

Weekverslagen

Attachment E

Volgens planning:

- toevoegen van nieuwe ontwerpen rekstrookjes
- printen van rekstrookjes voor div. toepassingen
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen
- Laatste week onderzoek nieuwe printkop en keuze
- Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen pasta's bepalen

Opmerkingen:

De planning is aanzienlijk gewijzigd, en richt zich nu op de printkop, het verwerken van alle meetresultaten en experimenteren en het printen met chocolade (dit laatste in samenwerking met de docenten). Deze week is al gebleken dat laag viscose vloeistoffen (water) door het huidige printkop ontwerp heenlekken: de huidige wanden zijn niet massief genoeg om 10cm waterdruk tegen te houden. Dikkere wanden zullen dus benodigd zijn voor mijn printkop als er perslucht wordt gebruikt. Tegelijkertijd zal de lekkage hiervan fungeren als overdrukventiel waardoor het 'explosiegevaar' ($2 < \text{bar}$) theoretisch afneemt.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 13

Gerealiseerd vorige week:

- 3D printkop aangepast (detaillering)
- Onderzoek naar chocolade printing
- Repman/Darwin gerepareerd (o.a. dupliveren & verbeteren van onderdelen)
- Voortzetting van documentatie

Logboek week 12

30-4-2012 Koninginnedag

1-5-2012 13:00-22:00	verslag controle + aanvullen verslag
2-5-2012 8:30-17:00	Literatuur onderzoek gecontroleerd + Pompverslag aangevuld.
3-5-2012 8:30-17:00	Voorbereiden demonstratie chocolade printen bij Miummm (te gruzelaren incl pers), filmopn
4-5-2012 8:45-17:30	Voortgangsgesprek, verslagen verbeteren

Toelichting:

Deze week is er voornamelijk gewerkt aan de documentatie van de gemaakte voortgang, het geleverde werk en de diverse verslagen. Tevens is er deze week nog de gewerkt aan het printen van chocolade en is de nieuwe chocolade printkop ontworpen, verbeterd, geprint en getest. De wanden van deze printkop zijn dikker gehouden om het probleem van de referentie printkop te voorkomen. Ondanks 3mm dikke wanden is de printkop zeker niet waterdicht (15 cm waterdruk) en is er gekozen voor een coating die met behulp van een snel hardende epoxyhars <30sec is gerealiseerd. De firmware van de Darwin is geüpdate waardoor deze beter geschikt is voor het printen van chocolade (je kan de schroef nu ook handmatig achteruit laten draaien)

Doelstellingen van volgende week (11&12):

Volgens planning:

- toevoegen van nieuwe ontwerpen rekstrookjes
- printen van rekstrookjes voor div. toepassingen
- Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen
- Laatste week onderzoek nieuwe printkop en keuze
- Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen pasta's bepalen

Opmerkingen:

De planning is aanzienlijk gewijzigd, en richt zich nu op de printkop, het verwerken van alle meetresultaten en experimenten en het printen met chocolade (dit laatste in samenwerking met de docenten). Deze week is al gebleken dat laag viscose vloeistoffen (water) door het huidige printkop ontwerp heenlekken: de huidige wanden zijn niet massief genoeg om 10cm waterdruk tegen te houden. Dikkere wanden zullen dus benodigd zijn voor mijn printkop als er perslucht wordt gebruikt. Tegelijkertijd zal de lekkage hiervan fungeren als overdrukventiel waardoor het 'explosiegevaar' ($2 < \text{bar}$) theoretisch afneemt.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 14

Gerealiseerd vorige week:

- Experiment T1 (temperatuur) uitgevoerd.
- RepMan Darwin gerepareerd en voorbereid op proeven
- Experimenten met chocolade voor het Miummm event

Logboek week 13

7-5-2012 8:45-17:15	gevonden stijl en vormfouten uit literatuur en printkopverslag halen + beeldmateriaal genereren voor printkopverslag
8-5-2012 8:30-17:00	documentatie, verwijderen van inconsequente opmaak & stijl wijzigen van Printkopverslag & literatuurverslag
9-5-2012 8:25-17:15	Uitproberen en maken en deels omzetten van verslagen in div. stijlen voor Thesis. (apa afgevallen).
10-5-2012 8:30-18:00	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag
11-5-2012 8:30-17:30	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag & filmopnames chocolade

Toelichting:

Deze week is vooral gewerkt aan de verslagen en aan het aanvullen hiervan. Door het werken aan de verslagen kwamen ook verdere onbekenden naar voren op het gebied van de pasta's, zodoende zijn er ook met behulp van een stereomicroscoop (10x-100x vergroting) (destructief) onderzoek gedaan naar de samples, door naar de materiaalstructuur van de doorsnede te kijken. Hier kwamen een aantal mogelijke verklaringen naar boven over de slechte geleiding: een zeer onregelmatige en grillige oppervlakte structuur, maar ook enkele verrassingen zoals het (visueel) ontbreken van het matrix materiaal (de lijm). De chocolade experimenten hebben tevens bijgedragen aan verder ontwerp van de printkop en hebben tevens geleid tot aanbevelingen voor verder onderzoek naar het extruderen van pasta's.

Doelstellingen van volgende week (15):

Volgens planning:

- Documentage afronden
- Leveren van een proof of concept

Opmerkingen:

De oorspronkelijke planning loopt vanaf deze week weer 'gelijk' aan de daadwerkelijke weekplanning, doch met een andere invulling: deze weken zullen gebruikt worden voor het afronden van de documentage, maar ook voor het leveren van een proof of concept op het gebied van pasta extrusie (chocolade in dit geval) en het onderbouwen van de getrokken conclusies op de voor rekstrookjes ongeschikte koperpasta's

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 15

Gerealiseerd vorige week:

- Microscopisch onderzoek uitgevoerd naar de geprinte samples
- Documentage uitgebreid, (ook stijl en vormfouten verbeterd)
- Werken aan Thesisverslag

Logboek week 14

7-5-2012 8:45-17:15	gevonden stijl en vormfouten uit literatuur en printkopverslag halen + beeldmateriaal genereren voor printkopverslag
8-5-2012 8:30-17:00	documentatie, verwijderen van inconsequente opmaak & stijl wijzigen van Printkopverslag & literatuurverslag
9-5-2012 8:25-17:15	Uitproberen en maken en deels omzetten van verslagen in div. stijlen voor Thesis. (apa afgevallen).
10-5-2012 8:30-18:00	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag
11-5-2012 8:30-17:30	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag & filmopnames chocolade

Toelichting:

Deze week is wederom gewerkt aan de documentage (de thesis in het bijzonder is uitgebreid) en ik heb het theoretische pompdebiet van de Moineau extruder algebratisch uitgewerkt en berekend (de beschikbare bronnen gingen verder dan benodigd voor de benodigde indicatie van het debiet met de voor mij relevante parameters). Tevens is er deze week gewerkt aan de eerste Erasmus documenten en het uithanden van de vereiste evaluatie formulieren.

Doelstellingen van volgende week (15):

Volgens planning:

- Documentage afronden
- Voorbereiden leveren van een Proof-of-Concept

Opmerkingen:

Naast de documentage, zal het ontwerp van de pomp niet verder aangepast worden (de chocolade experimenten die hebben bijgedragen aan enkele verbeteringen zijn afgerond) en kunnen aanstaande week ook de technische tekeningen gemaakt worden.

Volgende week zal het lessius gesloten zijn op 17 en 18 mei i.v.m. de hemelvaart vakantie. In deze periode zal ik zoveel mogelijk thuis doorwerken. (met uitzondering v/h weekend i.v.m. eigen verjaardag).

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 16

Gerealiseerd vorige week:

- Gewerkt aan thesis (o.a. Hoofdstuk 4)
- Experimentverslagen geschreven
- Formules opgesteld en uitgerekend voor het eigen Moineau pomp ontwerp
- Stijl & opmaakverbeteringen (pompverslag)
- Weekend: werken aan Erasmus

Logboek week 15

14-5-2012	8:20-17:00	hoofdstuk 4 geschreven Thesis, Gewerkt aan experimentverslag G, moineau pompverslag, los
15-5-2012	8:45-13:30/ 17:00-2:30	Presentatie & voorbereiding / Werken aan Thesis hoofdstuk 4
16-5-2012	8:30-18:00	stijl & opmaakverbeteringen Pompverslag, papers doorlezen over moineau pompen)
17-5-2012	Hemelvaart	Lessius gesloten (thuiswerken: formules opstellen, bewijzen & uitvoeren: pompdebiet)
18-5-2012	Hemelvaart	Lessius gesloten (werken aan Erasmus documenten)
19-5-2012	Weekend	Werken aan Erasmus documenten (ervaringen en verschillen tussen de Belgische en Nederlandse cultuur documenteren)

Toelichting:

Het ontwerp van de Moineau printkop is aangepast op basis van voortschrijdend inzicht en vergaarde kennis op FDM-parts, en is klaar om geprint te worden wanneer de Dimension™ beschikbaar is (er zijn enkele grote orders waardoor printen nog niet mogelijk is). Tevens ben ik begonnen aan de Technische tekeningen voor de volledigheid van de documentatie van mijn Thesis. Ook deze week is er verder gewerkt aan de verslaglegging (uitbreiden van de details en illustraties).

Doelstellingen van volgende week (17):

Weekverslagen

Attachment E

Volgens planning:

- Inleveren Thesis & geven van presentatie
-

Opmerkingen:

Het inleveren van de documenten is aanzienlijk sneller dan gepland: in Nederland dienen de documenten vrijdag ingeleverd te worden (zoals in de planning beoogd), maar op woensdag ochtend in België. Tevens bleek dit niet de digitale versie te betreffen (in de veronderstelling dat de kopie-shop in de resterende werkdagen de documenten drukt), maar de ingelijmde versie te betreffen wat de deadline verder terugschuift tot aanstaande maandag / dinsdag. Hiertussen zit in het weekend nog een 'sociale verplichting' van het gecombineerde Sarah en Abraham feest van mijn moeder, oom en tante. De opgebouwde speling met het geleverde (voorwerk) op de documentage zal door de inkorting van 4 werkdagen opgebruikt worden om de deadline te halen.

Opmerkingen bedrijfspromotor:

Opmerkingen hogeschoolpromotor:

Tussentijds opvolgingsformulier Stage en eindwerk 2011-2012

Eindwerk: Printing of Strain Gauges using Additive Manufacturing

Bedrijf: lessius – College De Nayer

Student: Jeroen S. Beerthuizen

Promotor: Patrick Pelgrims

Bedrijfspromotor: L.J.M. Koeleman

Opleiding: Werktuigbouwkunde (HHS) / O & P (Lessius)

Periode (weeknr. volgens agenda): 17

Gerealiseerd vorige week:

- Gewerkt aan de technische tekeningen (volledig voltooid)
- Gewerkt aan thesis (invullen van de diverse onderzoeken, conclusies etc.)
- Gewerkt aan printkop verslag (bijwerking van de laatste wijzigingen)
- Controle op taal en stijlfouten van de diverse Pomp & literatuurverslag.

Logboek week 15

21-5-2012 8:45-17:30	Werken aan Technische Tekeningen
22-5-2012 8:45-18:05	Werken aan Technische Tekeningen + kostenberekening printkop (100 euro kostprijs = 172 euro aanvullen documentage printkop verslag, werken aan Thesis
23-5-2012 8:30-18:00	
24-5-2012 8:30-18:45	Werken aan Thesis
25-5-2012 8:45-19:04	Werken aan printkopverslag Weekend: werken aan de documenten + controleren en verbeteren
28-5-2012 8:50-23:30	Controleren van de documenten + schrijven van samenvattingen + laatste weekverslag
29-5-2012 7:15-21:00 DL	controleren van alle gestelde eisen, definitief printen en inbinden van de documenten (21:00)
30-5-2012 Gepland DL	Inleveren documentage Lessius op 11:30, begin aan inventor simulatie.
31-5-2012 gepland	Gepland: Werken aan uitbreiden Inventor modellen voor animatie van de rotor.
1-6-2012 Gepland DL	inleveren stage @ den haag DL: deadline

Toelichting:

In verband met de naar voren opgeschoven deadline ten opzichte van de planning is er het weekend doorgewerkt aan de Documentage wordt er vandaag de laatste hand gelegd aan het drukwerk: samenvoegen, uniforme stijl handhaving, laatste spellingcontrole, updaten van referentie lijsten etc.

Doelstellingen van volgende weken:

Volgens planning:

- Voorbereiden van de (scriptie) verdediging
- Voorbereiden van de presentatie

Opmerkingen:

De opgebouwde speling met betrekking tot de verslaglegging is zeer waardevol gebleken. Tevens is de Dimension bezet geweest door diverse grote (externe) opdrachten tot en met week 17 en zal de printkop deze week pas geprint kunnen worden.

Opmerkingen bedrijfspromotor:**Opmerkingen hogeschoolpromotor:**

Plan van Aanpak

Bachelor WTB

“Ontwerpen en construeren”

Attachment F

Campus de Nayer
Sint-Katelijne-Waver 9-2-2012

Auteur: Jeroen Beerthuizen
Contact: j.s.beerthuizen@student.hhs.nl
Studentnummer: 09085785
Plaats: Sint-Katelijne-Waver

Tutor: I.j.m. Koeleman
Contact: I.j.m.koeleman@hhs.nl

Opdrachtgever: Patrick Pelgrims
Contact: p.pelgrims@lessius.eu

Versie	Hoofdstuk	Omschrijving	Datum
1	Alle	Concept - Plan van Aanpak	9/02/2012
2	Alle	Vormgeving aangepast aan Thesis	29/05/2012

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
Voorwoord.....	4
1. Achtergrond.....	5
2. Afstudeeropdracht.....	6
2.1. Opdrachtformulering.....	6
2.2. Opdracht.....	6
3. Doelstelling.....	8
Inzicht krijgen in werking, theorie en eigenschappen van onderdelen	8
Het ontwikkelen/ontwerpen en kiezen.....	8
Overige doelstellingen.....	9
4. Projectgrenzen.....	9
4.1. Vooronderzoek.....	9
4.2. Benodigdheden	9
4.3. onderzoeks methode	9
4.4. Tijd	9
4.5. Rekening houden met produceerbaarheid en productiekosten.....	10
4.6. Parametrisering	10
4.7. Nauwkeurigheid onderzoek	10
4.8. documentatie	10
4.9. Aftudeerdeuur	10
5. Werkwijze	11
5.1. Falsificatie.....	11
5.2. Experimenteel onderzoek (volgens Pasteur)	12
6. Projectactiviteiten.....	13
7. Producten.....	14
8. Kwaliteit	15
Besprekingen.....	15
Feedback op de opgeleverde producten.....	15
Project afronding en onderzoeks dossier.....	15

9.	Projectorganisatie.....	16
9.1.	Beschikbaarheid	17
9.2.	Bevoegdheden en verantwoordelijkheden.....	17
9.3.	Communicatie	17
10.	Planning	18
11.	Kosten en baten.....	18
12.	Risico's	19
12.1.	Technische risico's.....	19
12.2.	Veiligheidsrisico's	19
12.3.	Projectrisico's	19
13.	Begrippenlijst.....	20
14.	Bronvermelding	21
Bijlage A: Competentieset		22
Bijlage B: Planning.....		23
Bijlage C: targets and tasks as stated in the Erasmus requiry.....		24

Voorwoord

Het Plan van Aanpak heeft als doel een goed houvast te geven voor de planning en het beoogde verloop van mijn afstudeeropdracht en onderzoek. In het kader van het EraSME project: 3DAMEEA, doe ik onderzoek naar het printen van rekstrookjes met behulp van additieve vervaardiging (3D-printing). Hiervoor dient er vooronderzoek gedaan te worden naar printkoppen, inkt (pasta's), rekstrookjes en de aansturing van de printer zelf met als doel om het onderzoek en mijn afstuderen succesvol te volbrengen. Dit plan van aanpak is geschreven voor een aantal personen.

Ten eerste is het plan van aanpak bestemd voor mezelf, als leidraad en ondersteuning voor het succesvol doorlopen van mijn afstudeerstage. Verder is hij bestemd voor mijn begeleider of 'promoter' van Campus de Nayer en De Haagse Hogeschool. Het plan van aanpak geeft daarnaast ook een uitgangspunt voor het vastleggen van en stellen van projectgrenzen aan mijn onderzoeksopdracht en het succesvol afronden ervan.

Het plan van aanpak als eerste de achtergrond en motivatie van het onderzoek beschrijven. Daarna wordt de afstudeeropdracht toegelicht en beschreven welke activiteiten en onderzoek er nodig is om de onderzoeksopdracht goed af te ronden met behulp van een stappenplan. Aan het onderzoek (theorie en opdracht) zullen nuances aangebracht worden in de vorm van projectgrenzen in het gelijknamige hoofdstuk. Vervolgens zal er een overzicht worden gegeven van de op-te-leveren producten en de kwaliteit waar deze aan moeten voldoen. Ten slotte wordt omschreven welke verantwoordelijkheden en bevoegdheden ik heb en wat de bijbehorende werk-/urenverantwoording , samenwerking en communicatie er van mij verwacht wordt.

1. Achtergrond

Het EraSME project “3D Additive Manufacturing of Electrical and Electronic Applications” is recentelijk goedgekeurd voor subsidie door de Europese Commissie. Het doel van dit project is om de mogelijkheden van bestaande en nieuwe materialen te verkennen in combinatie met de technieken van 3D printing (fused deposition modeling, ink-jet printing en aerosol-jet printing), om toepassing specifieke mechanische en elektronische applicaties te produceren met een hoge toegevoegde waarde. 3D-printing, een van de opkomende micro additieve vervaardiging technologieën, is een nieuw interessant productie proces, dat kan leiden tot nieuwe en innovatieve industriële en medische applicaties in de nabije en verdere toekomst zoals in het bovengenoemde project (EraSME: 3DAMEEA)

(vrij vertaald naar, bron: <http://www.kuleuven.be/onderzoek/associatie/idk.html>)

Een van deze toepassingen is mijn onderzoek naar de productie van rekstrookjes met behulp van additieve vervaardiging. Rekstrookjes kennen vele toepassingen en worden gebruikt om de rek, buiging of belasting van een object te meten. Dit onderzoek naar rekstrookjes kan daarbij de weg vrijmaken voor verder onderzoek, schaalverkleining en toepassingen in het algemeen.

Campus De Nayer*, is een actieve, toonaangevende onderzoeksinstelling waar academisch ondersteund, toepassingsgericht wetenschappelijk en technologisch onderzoek wordt verricht ter bevordering van de innovatie in de industrie en de samenleving.

Het Departement Industriële Ingenieurswetenschappen en de opleidingen van de Groep Design & Technologie van Campus De Nayer hebben een lange traditie in het uitvoeren van onderzoek. Fundamenteel-wetenschappelijke vindingen worden vertaald naar valoriseerbare toepassingen en oplossingen voor technologische en maatschappelijke problemen. Het onderzoek spitst zich toe op volgende domeinen:

- Embedded System Design (EmSD)
- Microbiële Procesecologie en –beheersing (PMEM)
- Proces- en Milieutechnologie (Promil)
- Thermische en Elektrische Energiesystemen (Theles)
- **Ontwerp en Productie (O&P)**
- Materialen en Structuren (M&S)
- Toegepast Onderwijskundig onderzoek (LESEC)

Campus De Nayer streeft naar een intensieve interactie tussen het toegepaste onderzoek en de opleiding van industrieel ingenieurs en professionele bachelors in technologie. De studenten worden zo, zowel in de hoorcolleges als in de labozittingen, geconfronteerd met recente technologische ontwikkelingen.

*Bron: <http://mechelen.lessius.eu/onderzoek-dienstverlening-aan-lessius-mechelen/onderzoek-campus-de-nayer>

Mijn onderzoek wordt uitgevoerd op de afdeling Ontwerp en Productie, hierna O&P te genoemd, onder de leiding van het hoofd van O&P; Patrick Pelgrims. Naast de heer Pelgrims zullen er ook enkele master en bachelor studenten aanwezig zijn. Deze studenten hebben elk hun eigen onderzoek waartussen samenwerking op het gebied van kennis en middelen aanwezig dient te zijn om de ontwikkelingen te bevorderen.

2. Afstudeeropdracht

In dit hoofdstuk wordt de afstudeeropdracht beschreven, wat het onderliggende probleem is en wat het einddoel inhoudt.

2.1. Opdrachtformulering

Het printen van rekstrookjes (zie afbeelding 2.2-1) met 3D printers heeft tot nu toe geen goede resultaten opgeleverd omdat de geprinte rekstrookjes inconsistenten meetwaarden geven en zeer snel degraderen. Hierdoor is er behoefte aan onderzoek naar het kunnen printen van duurzame en hoofdzakelijk consistenten rekstrookjes en bijbehorende variabelen, om rekstrookjes voor metingen en applicaties geschikt te maken. Binnen de huidige technieken en toegevoegde middelen kunnen geleidende banen alleen worden geprint met pasta's. Een schroefverdrijver printkop is in de opdracht meegenomen omdat deze in tegenstelling tot de standaard plunjeprintkop een constante materiaalaanvoer en uitvoer heeft. Indien uit onderzoek blijkt dat een van de middelen of componenten (schroefverdrijver, pasta's of printer-type) niet mogelijk is, kan er uitgeweken worden naar standaardoplossingen dan wel een andere printer.

2.2. Opdracht

De afstudeeropdracht betreft het doen van onderzoek naar de mogelijkheden om rekstrookjes te maken met behulp van additive manufacturing. Hierbij zijn er tevens twee verwante onderzoeken gewenst/benodigd die tevens onderdeel uitmaken van mijn opdracht.

Het eerste onderzoek is het ontwikkelen/uitkiezen van de geschikte ‘inkt’ (pasta) en samenstelling ervan in overleg met de producent en mijn promotor, om een betrouwbaar en duurzame printbaan van het rekstrookje mogelijk te maken.

Het tweede onderzoek betreft het onderzoeken en kiezen van een op schroefverdrijving gebaseerde printkop om de productiemogelijkheden, snelheid en/of kwaliteit van de geprinte circuits te kunnen verhogen door de diverse voordelen van deze printkop ten opzichte van plunjeprintkoppen. Het einddoel van het onderzoek is het kunnen printen van betrouwbare en consistenten rekstrookjes. Voor dit einddoel dienen de rekstrookjes tevens getest, geparametriseerd en gedocumenteerd te worden en dienen alle onderzoeken met bijbehorende eisen voltooid en gedocumenteerd te zijn.

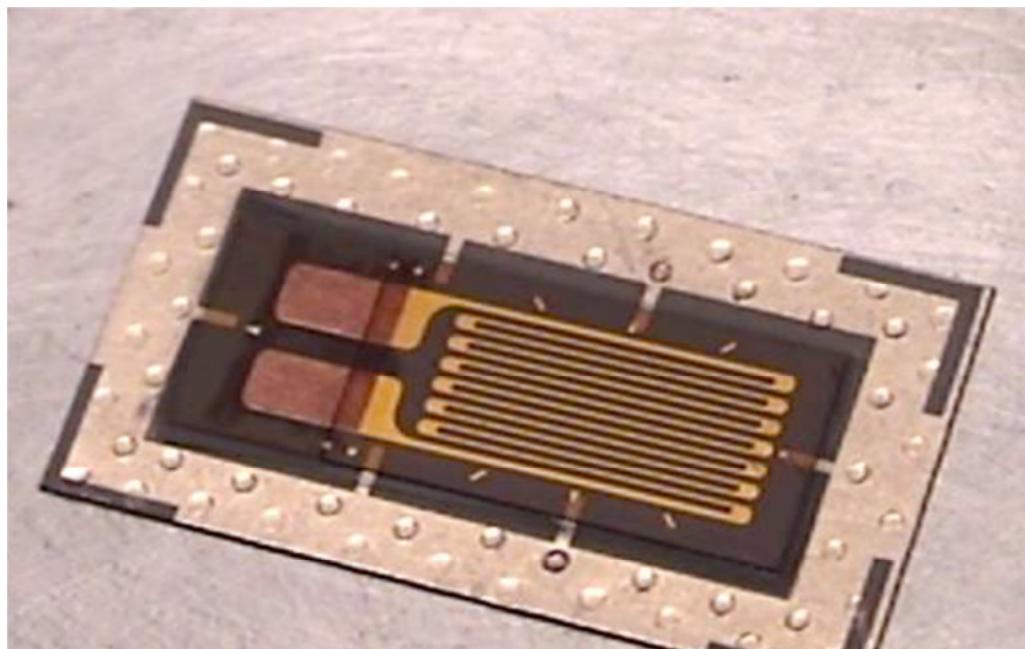
Ten slotte zal ten proeve van dit einddoel een proof of concept gegeven worden:

- D.m.v. applicatie (voorstellen reeds aanwezig)
- Multifunctioneel product produceren door middel van additive manufacturing

Voor veel van de onderzoeken en keuzemomenten is extra kennis benodigd voor het doorgroonden van de onderliggende processen en technologieën. Daar deze niet allen binnen mijn eigen opleiding behandeld zijn dien ik deze kennis door middel van literatuurstudie mezelf toe te eigenen, dan wel te verdiepen of verbreden. Ook hier wordt tijd voor ingepland binnen de opdracht. Een puntsgewijs overzicht van de belangrijkste taken en onderdelen is te vinden op de volgende pagina.

Ter verduidelijking van de opdracht een puntsgewijze opsomming van de te volbrengen taken:

- Literatuurstudie
 - o Rekstroken: theorie, werking, materialen, metingen, eigenschappen.
 - Wheatstone bridges: theorie, werking, productiemogelijkheden, eigenschappen
 - o Additive manufacturing: technieken, mogelijkheden, (huidige) beperkingen
 - o Voorstudie: pasta's (inkt) (o.a. Carbon-nanotubes / Koperflakes)
 - Pakket van Eisen en Wensen.
 - Keuze maken tussen de diverse pasta's
 - Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen
 - Schroef-printkoppen en maken van een keuze
- Backup: plunjie-printkop*
- Gecontroleerd printen/deponeren van pasta met de toegewezen printer en gekozen printkop
 - o Pakket van Eisen en Wensen
 - o Testen, parametriseren, documenteren
- Proof of concept geven:
 - o D.m.v. Applicatie (voorstellen reeds aanwezig)
 - o Multifunctioneel product produceren door middel van additive manufacturing
- Documentatie/verslaglegging van het onderzoek en afstuderen.
- Presentatie en scriptie verdediging



Afbeelding 2.2-1: Rekstrookje

3. Doelstelling

Met de onderzoeks vragen in beschouwing genomen is de doelstelling van mijn afstudeeropdracht als volgt te formuleren:

- Het ontwerpen en printen van betrouwbare en duurzame rekstrookjes met behulp van additive manufacturing voor gebruik in multifunctionele applicaties.

Voor het kunnen bereiken van deze doelstelling en dit hoofdonderzoek zijn er zoals eerder vermeld aanvullende onderzoeken (en dus doelstellingen) benodigd of gewenst (en verplicht gesteld) zoals geformuleerd in mijn afstudeeropdracht. Onderstaande doelstellingen zijn gebaseerd op deze (deel-)onderzoeken opgezet in de vorm van een stappenplan:

Inzicht krijgen in werking, theorie en eigenschappen van onderdelen

Een van mijn persoonlijke doelstellingen is het verbreden van mijn kennis op het gebied van additive manufacturing, materiaalkunde en techniek in het algemeen. Naast mijn persoonlijke doelstelling is het vergaren van de kennis, zoals genoemd in de volgende doelstellingen, tevens van belang om onderzoeks vragen zelf gericht en goed te kunnen uitvoeren (zie ook: werkwijze Hfst. 5)

- De werking, theorie en eigenschappen van rekstrookjes leren kennen
- De werking, theorie en eigenschappen van het meten/lezen van rekstrookjes leren kennen.
- De werking, theorie en eigenschappen van een schoefverdrijver leren kennen
- De werking, theorie en eigenschappen van pasta's voor 3D printing leren kennen.
- De werking, theorie en eigenschappen van de toegewezen 3D printer leren kennen

Het ontwikkelen/ontwerpen en kiezen

Nadat er inzicht is verkregen met behulp van de genoemde doelstellingen kan er worden verdergegaan met het ontwikkelen, ontwerpen of kiezen van de doelstellingen die opgesteld zijn aan de hand van de onderzoeks vragen waar mijn afstudeeropdracht op gebaseerd is. Deze doelstellingen en deelvragen werken samen toe naar (of zijn onderdeel van) de laatste doelstelling:

- Een pasta ontwikkelen/vinden die voor het gewenste gedrag zorgt van geprinte rekstrookjes.
- Een schoefverdrijver printkop vinden/kiezen die aansluit bij de eisen en wensen aan de kwaliteit van de te printen pasta's, circuits en rekstrookjes
- Een ontwerp maken voor een rekstrookje die aansluit bij de eigenschappen van het materiaal en de gewenste meetgegevens (rek, buiging, torsie, stress, etc.)
- Het ontwerpen en produceren van een proof of concept van de werking van de ontwikkelde rekstrookjes

Overige doelstellingen

Naast de doelstelling van een proof of concept van het onderzoek zijn er tevens nog doelstellingen die voor mijn afstuderen of voor de wetenschappelijke methode van belang zijn die niet pasten in de bovengenoemde stukken. Dit maakt deze doelstellingen niet minder belangrijk, en in het geval van vervolgonderzoek zelfs belangrijker (als een onderzoek nergens toe lijdt (ook niet het vermijden van het gekozen pad) is het onderzoek voor niets geweest.

- Leren werken in een internationale context
- Het opleveren van een (meer dan) HBO-waardig afstudeeropdracht en -verslag
- Het mogelijk maken van vervolgonderzoek op basis van mijn afstudeeropdracht
- Het presenteren en documenteren van de bevindingen en resultaten

4. Projectgrenzen

Om het onderzoek gericht en beheersbaar uit te voeren is van belang om de projectgrenzen van het onderzoek aan te geven. Om tot het einddoel te komen zijn meerdere onderzoeken benodigd die allen (waar het geen literatuuronderzoek betreft) kans hebben op uitloop door tegenvallende resultaten. Paal en perk stellen aan de breedte en eisen aan de onderzoeken en resultaten is hierbij van groot belang om alle doelstellingen te behalen binnen de gestelde termijn van 17 weken. De projectgrenzen zullen per onderzoek uitgewerkt worden en zullen in de resultaten en het eindverslag terug te vinden zijn.

4.1. Vooronderzoek

Voor mijn afstudeeropdracht zijn meerdere (proefondervindelijke) vooronderzoeken gedaan. Hieruit zijn enkele aanbevelingen gekomen (zoals de schroefverdrijver), maar ook tegenvallende resultaten, in het geval van het printen van rekstroken. Mijn onderzoek gaat daarom dieper en verder in de materie om de problemen op te sporen en de mogelijke oplossingen met behulp van de theorie te kunnen vinden en verbeteren. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van de beschikbare bibliotheek, voorgaande eindwerken en gevalideerde websites.

4.2. Benodigheden

Voor de afstudeeropdracht zijn er diverse bronnen nodig voor de literaire of theoretische ondersteuning. Daarnaast is er behoefte aan een (geschikte) 3D printer die ik gedurende mijn afstuderen kan blijven gebruiken en een producent/leverancier van inkt/printmaterialen.

4.3. onderzoeks methode

Voor het uitvoeren van onderzoek richt ik me eerst op literatuuronderzoek voor ik begin met het uitvoeren van de onderzoeksopdracht. Voor het uitvoeren van de onderzoeksopdracht, zal ik gebruik maken van een probleemstelling, hypothese, antwoord en verificatie (beproefing) en een feedbackloop waar nodig. De exacte probleemstellingen zijn op dit moment nog niet bekend doordat de personen met ervaring van de eerdere proeven afwezig zijn, i.v.m. een lesvrije week. Het formuleren van de juiste (aantal) probleemstelling(en) is een projectgrens omdat het bepaald hoeveel onderzoek er gedaan moet worden en wanneer er een probleemstelling beantwoord is met een hypothese of geverifieerd is.

4.4. Tijd

Van de afstudeerperiode zijn 17 weken beschikbaar om alle onderzoeken en bijbehorende documentatie uit te voeren en af te ronden. De tijd zelf vormt hiermee een projectgrens en zorgt ervoor dat het van belang is te bepalen wat wel en niet onderzocht wordt en wanneer er een (voorlopige) conclusie getrokken kan worden uit het onderzoek.

4.5. Rekening houden met produceerbaarheid en productiekosten

Binnen het College de Nayer is er een klein aantal printers beschikbaar met hun bijkomende mogelijkheden en beperkingen: niet alle instellingen, inkt/pasta's, nauwkeurigheden en overige eigenschappen zijn bij de printers beschikbaar. Daarnaast kunnen de kosten van printmateriaal snel oplopen, hier heb ik geen concrete beperkingen voor gekregen, maar er dient wel rekening mee gehouden te worden evenals met de beschikbaarheid van het printmateriaal en de productietijd.

4.6. Parametrisering

Bij het produceren van de eerste rekstrook-proeven dienen de eigenschappen van de geprinte rekstrookjes geparametriserd (in kaart gebracht) te worden om een modellen op te stellen van de verbanden tussen de weerstand(variatie), rek, belastingen, materiaaleigenschappen en levensduur. Bij het afronden van een proef zullen deze modellen de doorslag geven of de proef geslaagd is en of het ontwerp levensvatbaar is en gebruikt kan worden voor verder onderzoek.

4.7. Nauwkeurigheid onderzoek

Een randvoorraarde aan de projectgrenzen en het onderzoek is de maximaal haalbare nauwkeurigheid en een minimale kans op (menselijke) fouten aanwezig. Deze kunnen de voortgang, resultaten en mogelijkheden tot het trekken van conclusies verhinderen. Daarnaast zal binnen de beschikbare nauwkeurigheid verdere projectgrenzen gesteld moeten worden om de beste tijd-kwaliteit verhouding te bewerkstelligen daar ook de tijd (4.4) en afstudeerdeuur (4.9) onderdeel zijn van de projectgrenzen

4.8. documentatie

Aan het einde van elk voltooid (deel-)onderzoek zullen de uitgevoerde proeven, bevindingen en aanbevelingen gedocumenteerd worden en waar mogelijk theoretisch worden onderbouwd. Aan het einde van het gehele onderzoek zullen deze documentaties bij elkaar gevoegd worden tot één geheel ter naslagwerk voor een ieder die het onderzoek wil voortzetten, zie Hfst. 1; achtergrond.

4.9. Afstudeerdeuur

De afstudeeropdracht duurt vanaf 1/6 februari 2012 – 1 juni 2012

5. Werkwijze

Voordat ik met de daadwerkelijke (fysieke) onderzoeken begin, wordt de eerste week van mijn stage gekenmerkt door een literatuurstudie op de theorie, achtergrond en onderzoeken die in de afstudeeropdracht reeds zijn omschreven. Dit literatuuronderzoek is tevens van belang om in het vervolg stadium de juiste hoofd-, deelvragen, problemen en conclusies te kunnen stellen.

Om de onderzoeken met succes te volbrengen dient er ook gestructureerd gewerkt te worden om een wetenschappelijk en repeteerbaar resultaat op te kunnen leveren. Hiervoor maak ik gebruik van enkele klassieke methoden waar ik soms omwille van het pakket van eisen aanvullende criteria aan stel om een proef als succesvol te bestempelen. Een voorbeeld hiervan is dat er na 3 of meer trekproeven, het gemiddelde geen definitief antwoord is: tenzij alle meetwaarden binnen de zelf gestelde standaarddeviatie blijven.

5.1. Falsificatie

Ik zal op die onderzoeken waar een nieuwe theorie of bewering, gegeven of beredeneerd wordt deze te accepteren op bron van falsificatie en waar mogelijk een tegenexperiment opstellen om de falsificatie te bevorderen tot verbetering, bijstelling of verwerping van mijn theorie op wetenschappelijke gronden.

Toelichting falsificatie:

*De gerevisioneerde vorm van methodische falsificatie heeft vele nieuwe mogelijkheden. Als eerste, ontkent het dat ‘in het geval van een wetenschappelijke theorie, onze beslissing afhangt van het resultaat van experimenten. Als deze de theorie bevestigen, mogen we deze accepteren totdat we een betere vinden. Als ze de theorie tegenspreken, dan wijzen we deze af¹.’ Het ontkent dat ‘een test uiteindelijk het lot van een theorie beslist, in andere woorden een overeenkomst over standaard beweringen². Tegengesteld aan naïeve falsificatie, *geen experiment, experimenteel verslag, observering of goed onderbouwde en eenvoudige falsificatie theorie alleen*, kan leiden tot falsificatie.³ Er is geen falsificatie voordat er een betere theorie wordt ontwikkeld.⁴ (1-4 Volgt uit Popper)*

*vrij vertaald naar bron: The methodology of scientific research programmes, door I. Lakatos, J. Worrall, G. Currie, pagina 35).

5.2. Experimenteel onderzoek (volgens Pasteur)

Naast de methode van falsificatie die voornamelijk de voorwaarden beschrijft voor het mogen accepteren, verwerpen en het opstellen van een theorie, is ook de werkwijze van het wetenschappelijk onderzoek zelf in een vast stappenplan vast te leggen, gebaseerd op Pasteur. Deze wetenschappelijke methode is van oorsprong bedoeld voor biologisch onderzoek maar kan 1 op 1 vertaald worden naar technisch onderzoek en zal ik dan ook hanteren gedurende mijn afstuderen.

1. Oriëntatie
 - a. Formuleren van een onderzoeksraag
 - b. Opstellen van een hypothese
 - i. Verwachte resultaten
 - ii. Welke conclusie de hypothese bevestigt
2. Planning
3. Uitvoering
4. Controle
 - a. Controle van een correcte uitvoering van het onderzoek
 - b. Controle van de meetgegevens
 - c. Controle van de juiste verwerking van de gegevens
 - d. Vergelijking van de conclusie met de hypothese
5. Evaluatie
 - a. Evalueren van de volledigheid van gegevens
 - b. Evalueren voor verbeterpunten (van) en aanvullingen op het experiment
 - c. Zijn er problemen geweest, en hoe zijn deze opgelost?
 - d. Opstellen van nieuwe onderzoeksraag en aanbevelingen
6. rapportage

Bron: VWO Bovenbouw, Nectar, Biologie 2, Noordhoff Uitgevers B.V.

6. Projectactiviteiten

Binnen mijn afstudeerproject zullen verschillende projectactiviteiten plaatsvinden.

- Voorbereiding. Hierbij horen de activiteiten:
 - Introductie op de afdeling O&P
 - Het schrijven van een plan van aanpak.
- Vooronderzoek: Hierbij horen de activiteiten:
 - Literatuurstudie
 - Rekstrookjes
 - Wheatstonebridges
 - Schroefverdrijver
 - Printpasta's en inkt
 - Toegewezen 3D printer
 - Het formuleren van Hoofd-, deelvragen en hypotheses
 - Het bepalen welke technieken en middelen gebruikt kunnen worden
 - Pakket van eisen en wensen¹.
 - Een overzicht van alle relevante informatie
 - Aanleggen van een onderzoeks dossier
 - Ten dienste van alle ondergenoemde 'documentatie'
 - Aanleggen van een bronnenlijst
- Onderzoek en verdieping
 - Het kiezen van een schroefverdrijver-printkop
 - Het uitvoeren van oriënterende proeven
 - Backup: plunjje printkop weer in gebruik nemen
 - Gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen van de pasta's bepalen
 - Pakket van eisen en wensen²
 - Communicatie starten met de inkt fabrikant/leverancier over de mogelijkheden
 - Het opstellen van nieuwe proeven en experimenten. (vervolgonderzoeken)
 - Gecontroleerd printen/deponeren van pasta met de toegewezen printer en gekozen printkop
 - Pakket van eisen en wensen³
- Berekeningen en evaluatie:
 - Controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven.
 - Testen, parametriseren, documenteren
 - Bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen.
 - Evaluatie
 - Bijstelling van de proef/ het experiment, ontwerp
- Vervolgonderzoeken
 - Printen van rekstrookjes voor verschillende toepassingen
 - Testen, parametriseren, documenteren, evalueren
- Leveren van een proof of concept
 - Controle & testen
 - documentatie
- Afsluiting: Hieronder vallen de volgende activiteiten:
 - Het samenvoegen en documenteren van alle informatie
 - Het houden van presentaties.
 - Het overdragen van kennis aan eventuele opvolgers

7. Producten

Gedurende mijn afstuderen zullen er gedurende de projectactiviteiten diverse bijbehorende producten opgeleverd worden. In tabel 7-1 kunt u deze producten terugvinden:

<i>Informatie</i>	<i>Product</i>
Voorbereiding	Plan van aanpak
Tussenrapport	Pakket van eisen en wensen ¹ Onderzoeks rapport Conceptversie onderzoeks dossier
Onderzoek en verdieping	Keuzeverantwoording schroefverdrijver onderzoeksvoorstellen Pakket van eisen en wensen ² Onderzoeks dossier Pakket van eisen en wensen ³ Onderzoeken/proeven & experimenten Proof of concept
Afronding	Aanbevelingen en vervolgexperimenten Projectdossier (zie ook Onderzoeks dossier) (Afstudeer-) stageverslag Overige school documenten Presentaties
Ondersteunende activiteiten	literatuuronderzoek Besprekingen Vergaderingen

Tabel 7-1 Overzicht van producten. (1-3: zie vorige pagina)

8. Kwaliteit

Voor onderzoek is de waarborging van kwaliteit van het onderzoek van groot belang, om de betrouwbaarheid van het onderzoek te kunnen garanderen dan wel bij vervolg onderzoek de aanwezige marges of fouten verder te kunnen verkleinen. Daarnaast is het voor het op te leveren product: rekstroomjes van zeer groot belang dat de kwaliteit hiervan hoog is door de toepassing die dit product heeft: het leveren van consistente en betrouwbare meetgegevens.

Om de kwaliteit van het onderzoek te kunnen waarborgen wordt er vastgehouden aan klassieke onderzoeksmethoden en een grondige documentatie van de gemaakte stappen en beslissingen al dan niet met onderbouwing of toelichting. Voor de kwaliteit van de rekstroomjes is een goed ontwerp van belang maar ook naast een theoretische benadering ook een goede evaluatie van de gevonden resultaten voor proefondervindelijke conceptverbetering.

De waarborging van de kwaliteit van deze processen vind plaats door middel van:

Besprekingen (1 – 2 maal per week)

- Feedback op de opgeleverde producten door de heer P. Pelgrims
- Feedback en advies van medestudenten op de 3D print afdeling.

Besprekingen

Een tot twee maal per week zal er aan de heer pelgrims verslag worden uitgebracht van de vorderingen, hindernissen en aan de hand hiervan bepaald of een overleg voor de te nemen stappen benodigd is. Tijdens het uitbrengen van dit verslag dient er tevens nadruk gelegd te worden op de aanwezige vragen van een der beide partijen en wordt vooruitgang die in het onderzoek wordt geboekt verantwoord, bekeken en besproken. Ook wordt er bij het uitbrengen van het verslag de planning van de week doorgenomen en aangepast waar nodig.

Feedback op de opgeleverde producten

Een van de leukere onderdelen van het onderzoek is dat er ook daadwerkelijk regelmatig (eind)producten geproduceerd zullen worden. Dit is de kracht van additive manufacturing en hier zal ook gebruik van gemaakt worden voor het onderzoek. Alle geproduceerde producten zijn deel van het onderzoek en onderwerp van een onderzoek. Het is voor de kwaliteit van belang dat deze producten ook van bovenaf van commentaar worden voorzien voor een goede bijsturing van opvolgende proeven en kennisoverdracht tussen de studenten en docenten.

Naast de geprinte producten valt er onder dezelfde noemer ook verslagen, rapporten en het onderzoekdossier. Indien er onbekende variabelen, meetfout of denkfouten in staan is het zaak deze zo vroeg mogelijk in het onderzoek op te pikken om de kwaliteit en de voortgang van het onderzoek te waarborgen. Feedback hierop is essentieel.

Project afronding en onderzoeks dossier

Bij het afronden van het project dienen alle theorieën, uitgevoerde experimenten en bevindingen in het onderzoeks dossier verwerkt te zijn om een goede kennisoverdracht te verzekeren. Tevens wordt er van dit dossier gebruik gemaakt of verwezen voor het projectdossier waarin alle projectwerkzaamheden zijn opgenomen die als uitgangspunt en ondersteuning dient voor het schrijven van het afstudeerverslag en na afronding aan de heer P. Pelgrims overgedragen zal worden. Na het inleveren van alle dossiers zal er tevens een zitting of lezing gehouden worden over de bereikte resultaten, bevindingen en het proof of concept indien deze geslaagd is. Voor het overdragen van de kennis voor andere internationale studenten zal het onderzoeks dossier evenals het afstudeerverslag in het Engels worden opgesteld. Hierbij wordt er van Openoffice en Microsoft office producten gebruik gemaakt om de documenten op te stellen.

9. Projectorganisatie

Stagebegeleider

Naam: Patrick Pelgrims
 Telefoon: +32 (0)15 31 69 44
 E-mail: Patrick.Pelgrims@lessius.eu

Stage coördinator (wordt toegewezen)

Naam: L.J.M. Koeleman
 Functie: Afstudeer begeleider
 Telefoon: --
 E-mail: l.j.m.koeleman@hhs.nl

Afstudeerstudent

Naam: Jeroen Beerthuizen
 Functie: Onderzoeker, Stagair
 Telefoon: +31 (0)6 15 94 81 27
 E-mail: j.s.beerthuizen@student.hhs.nl

Naam:	Verantwoordelijkheden:
Jeroen Beerthuizen	De afstudeeropdracht volgens de gestelde eisen volbrengen Eigen initiatief en verantwoordelijkheid tonen
Patrick Pelgrims	Geeft informatie en feedback over het onderzoek Coördineert de onderzoeken tussen de studenten
Stage coördinator	Bereikbaar voor informatie en feedback Waarborging van de kwaliteit namens de HHS

9.1. Beschikbaarheid

Gedurende mijn afstuderen zal ik de reguliere school en werktijden aanhouden in verband met de openstelling van lokaal en middelen en op eigen verantwoording minimaal 40 uur per week aan mijn afstudeeropdracht besteden. In de weken waar dit niet mogelijk is (o.a. de eerste week) zal ik op eigen gelegenheid verder werken aan literatuuronderzoeken, theorie, evaluaties, documentatie en verslaglegging om de beschikbare tijd in het lab zo efficiënt mogelijk te benutten. Voor gedurende 18 weken zal ik 40 uur per week bezig zijn met de afstudeeropdracht waarna ik mijn onderzoek overdraag aan de heer P. Pelgrims of een medestudent in de vorm van een onderzoekdossier en projectdossier. Ook na mijn afstuderen zal ik per e-mail bereikbaar blijven voor vragen en toelichtingen om een vervolgonderzoek waar mogelijk, zo goed mogelijk te helpen. Tijdens de weken dient er minimaal een uur per week van mijn promotor (begeleider) beschikbaar te zijn voor feedback, controle en kwaliteitswaarborging. Dit is tevens een van de gegeven control cycli zoals opgesteld in de aanvraag van mijn Erasmus beurs.

9.2. Bevoegdheden en verantwoordelijkheden

Tijdens mijn onderzoek zal ik op eigen verantwoording het onderzoek uitvoeren en met de toegewezen printer aan de slag gaan. Tot op het huidig moment zijn mij geen beperkingen opgelegd in mijn bevoegdheden (anders dan die reeds worden opgelegd op mijn medestudenten) en staat het mij vrij van de aanwezige middelen in het lab en het Campus de Nayer gebruik te maken hiermee rusten tevens alle bijbehorende verantwoordelijkheden op mijn schouders. Indien er problemen zijn dien en zal ik deze zelf bij de heer P. Pelgrims vermelden of met de juiste persoon op De Nayer contact op nemen.

9.3. Communicatie

Het merendeel van de communicatie zal op de wandelgangen en in het lab mondeling verlopen, om hier toch houvast op te houden wordt er een project- en onderzoekdossier angelegd om kennis, problemen en andere zaken ook naar volgende personen te kunnen doorgeven wanneer zij hier in geïnteresseerd zijn of behoeft aan hebben in het kader van een vervolgonderzoek. De communicatie zal verder voornamelijk plaatsvinden via de digitale kanalen in het geval van de Haagse Hogeschool, het tussenrapport en uiteindelijk in de vorm van het (afstudeer-)stageverslag. Voor alle op te leveren documenten zie tabel 7-1. Hierbij wordt er van mijn promotor (begeleider) feedback verwacht en waar mogelijk/nodig van de coördinator van de Haagse Hogeschool te Delft.

10. Planning

Voor het binnen de afstudeerperiode kunnen voltooien van de onderzoek is een gestructureerde aanpak van het probleem nodig die een houvast biedt wanneer de diverse taken onderzoeken of documenten opgeleverd en klaar dienen te zijn. De opzet van deze planning is terug te vinden de bijlage (B). Naast de voor het onderzoek relevante zaken zullen er in de planning ook school gerelateerde documenten opgenomen worden als het tussenverslag welke door de HHS te Delft verplicht gesteld zijn. De onderzoeken en tussenverslagen lopen hierdoor vrijwel parallel in de planning en zijn maar op enkele punten van elkaar afhankelijk.

11. Kosten en baten

Voor mijn onderzoek zijn er geen financiële of materiële beperkingen gegeven. Ondanks het ontbreken van deze beperkingen zal ik toch zo efficiënt mogelijk omgaan met de beschikbare middelen en eventuele wijzigingen in een later stadium, met betrekking tot de kosten en baten aan mijn stage coördinator doorgeven.

12. Risico's

Binnen een onderzoek zijn er altijd variabelen en omstandigheden die het onderzoek kunnen ophouden, verhinderen of voor onjuiste antwoorden zorgen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste risico's waar ik mee te maken kan krijgen vermeld en de eventuele oplossing die hierbij gehanteerd kan/mag worden en/of hoe deze risico's zoveel mogelijk worden verkleind.

12.1. Technische risico's

Voor mijn onderzoek worden geen technische risico's verwacht

12.2. Veiligheidsrisico's

Binnen het kader van mijn onderzoek zijn er geen risico's te verwachten:

Risico's waar wel rekening mee gehouden dient te worden zijn algemene risico's die te maken hebben met de situatie op de werkvloer (in het lab) als:

- Hete materialen
- Scherpe randen
- Losliggende voorwerpen
- Etc.

12.3. Projectrisico's

Projectrisico's zijn alle risico's waarbij door slecht project management de vooruit van het project vertraagd kan worden. De aspecten die hiervoor van belang zijn, zijn als volgt:

- Tegenvalend onderzoek (resultaat verhinderd verdergaand onderzoek)
 - o Voorbeeld hiervan is de schroefverdrijver (alternatief: plunjie-printkop)
- Problemen met de levering van materialen (benodigd voor de proeven)
- verkeerde planning waardoor het project in nood komt
- slechte voortgangscontrole
- fouten in de communicatie door taal en cultuurverschillen
- Geen ruimte voor controle van het gemaakte werk
- Het niet nakomen van deadlines

13. Begrippenlijst

EraSME = Netwerk van federaties, handelsorganisatie en bedrijven die samen o.a onderzoek bevorderen naar markt en bedrijfsrelevante technologieën.

HHS = De Haagse hogeschool

3DAMEEA =3D Additive Manufacturing of Electrical and Electronic Applications

14. Bronvermelding

Literatuur

- Projectmatig creëren 2.0 2e druk Heruitgave, ISBN 9789055943999
- Rapport over rapporteren 6e druk, ISBN: 978-90-01-76899-7
- Eigen archief: PVA WH1-WH4

Online:

- Books.google.be
 - The methodology of scientific research programmes
Door Imre Lakatos, John Worrall, Gregory Currie
- <http://mechelen.lessius.eu>
- <http://www.kuleuven.be/onderzoek/associatie/idk.html>

Bijlage A: Competentieset

		taakrollen					
		onderzoeker	ontwerper	adviseur	beheerder	projectleider	ondernemer
competentieset werktuigbouw & hbo algemeen							
nr .	competenties werktuigbouwkunde						
1	projectmanagement uitvoeren (organizeren, plannen, uitvoeren, verslag opstellen)	3>	3>	2>			
2	een onderzoeksopdracht uitvoeren	4>		4>	4>		
3	het kunnen opstellen van productdefinitie, pva en pve voor een duurzaam product of proces	3>	3>	3>			
4	het realiseren van een functioneel duurzaam product of voortbrengingsproces		4>	4>			
5	het realiseren van een detailontwerp voor een duurzaam product of voortbrengingsproces		3>	3>			
6	het realiseren van een prototype/model van een duurzaam product of voortbrengingsproces		3>	3>			
7	het voorbereiden van een voortbrengingsproces	3>		3>			
8	het produceren van een duurzaam product				4>		
9	het beheren of onderhouden van een product of proces	2>		2>			
nr .	algemene hbo competenties						
10	kritisch handelen (analytisch en probleemoplossend vermogen en het onderbouwen van keuzen, oordeelsvorming)	3> 4	3>	3> 4			
11	systematisch een probleem aanpakken (creatieve, plan- en projectmatige werkhouding)	3> 4	3>	3> 4			
12	samenwerken (sociaal communicatieve vaardigheden)	3>	3>	3>			
13	persoonlijke en professionele ontwikkeling	3>	3>	3>			
14	zelfverantwoordelijk werken	3> 4	3> 4	3>			
15	kunnen functioneren in een internationale en/of multiculturele context	2>	2>	2>			

Tabel 1 Competentieset en taakrollen opleiding Werktuigbouwkunde

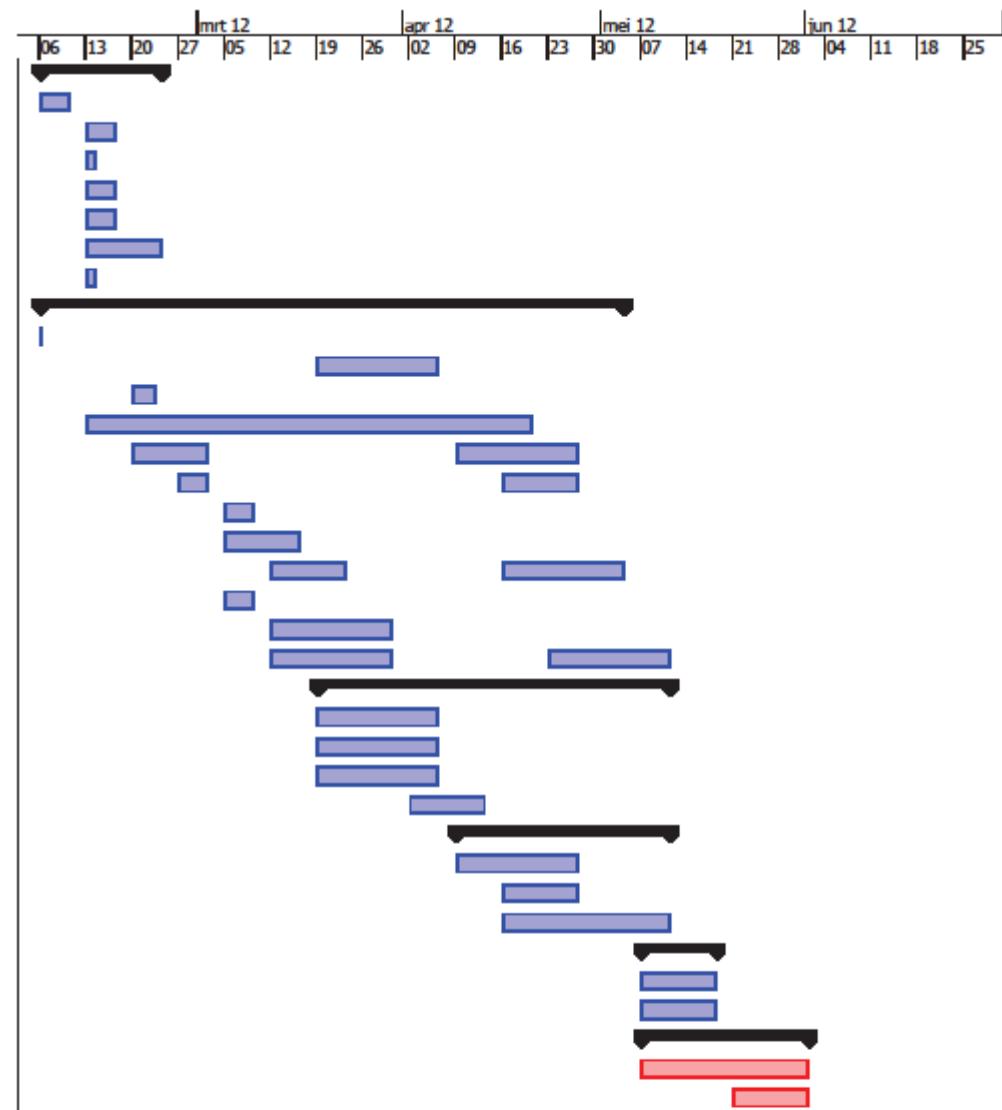
Toelichting op classificatie 4: de context is complex in het geval van onderzoeksopdracht en het aantal onbekende variabelen en benodigde theorie & materie, danwel verwacht ik een sturende en adviserende/zelfstandige functie in de ontwikkeling van aanpassingen op inkt, 3D-printontwerp, printkop en aansturing van de printer.

Toelichting op tabel 1:

- Gedurende het voortraject tot het afstuderen zijn alle 15 competenties aan bod gekomen. Een overzicht hiervan biedt de competentiematrix voor de voltijdse opleiding (Bron: Onderwijs- en Examenreglement 2011-2012, bijlage G).
- Geen enkele afstudeeropdracht biedt de mogelijkheid om alle benoemde taakrollen in te vullen.
- Tussen taakrol(len) en bijbehorende competenties bestaat een direct verband, dat in bovenstaande tabel indicatief is uitgewerkt. De ontwikkeling van de beroeps specifieke competenties (nr. 1 – 9) is tijdens het afstuderen dus direct gerelateerd aan de taakrol van de afstudeerde, behorende bij de afstudeeropdracht.
- Bij het afstuderen dient de student (minimaal) 2 taakrollen te vervullen (zie ook par. 3.4)
- Onafhankelijk van de van toepassing zijnde taakrollen, dient elke student tijdens zijn afstudeeropdracht de algemene hbo-competenties nr. 10 – 14 aantoonbaar te ontwikkelen tot het vereiste niveau.
- Competentie 15 is – afhankelijk van de context van de afstudeeropdracht – optioneel.

Bijlage B: Planning

	Naam	Tijdsduur	Start	End
1	E Vooronderzoek	15 dagen	6-2-12 8:00	24-2-12 17:00
2	Literatuurstudie	5 dagen	6-2-12 8:00	10-2-12 17:00
3	Formuleren van Hoofd-, deelvragen en hypotheses	5 dagen	13-2-12 8:00	17-2-12 17:00
4	Het bepalen welke technieken en middelen gebruik kunnen worden	2 dagen	13-2-12 8:00	14-2-12 17:00
5	Pakket van Eisen en wensen (1)	5 dagen	13-2-12 8:00	17-2-12 17:00
6	Een overzicht van alle relevante informatie	5 dagen	13-2-12 8:00	17-2-12 17:00
7	aanleggen van een onderzoeks dossier	10 dagen	13-2-12 8:00	24-2-12 17:00
8	Aanleggen van een bronnenlijst	2 dagen	13-2-12 8:00	14-2-12 17:00
9	E Onderzoek en verdieping	65 dagen	6-2-12 8:00	4-5-12 17:00
10	berekening en evaluatie	1 dag	6-2-12 8:00	6-2-12 17:00
11	controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven	15 dagen	19-3-12 8:00	6-4-12 17:00
12	leren omgaan met de printersoftware	4 dagen	20-2-12 8:00	23-2-12 17:00
13	Het onderzoeken van een nieuwe printkop & keuze	50 dagen	13-2-12 8:00	20-4-12 17:00
14	het uitvoeren van orienterende proeven	50 dagen	20-2-12 8:00	27-4-12 17:00
15	gedrag bij extrusie en materiaaleigenschappen van pasta's bepalen	45 dagen	27-2-12 8:00	27-4-12 17:00
16	pakket van eisen en wensen (pasta's)	5 dagen	5-3-12 8:00	9-3-12 17:00
17	Communicatie starten met de inkt fabrikant(en)/leverancier(s) over de mog...	10 dagen	5-3-12 8:00	16-3-12 17:00
18	het uitvoeren van proeven met de nieuwe pasta's	40 dagen	12-3-12 8:00	4-5-12 17:00
19	pakket van eisen en wensen (rekstrookjes)	5 dagen	5-3-12 8:00	9-3-12 17:00
20	ontwikkelen van nieuwe rekstrookjes	15 dagen	12-3-12 8:00	30-3-12 17:00
21	gecontroleerd printen/deponeren van pasta met de toegewezen printer en g...	45 dagen	12-3-12 8:00	11-5-12 17:00
22	E Berekeningen en evaluatie	40 dagen	19-3-12 8:00	11-5-12 17:00
23	Controle van de meetresultaten en uitgevoerde proeven	15 dagen	19-3-12 8:00	6-4-12 17:00
24	testen, parametrizeren, documenteren (rekstrookjes)	15 dagen	19-3-12 8:00	6-4-12 17:00
25	bepalen van de behaalde nauwkeurigheden en afwijkingen	15 dagen	19-3-12 8:00	6-4-12 17:00
26	evaluatie (incl. bijstelling van de proef/het experiment, ontwerp	10 dagen	2-4-12 7:00	13-4-12 17:00
27	E vervolgonderzoeken (bij uitzoek kan deze stap worden weggelaten)	25 dagen	9-4-12 8:00	11-5-12 17:00
28	Evt. Toevoegen van nieuwe ontwerpen aan de rekstrookjes	15 dagen	9-4-12 8:00	27-4-12 17:00
29	testen parametrizeren, documenteren) rekstrookjes	10 dagen	16-4-12 7:00	27-4-12 17:00
30	printen van rekstrookjes voor verschillende toepassingen	20 dagen	16-4-12 8:00	11-5-12 17:00
31	E Leveren van een proof of concept	10 dagen	7-5-12 7:00	18-5-12 17:00
32	Controle & testen	10 dagen	7-5-12 7:00	18-5-12 17:00
33	documentatie	10 dagen	7-5-12 8:00	18-5-12 17:00
34	E Afsluiting	20 dagen	7-5-12 7:00	1-6-12 17:00
35	het samenvoegen en documenteren van alle informatie (verslag schrijven)	20 dagen	7-5-12 7:00	1-6-12 17:00
36	het houden van presentaties	10 dagen	21-5-12 7:00	1-6-12 17:00



Bijlage C: targets and tasks as stated in the Erasmus requiry

- Knowledge, skills and competence to be acquired:

- Additive Manufacturing (3D printing)
- Research and Development (near university requirements and/or standards)
- Working in an International environment

- Tasks of the trainee:

- Literature study
 - o 3D printing techniques, materials, components and possibility's based on extrusion and aerosol printing
 - o Printing materials: pastes filled with carbon-nanotubes, copper flakes, ...
 - o Principles, Theory and usage of strain-gauges
- Preparation of the research activities
 - List of Wishes and Demands
 - Choosing between different printing pastes and/or developing a paste on the criteria from the 'LWD'.
 - Determining a printhead for further use during the research activities
- Controlled printing/depositing of pastes with one of the 3D printers equipped with an extrusion printhead.
 - o Quality control of the printing process
 - o Validation of the printing process
- Design and/or redesign of strain-gauges for additive manufacturing
 - o List of Wishes and Demands
 - o Strain-gauge benchmark design to use in the research activities
- 3D printing of the strain-gauge benchmark design
 - o Quality control of the printing process
 - o Validation of the printing process
 - o Quality control of the printed parts
- Design and/or redesign of an application using strain-gauges
- 3D printing of an application with a working concept/prototype

Attachment G

Extruder research - sources

J.S. Beerthuizen

5/30/2012

Manufacture-sites searched for Standard paste-extruders and materials

<http://www.3dproparts.com>
<http://www.3drp.com/>
<http://bilbycnc.com.au/>
<http://www.bitsfrombytes.com/>
<http://www.botmill.com/>
<http://www.fabathome.org/>
<http://www.makerbot.com/>
<http://pp3dp.com/index.php>
<http://reprap.org/>
<https://shop.ultimaker.com/>

User content sites explored for paste (screw) extruders

- <http://www.thingiverse.com/>
 - 3 models found (experimental models)
- <http://www.youtube.com>

3D print objects/accessories websites visited for printheads and pastes (information)

<http://3dhomemade.blogspot.com/>
<http://exchange3d.com/>
<http://www.faberdashery.co.uk/products-page/>
<http://grabcad.com/library>
<http://www.makergear.com/>
<http://www.objet.com/3D-Printing-Materials/>
<http://www.orbi-tech.de/shop/index.php>
<http://www.ponoko.com>
<http://www.reprapcentral.com/vmchk.html>
<http://www.reprapsource.com/>
<http://www.shapeways.com>
<http://www.the3dstudio.com>
<http://www.turbosquid.com/>
<http://ultimachine.com/catalog>

Attachment H

Logboek

J.S. Beerthuizen

5/29/2012

Week 3:

datum	tijd	Activiteit
20-02-2012	8:05 -18:15	Werken aan het literatuurverslag (controle, hfst rekstroken verder gebouwd + literatuur aanvullen), werkverslag inleveren
21-02-2012	8:30 -18:00	Werken aan het literatuurverslag (hfst productie, bronvermelding & verwijzingen), extra literatuur + PVE (PDS)
22-02-2012	8:30-18:30	Werken aan het PVE (PDS), logboek opzetten, Inkt en onderdelen leveranciers opzoeken & printer mogelijkheden
23-02-2012	8:45-18:05	Cad model van rekstrook & 'droog' printen / orientatie naar de meet, uitleesmogelijkheden en 'voorwerk' zoals besproken i/d opdracht. 3D cadmodellen zoeken van diverse pompen en schroef, in overleg met collega's keuze gemaakt op basis van het onderzoek.
24-02-2012	8:45-18:05	PDS uitbreiden, onderzoeksverslag vertalen naar engels en uitbreiden, 3D printkop printen voor oriënterende proeven volgende week.

Week 4:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
27-02-2012	8:15-10:00 +avond	3D model uit de printer halen en in 't zuurbad leggen, thuiswerken aan 't onderzoeksrapport
29-02-2012	8:40-18:00	Printkop assembleren, punten uitzetten v/d presentatie, reprep software installeren, literatuurstudie afronden, printkop keuze verantwoorden, administratie afstuderen
01-03-2012	8:45-18:00	weekverslag, week3 schrijven, administratie HHS & Lessius, inlezen RepRap update, literatuurstudie controleren.
02-03-2012	8:20-17:45	Literatuurstudie Ingeleverd, Printkop droogdraaien, opties voor montage printkop bekijken, handmatig schrijven testfile.
03-03-2012	8:15-17:15	Werken aan presentatie, werken aan testfile (testfile niet haalbaar i.v.m. firmware), nieuwe poederleverancier, opties printkop bekijken

Week 5:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
05-03-2012	8:15-17:20	Presentatie afronden, handmatig "printfile" schrijven (machinecode), testprint met printkop (materiaal: zeep "pasta"). Weekverslag maken.
06-03-2012	8:20-18:00	ochtend: Presentatie geven/volgen + nabespreking & lunch Middag: mail (poeders, documenten, voorbereiden tests op 7-3-2012
07-03-2012	18:30-17:15	mailen poeder (leveren geen pasta's), opmeten parts, uitbreiden concepten modulaire printkop
08-03-2012	8:25-17:10	uitbreiden concepten printkop + meten parts + tekenen parts.
09-03-2012	8:15-17:00	hermeten parts + hertekenen parts + ontwerp mountbase afmaken

Week 6:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
12-03-2012	8:30-17:15	Mailen Poederleverancier, voorstel mountbase indienen, PVE + informatie_vergaring verslag herontwerp printkop
13-03-2012	8:35-17:55	herberekenen en 3D tekenen Moineau pomp, ontwerpverslag printkop, mountbase bijwerken en monteren
14-03-2012	8:20-17:55	ontwerpverslag printkop, Printer afstellen, printkop bijwerken, extra poederleveranciers zoeken,
15-03-2012	8:15-17:20	Printkop ontwerp, mailen poederleveranciers, opmeten referentie printkop, ontwerpverslag printkop
16-03-2012	8:30-17:00	Bezoek Nederland & Rondleiding, Printkop ontwerp, Bespreking met stagebegeleider (informeel), Bespreking met frederik vogeler

Week 7:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
19-03-2012	8:20-18:55	aanvraag samples poederleveranciers, Printkop (basis) ontwerp afronden, Conceptverslag bijwerken, weekverslag schrijven
20-03-2012	8:30-23:00	Concepten Printkop uitwerken & tekenen, Presentatie opzetten, ontwerp controleren
21-03-2012	8:25-22:30	Presentatie afmaken, test draaien met printkop, 3D tekening uitbreiden,
22-03-2012	8:35-17:00	Presentatie Voorbereiden & Geven
23-03-2012	8:30-17:00	Proef opzetten en uitvoeren met pasta's.

Week 8:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
26-03-2012	8:35-18:55	3e evaluatie moment pasta's, verslaglegging, Mogelijkheden verkennen andere bindmiddelen en oplossingen
27-03-2012	8:35-17:45	Verslaglegging/documentatie, 3D printkop aanpassen. Nieuwe opties verkennen naar aanleiding van proef-resultaten
28-03-2012	8:30-17:30	verslaglegging, archivering, 3D printkop aanpassen, proeven voorbereiden Donderdag _dnf., nieuwe leveranciers zoeken
29-03-2012	8:30-18:00	Proeven voorbereiden vrijdag , verslaglegging 3D printkop, 3D printkop aanpassen, leveranciers contact
30-03-2012	8:35:17:00	Werk voorbereiden week 9,10, proeven uitvoeren &documenteren, 3D printkop documentatie, afronden werkplek, leveranciers mailen

Week 9: Paasvakantie

Datum:	Tijd:	Activiteit:
02-04-2012	-	Thuiswerken
03-04-2012	-	-
04-04-2012	-	-
05-04-2012	-	-
06-04-2012	-	-

Week 10: Paasvakantie

Datum:	Tijd:	Activiteit:
09-04-2012	-	Werk voorbereiden
10-04-2012	8:00-17:00	Proef afronden, proef verslaglegging, 3D printkop aanpassen, Verslaglegging 3D printkop, administratie bijwerken
11-04-2012	9:00-16:00	verslaglegging, proefmateriaal aanvragen.
12-04-2012	8:30-17:30	verslaglegging, proefmateriaal aanvragen.
13-04-2012	-	proefmateriaal en meetapparatuur aanschaffen, verslaglegging, proef uitgevoerd

Week 11:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
16-04-2012	9:30-17:30	Experiment F2 metingen herhaald, experiment-ontwerp rekstrook rekken (globaal), experimentverslagen, chocolade print doorgesproken,
17-04-2012	8:30-17:15	Experiment F2 zelf herhalen (ter bevestiging), gesprek regelen, internet informatie zoeken variabele weerstanden
18-04-2012	8:30-17:55	Experiment F3 uitvoeren en T1 beginnen, nieuw contactpunten zetten, gesprek pomp is niet doorgegaan
19-04-2012	8:30-18:00	Voortgangsgesprek, T1 voortzetten
20-04-2012	8:30-18:20	1e Chocolade proef, gesprek printkop met begeleiders lessius (Geen reactie koeleman), kennisverbreding koppelingen

Week 12:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
23-04-2012	8:15-18:30	controle proef T1 meten (resultaten gelijk), Reparatie werkzaamheden Darwin, voorbereiden op 2e chocolade proef, printkop updaten
24-04-2012	8:30-19:30	proef chocolade (water als warmtedrage i.p.v. lucht), samenwerking aan chocolade printkop, Darwin printer onderdelen tekenen + reparaties
25-04-2012	8:20-19:30	Documentage + printkop controleren (geen aanpassingen)
26-04-2012	8:30-18:15	Chocolate experiments & documentage printkop
27-04-2012	8:30-20:00	Chocolate experiments

Week 13:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
01-05-2012	13:00-22:00	verslag controle + aanvullen verslag
02-05-2012	8:30-17:00	Literatuur onderzoek gecontroleerd + Pompverslag aangevuld.
03-05-2012	8:30-17:00	Voorbereiden demonstratie chocolade printen bij Miummm (te gruzelaren incl pers), filmopnames
4-5-2012	8:45	Voortgangsgesprek.

Week 14:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
07-05-2012	8:45-17:15	gevonden stijl en vormfouten uit literatuur en printkopverslag halen + beeldmateriaal genereren voor printkopverslag
08-05-2012	8:30-17:00	documentatie, verwijderen van inconsequente opmaak & stijl wijzigen van Printkopverslag & literatuurverslag
09-05-2012	8:25-17:15	Uitproberen en maken en deels omzetten van verslagen in div. stijlen voor Thesis. (apa afgevallen).
10-05-2012	8:30-18:00	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag
11-05-2012	8:30-17:30	Microscopisch onderzoek, werken aan verslag & filmopnames chocolade
13-05-2012		zondag 3 uur gewerkt aan Thesis

Week 15:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
14-05-2012	8:20-17:00	hoofdstuk 4 geschreven Thesis, Gewerkt aan experimentverslag G, moineau-pompverslag, losse foutjes verbeterd
15-05-2012	8:45-13:30 17:00-2:30	Presentatie & voorbereiding / Werken aan Thesis hoofdstuk 4
16-05-2012	8:30-18:00	stijl & opmaakverbeteringen Pompverslag, papers doorlezen over moineau-pompen)
17-05-2012	Hemelvaart	Lessius gesloten (thuiswerken: formules opstellen, bewijzen & uitvoeren: pompdebiet)
18-05-2012	Hemelvaart	Lessius gesloten (werken aan Erasmus documenten) (weekend: werken aan Erasmus)

Week 16:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
21-05-2012	8:45-17:30	Werken aan Technische Tekeningen
22-05-2012	8:45-18:05	Werken aan Technische Tekeningen + kostenberekening printkop (100 euro kostprijs = 172 euro totaal (projectprijs))
23-05-2012	8:30-18:00	aanvullen documentage printkop verslag, werken aan Thesis
24-05-2012	8:30-18:45	Werken aan Thesis
25-05-2012	8:45-19:04	Werken aan printkopverslag Weekend: werken aan de documenten + controleren en verbeteren

Week 17:

Datum:	Tijd:	Activiteit:
28-05-2012	8:50-23:30	Controleren van de documenten + schrijven van samenvattingen + laatste weekverslag
29-05-2012	7:15-21:00	controleren van alle gestelde eisen, definitief printen en inbinden van de documenten (21:00 inleveren i.v.m. werktijden printbedrijf)
30-05-2012		Inleveren documentage Lessius op 11:30, begin aan Inventor simulatie.
31-05-2012		Gepland: Werken aan uitbreiden Inventor modellen voor animatie van de rotor.
01-06-2012		inleveren stage @ den haag