

Bijlagen Polsgewricht voor High speed handelingsystemen

Auteur: Ricardo Struik

Inhoudsopgave

I.	Omschrijving afstudeeropdracht	3
II.	Stakeholderanalyse	4
II.1.1	Betrokken partijen	5
III.	Literatuur onderzoek	6
III.1	<i>Tripod gewricht</i>	6
III.1.1	Festo Delft	6
III.1.2	Festo HQ	6
III.2	<i>Gewrichten van de concurrent</i>	7
III.2.1	Vergelijking van de bestaande Delta robots	8
III.2.2	Festo's aanpak	8
III.3	Overzicht polsgewrichten	9
III.3.1	Harmonic drive unit	9
III.3.2	Fanuc 6 assige delta robot	9
III.4	<i>Samenvatting Literatuur onderzoek</i>	10
IV.	Gantry unit	11
V.	Vision systeem	12
VI.	Markt onderzoek	13
VI.1	<i>Doelgroep</i>	13
VI.2	<i>Grootheidsbepaling</i>	13
VI.3	<i>Klanten</i>	13
VI.4	<i>Uitwerking</i>	14
VI.4.1	Interview	14
VI.5	<i>Herkomst kosten</i>	15
VI.5.1	Materiaalkosten	15
VI.6	Conclusie marktonderzoek	15
VII.	Analyse huidige concept	16
VII.1	Inleiding Analyse huidig concept	17
VII.1.1	Analyse werking huidige concept	18
VII.2	Berekeningen krachterspel in het huidige systeem	20
VII.2.1	De zwaarte kracht	20
VII.2.2	Externe acceleratie in de Z-richting	22
VII.2.3	Externe acceleratie in de X en Y richting	25
VII.2.4	Hoekversnelling kantelmechaniek	28
VII.2.5	Hoekversnelling rotatiemechaniek	32
VII.2.6	Voorspanning	33
VII.2.7	Conclusie	33
VII.3	Realisatie dynamische testopstelling	34
VII.3.1	Verloop praktijktest	35
VII.3.2	Opstelling	36
VII.3.3	Logboek	38
VII.3.4	Conclusie	39
VII.4	FMEA analyse	40
VII.4.1	Overzicht systeem functies	41
VII.4.2	Mogelijke faalwijze	43
VII.4.3	Conclusie FMEA	44
VIII.	Aanvraag praktijktest	45
VIII.1	Energie overbrenging	46
VIII.1.1	Bowdenkabels	46
VIII.1.2	massieve bowdenkabel	48
VIII.1.3	Hydraulische leiding	49
VIII.2	Praktijktest	50
VIII.2.1	inventarisatie	50
VIII.2.2	Testpunten	50

VIII.2.3	Test duur	50
VIII.2.4	Opstelling	51
VIII.2.5	Onderdelenlijst	52
VIII.2.6	Test methode	54
VIII.2.7	Test kosten	54
VIII.2.8	Voorcalculatie	55
VIII.2.9	resultaten voorcalculatie	56
VIII.2.10	Verwachte belasting polsgewricht	57
VIII.3	Levensloop van het product	58
VIII.3.1	Functionele eisen	58
VIII.3.2	Esthetische eisen	58
VIII.3.3	Kostprijs	58
VIII.3.4	Levertijd	58
VIII.3.5	Beschikbare productie technieken	58
VIII.3.6	Leverbaarheid	59
VIII.3.7	Onderhoud	59
VIII.3.8	Recycling	59
IX.	Concept fase	60
IX.1	<i>Morfologisch overzicht basisprincipe.</i>	61
IX.1.1	Basisprincipe concept blauw	62
IX.1.2	Basisprincipe concept geel	63
IX.1.3	Basisprincipe concept groen	64
IX.1.4	Basisprincipe concept paars	65
IX.1.5	Basisprincipe concept rood	66
IX.1.6	Basisprincipe concept oranje	67
IX.1.7	Basisprincipe concept bruin	68
IX.2	<i>Kesselring methode</i>	69
IX.2.1	Detaillering kesselring	70
IX.2.2	Conclusie kesselringmethode	72
X.	Detailleringfase	73
X.1	Beschikbare aandrijvingen	74
X.1.1	Beschikbare motoren	74
X.1.2	Mogelijke overbrengingen	76
X.1.3	Mogelijke bevestigingsmethodes	78
X.1.4	Mogelijke lagers	79
X.1.5	Mogelijke montage platen	82
X.1.6	Mogelijke hoogtecompensatie	82
X.1.7	Morfologisch keuze overzicht	83
X.2	Concept motor direct (blauw)	84
X.2.1	Concept motor direct (blauw)	85
X.2.2	Krachtverloop in het systeem	85
X.2.3	Externe acceleratie in de Z-richting	87
X.2.4	Externe acceleratie in de X- en Y-richting	89
X.2.5	Hoekversnelling kantelmechaniek	91
X.2.6	Hoekversnelling rotatiemotor	92
X.2.7	Conclusie berekening concept motor direct (blauw)	93
X.3	Concept dubbele as (rood)	94
X.3.1	Berekening concept dubbele as (rood)	95
X.3.2	Conclusie concept dubbelas (rood)	100
X.4	Concept differentieel (groen)	101
X.4.1	Berekening differentieel (groen)	102
X.4.2	Conclusie concept differentieel (groen)	107
X.5	Concept verbeterde pols (oranje)	108
X.5.1	Krachtverloop in het systeem	109
X.5.2	Zwaartekracht	110
X.5.3	Versnelling Tripod Z-richting	111
X.5.4	Versnelling Tripod X-richting	112
X.5.5	Versnelling polsgewricht	114
X.5.6	Voorspanning	115
X.5.7	conclusie concept verbeterde pols (oranje)	116
X.6	Concept keuze	117
X.6.1	Kesselring grafiek	117

X.7	Definitieve concept keuze	118
X.7.1	Motoren	119
X.7.2	Lichtgewicht hoog rpm motor	119
X.7.3	hoogkoppel motor.....	119
XI.	Rekentool	120
XII.	Implementatie bij verschillende high speed handelingssystemen.....	121
XII.1	Femap simulatie	122
XII.2	Controle berekening	123
XIII.	Competentieset	124
XIII.1	Toelichting competentie tabel.....	124
XIII.2	Ingevulde competentietabel	125
XIII.3	Persoonlijke ontwikkelingspunten	126
XIII.4	Conclusie	126
XIV.	Bronnen.....	127

I. Omschrijving afstudeeropdracht

Op dit moment is er behoefte aan het verder uitwerken van de polsgewricht grijper.

Na een eerste en tweede prototype te hebben uitgewerkt en getest, zijn er een aantal technische aspecten in het ontwerp die moeten worden verbeterd/geoptimaliseerd.

Naast de functionele verbeteringen is er ook behoefte aan een kostenreductie van het product. Dit vereist een goede analyse van de gebruikte technieken voor het realiseren van de diverse functies.

Het gewenste eindresultaat is een compleet TPD (technisch productie dossier) van waaruit het product kan worden gemaakt.

Dit project wordt gekenmerkt door de volgende technische vraagstukken:

- Verbeteren van de performance van diverse functies
- Het reduceren van de integrale kostprijs door toepassing van optimale functionele oplossingen
- Het coördineren van het tekenwerk en de generatie van het TPD

Geschatte werkbelasting:

400 – 800 uur. De opdracht zal worden beperkt tot de maximaal beschikbare tijd en zal worden aangevuld met capaciteit van andere engineers van Festo.

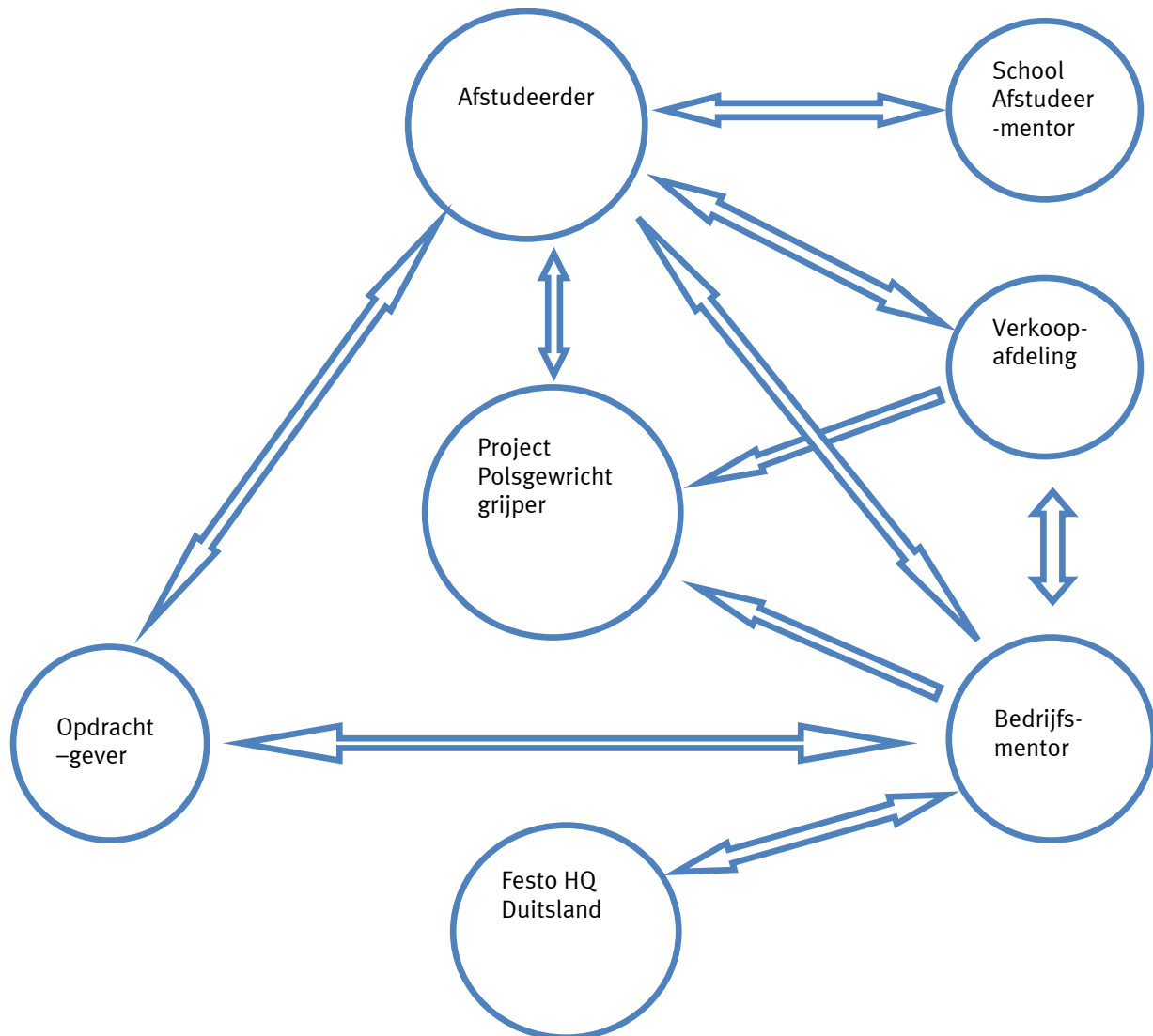
Handtekening bedrijf

handtekening student

II. Stakeholderanalyse

Wie hebben belangen bij dit product. Welke voordelen en nadelen biedt het polsgewricht deze mensen en welke rol spelen zij in de ontwikkeling van het product. Het is goed om vooraf deze vragen te stellen en duidelijk in kaart te brengen wie het project kunnen beïnvloeden en waarom. Dit voorkomt onverwachte verrassingen die voortkomen uit geheime belangen en verborgen agenda's.

Hieronder staat een overzicht hoe de communicatie verloopt tussen de verschillende betrokken partijen.



II.1.1 Betrokken partijen

De afstudeermentor, de heer van Steijn, begeleidt de afstudeerder. Het belang van deze partij is dan ook dat het afstuderen goed verloopt. Hiervoor is het nodig dat het project voldoende diepgang heeft en goed wordt gedocumenteerd. Zolang dit goed gebeurt heeft de afstudeermentor weinig invloed op het verloop van het project.

De opdrachtgever, de heer Van den Berg, heeft het project opgestart. Hij heeft hierbij contact gehad met de afstudeerder en de bedrijfsmentor. Hierbij zijn de eerste eisen en wensen van het project aangegeven. Aangezien de heer van de Berg erg druk is zal hij het proces alleen volgen en niet beïnvloeden. Gedurende het project dient deze partij af en toe een update te krijgen van de status van het project.

De bedrijfsmentor, de heer Boers, monitort het verloop van het project. Grote beslissingen en communicatie met Festo HQ verloopt in samenwerking met deze partij. Het belang van deze partij is dat de afstudeerder slaagt en dat Festo een mooi product heeft aan het einde van de afstudeerperiode.

Festo HQ is de hoofdvestiging in Duitsland. Veel communicatie is nodig met deze partij. Festo Duitsland bezit het grootste deel van de patenten van Festo. Zij hebben al veel onderzoek gedaan en kunnen dienen als bron van informatie. Het feit dat de Tripod nog niet beschikt over een polsgewricht kan er toe leiden dat Festo HQ ook bezig is met de ontwikkeling ervan. Wanneer deze partij tegenwerkt komt dit doordat zij bezig zijn met een ontwikkeling die in conflict is met het project van de afstudeerder.

Door deze partij vanaf het begin van het project goed bij de opdracht te betrekken is het mogelijk dat zij gemotiveerd raken om input te leveren voor de ontwikkeling van het polsgewricht.

De verkoopafdeling van Festo is de laatste belanghebbende partij. Zij zijn degene die het product moeten gaan verkopen. Door de praktijkkennis toe te passen van deze partij is het mogelijk om een product te creëren dat goed aansluit op de vraag van de markt. Hierbij is het belangrijk deze kennis mee te nemen in de ontwikkeling van het product.

III. Literatuur onderzoek

Voordat er wordt begonnen met het ontwerpen van een constructie is het belangrijk om te kijken naar bestaande oplossingen voor dit project. Het kan zijn dat er ontwikkelingen plaats hebben gevonden die het verder uitwerken van het polsgewricht kunnen bevorderen. Door het wiel niet opnieuw uit te vinden kan soms veel tijd en geld bespaard worden.

III.1 Tripod gewricht

Ruim twee jaar geleden heeft Festo de Tripod in gebruik genomen. De Tripod kan snel producten verplaatsen en doet dit met translaterende bewegingen. Rotatie behoorde echter nog niet tot de mogelijkheden. Van daaruit ontstond de vraag of dit met een extra gewricht onder de Tripod alsnog realiseerbaar was.

III.1.1 Festo Delft

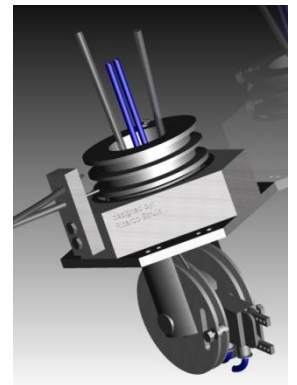
Een jaar gelede werd mij als stagiair de opdracht aangeboden om een polsgewricht te ontwerpen dat de Tripod in staat zou stellen om een product op alle mogelijke manieren vast te kunnen pakken. Hieruit volgde het ontwerp (Figuur 1 (polsgewricht)) dat als prototype is gebruikt in de test opstelling in de werkplaats. Het ontwerp bestaat uit een aantal scharnier gewrichten dat wordt aangestuurd door middel van stalen kabels in een kabelmantel. Dit zorgt er voor dat de motoren die de kabels verplaatsen buiten het bewegende deel van de Tripod geplaatst kunnen worden. Het ontwerp wordt verder behandeld in de bijlage VII.1.1.

Voordelen van dit systeem zijn:

- Door de motoren buiten het werkend deel van de Tripod te plaatsen is het massastraagheidsmoment zeer laag.
- Het is mogelijk om producten zowel te roteren om de Z-as als de Y-as.
- Lage productie kosten.

Nadelen van dit systeem zijn:

- Door slijtage aan de kabels is periodieke kalibratie nodig.
- Het systeem heeft aansturing van vier mechanische kabels. Dit neemt een hoeveelheid van de beschikbare ruimte in beslag.



Figuur 1 (polsgewricht)

III.1.2 Festo HQ

Tegelijkertijd is Festo Duitsland gestart met dezelfde opdracht. Een team ingenieurs hebben parallel aan mijn onderzoek ook een onderzoek gedaan. Het team in Duitsland heeft als oplossing een unit met hierin een motor, gearbox en encoder. Deze unit (Figuur 2 (front unit)) wordt onderaan de Tripod geplaatst.

De motor is een stappenmotor die in iedere gewenste positie kan staan. De gearbox is een Harmonic drive die voor een overbrengingsverhouding van 1 op 30 zorgt. Tussen de motor en gearbox zit de encoder. Deze vertaalt de positie van de uitgaande as van de frontunit naar een elektrisch signaal. Hierdoor weet de computer altijd de stand van het systeem en hoeft het niet gekalibreerd te worden.

Voordelen van dit systeem zijn:

- Slechts een kabel is nodig om het systeem aan te sturen.
- Het systeem hoeft niet gekalibreerd te worden.
- Door de hoge overbrengingsverhouding is het een robuust systeem.

Nadelen van dit systeem zijn:

- Door alle componenten in het werkende deel van de Tripod te plaatsen is het massastraagheidsmoment erg hoog.
- Met dit systeem is nog geen kantelende beweging mogelijk. Dit maakt het onmogelijk om in een beweging een product om te keren in de Y-as.



Figuur 2 (front unit)

III.2 Gewrichten van de concurrent.

Ook de concurrenten van Festo produceren lichtgewicht pick and place units. Om een breder begrip te krijgen van de mogelijkheden wordt in onderstaande Tabel 1 een overzicht gegeven van producenten met de systemen die zij leveren. De Tripod van Festo is in de tabel rechts als referentie opgegeven.

Naam bedrijf:	ABB	FANUC ROBOTICS	adept	BOSCH	FESTO
Foto omschrijving:					
Naam:	Flexpicker IRB 360	M-3iA	Quattro S650HS	Sigpack systems Xr3	Tripod
Kinematica:	Delta robot	Delta robot	Delta robot (4-assig)	Delta robot	Lineair-assig delta robot
Maximaal draag last:	3 KG	6 KG	6 KG	2 KG	5 KG
Aantal assen:	3	6	4	4	4
Maximaal werkgebied:	Tot 1600 mm (bij 1 KG belasting)	1350 mm	1300 mm	1200 mm	1250 mm
Maximum acceleratie:	c.a. 10 g	c.a. 8 g	c.a. 15 g	c.a. 13 g	c.a. 11 g
Herhalingsnauwkeurigheid:	0,05 mm	0,1 mm	0,1 mm	0,1 mm	0,1 mm
Picks per minuut:	200	Geen info beschikbaar	300	185	150
Gewicht installatie	145 KG	153 KG	117 KG	75	150 KG

Tabel 1

III.2.1 Vergelijking van de bestaande Delta robots

De meeste Delta robots hebben drie assen vanwege de drie armen, met uitzondering van de adept quattro deze heeft er vier. De Bosch beschikt over een rotatie unit op de basisplaat. Deze vierde as geeft de Bosch een voorsprong op de andere in de tabel. De grootste concurrent van dit project is de Fanuc M-3iA. Deze heeft een volledig functioneel polsgewricht aan de basisplaat. Het systeem werkt met zes assen. Hierdoor beschikt de Fanuc over een systeem dat op iedere wijze een product binnen het werkgebied kan benaderen.

De keerzijde van dit systeem is dat het zo zwaar wordt dat de maximale acceleratie van het systeem trager is dan dat van de andere systemen.

Het grootste verschil in de Delta robots is de manier waarop de armen worden bewogen. Figuur 4 (fanuc arm) laat de opstelling van de meeste delta robots zien. De arm van de Delta robot wordt hier bewogen door een zeer grote servomotor. Deze zit direct aan een zeer stijve horizontale as bevestigd. Hierdoor kan het systeem zeer snel reageren. De keerzijde van deze aanpak is dat de servomotor enorme momenten moet leveren op het systeem te verplaatsen en af remmen.

De nauwkeurigheid van het systeem wordt bepaald door de speling in de verbinding tussen de elektromotor en de horizontale arm en de stijfheid van de bewegende arm. Wanneer er sprake is van een tiende graad speling is door de lange armen het plateau onder de robot millimeters onnauwkeurig.

III.2.2 Festo's aanpak

Festo heeft het anders aangepakt met de Tripod. Hierbij zit de bewegende arm aan een loopwagen die op een lineaire as zit gemonteerd. Aangezien de arm direct op de loopwagen zit is er bijna geen afstand tussen het scharnier en de lineair drive. Hierdoor is het moment dat tijdens het bewegen van de arm ontstaat minimaal. Dit zorgt ervoor dat de Tripod een aanzienlijk kleinere aandrijfmotor behoeft dan de andere systemen. Het grootste voordeel van deze aanpak is de hoge mate van nauwkeurigheid. Door het gebruik van zeer korte armen is de speling aan het eind van het systeem minimaal en kan het goed toegepast worden bij precisie-handelingssystemen.



Figuur 3 (tripod arm)



Figuur 4 (fanuc arm)

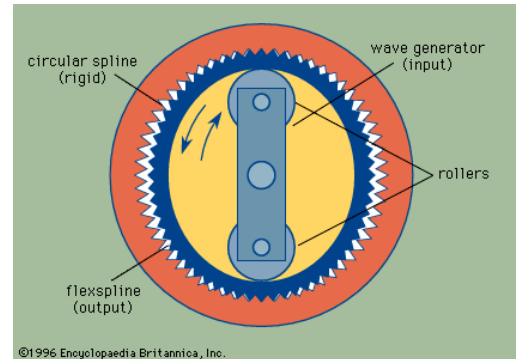
III.3 Overzicht polsgewrichten

III.3.1 Harmonic drive unit.

Een methode om een roterende as onder de tripod te verkrijgen is middels de Festo front unit. Dit is een servo motor die een gearbox aandrijft. De uitgaande as van de gearbox is de roterende as waaraan een gripper gemonteerd kan worden. Om het gewicht zo laag mogelijk te houden wordt er gebruik gemaakt van een zeer kleine elektromotor. Deze motor levert echter een zeer laag koppel. Om de hoge acceleraties mogelijk te maken en de massa's traagheden in het systeem te overwinnen is er een gearbox nodig om het geleverde koppel te versterken. Het harmonic drive systeem laat een as met daaraan twee wielen draaien in een flexibele tandkrans. Deze tandkrans draait rond in een tandkranshuis. De motor drijft de as met de rollen aan. De uitgaande as van de gearbox zit vast aan de flexibele tandkrans. Bij iedere rotatie die de motoras maakt, verdraait de flexibele tandkrans 2 tanden. Dit maakt een overbrenging van 1 op 30 mogelijk in een zeer compact systeem. Door het compacte systeem in één huis te monteren is het een robuust systeem. Echter is het systeem niet erg licht. De kleinste versie hiervan, de T1 weegt al 640 gram. De grootste versie, de T4 weegt 900 gram.



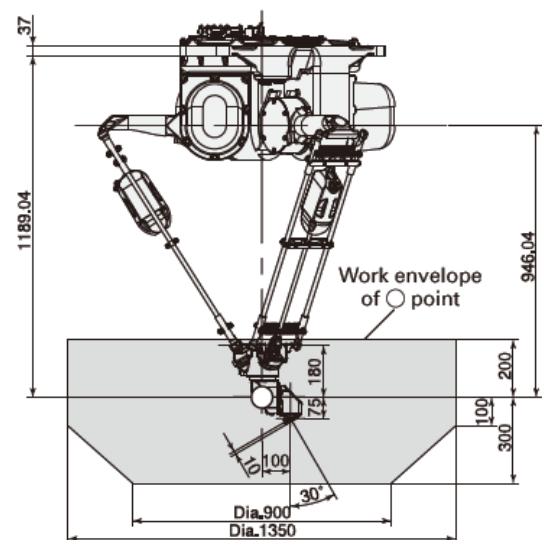
Figuur 5 (festo front unit)



Figuur 6 (harmonic drive)

III.3.2 Fanuc 6 assige delta robot.

De fanuc 6 assige delta robot beschikt aan de basisplaat zowel over een roterende als een kantelende functie. Hierbij zitten de aandrijfmotoren in het gewricht verwerkt. Dit voegt aanzienlijk veel massa toe aan de arm tegen het voordeel dat er slechts één elektra kabelbundel het systeem verlaat. Het werkgebied wordt in Figuur 7 (fanuc m3ia) weergegeven. Doordat het polsgewricht over 6 assen beschikt kan het met de gripper overal binnen het werkgebied komen en onder bijna iedere hoek het product oppakken. De specificaties van het systeem zijn in de tabel hieronder weergegeven. Helaas zijn nog niet alle specificaties van het systeem toegankelijk. Wel is duidelijk te zien dat het gaat om een zwaar systeem met een redelijke cyclus snelheid. Ook bij dit systeem is de werksnelheid van de robot sterk afhankelijk van de massa's traagheid die het moet verplaatsen.



Figuur 7 (fanuc m3ia)

Specifications

Item	Specifications		
	M-3iA/6S	M-3iA/6A	M-3iA/12H
Type	Parallel link mechanism		
Controlled axes	4 axes (J1, J2, J3, J4)	6 axes (J1, J2, J3, J4, J5, J6)	3 axes (J1, J2, J3)
Installation	Ceiling mount		
Motion range (Maximum speed) (Note1)	J1-J3	Diameter 1,350mm, height 500mm	
	J4	720° (4000°/s) 12.57 rad (69.81 rad/s)	720° (2000°/s) 12.57 rad (34.90 rad/s)
	J5	—	300° (2000°/s) 5.24 rad (34.90 rad/s)
	J6	—	720° (2000°/s) 12.57 rad (34.90 rad/s)
Max.payload at wrist	6kg		12kg
Repeatability	±0.1mm		
Drive method	Electric servo drive by AC servo motor		
Mass (Note2)	160 kg	175 kg	155 kg
Installation environment	Ambient temperature : 0~45°C Ambient humidity Normally : 75%RH or less (No dew, nor frost allowed) Short term : Max. 95%RH or less (within one month) Vibration : 0.5G or less		

Note 1) In case of short distance motion, the axis speed doesn't reach maximum one.

Note 2) Without controller.

III.4 Samenvatting Literatuur onderzoek.

Er zijn meerder hogesnelheids-pick-and-place-units. Hiervan beschikken slechts enkele over een systeem dat hen in staat stelt producten onder alle hoeken binnen het werkgebied te benaderen.

Bij alle bestaande polsgewrichtsystemen op de markt zijn de motoren op het werkende deel van de Delta robot geplaatst. Dit maakt het systeem zwaar en geeft het een hoge massatraagheid.

Dit project is uniek doordat de motoren buiten het werkend deel van de Delta robot gemonteerd zijn. Dit zorgt voor een zeer lichte constructie en geeft dus een lage massatraagheid. Dit kan het product een voorsprong geven op de concurrentie.

IV. Gantry unit

De festo Gantry unit is een hoog dynamische pick and place robot. Het systeem is in staat om op zeer hoge snelheid zeer nauwkeurig te werken.

De T-gantry wordt toegepast om lichte producten te verplaatsen. Vanwege de hoge werksnelheid en precisie is het systeem goed vergelijkbaar met de prestaties van de Tripod.

Het werkgebied van de Gantry unit ziet er uit als een platte rechtopstaande vierkant. De arm van de robot kan horizontaal en verticaal bewegen.

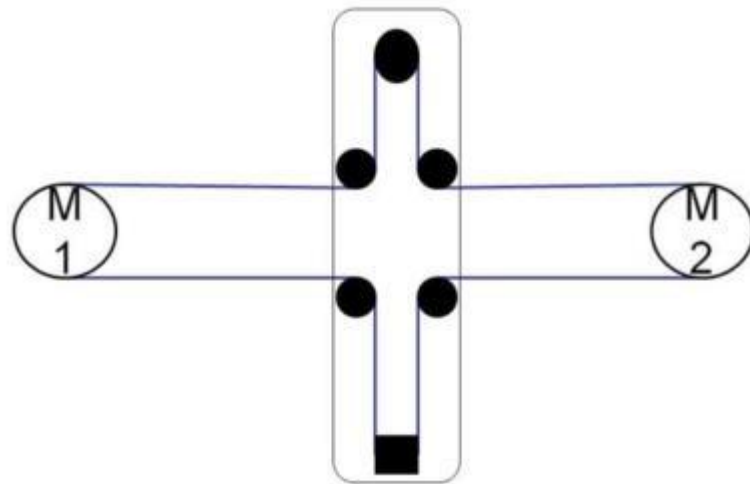
Net als bij de Tripod zijn de motoren buiten het bewegende deel van de constructie geplaatst. Dit zorgt voor een zeer lage massa-inertie. De motoren drijven de arm aan middels een tandriem. Deze tandriem wordt over een systeem van poelies naar de arm toe geleid. Zie Figuur 9 (poelie systeem gantry).

Wanneer beide motoren in de zelfde richting draaien verplaatst de arm in de horizontale richting. Wanneer de motoren tegen elkaar in draaien beweegt de arm in de verticale richting. Door motor 1 stil te houden en motor 2 aan te drijven is het mogelijk om in diagonale richting te bewegen.

Deze manier van aansturen is zeer ingewikkeld. Door beide motoren gecombineerd aan te sturen is beweging in alle richtingen mogelijk in een plat vlak. Om deze aansturing regeltechnisch mogelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van een positie matrix. Dit is een zeer uitgebreid aanstuurprogramma dat in Duitsland ontwikkeld en onderhouden wordt.



Figuur 8 (T-gantry)



Figuur 9 (poelie systeem gantry)

V. Vision systeem

Een veel toegepast onderdeel bij flexibele productie automatisering is vision. Dit systeem bestaat uit een camera, een computer en een pick and place unit. De camera 'ziet' producten langs komen op een lopende band. Uit het camera beeld kan de computer alle benodigde informatie halen.

Deze informatie zijn de X en Y coördinaten van het op te pakken product en de oriëntatie van het product. Nu weet de computer waar en hoe het product ligt, dit wordt gebruikt om de pick and place unit aan te sturen.

De camera ziet geen diepte. Er kan dus geen dynamische Z as worden geprogrammeerd. Daarom wordt er gewerkt met vaste oppak punten. De programmeur maakt vaste coördinaten aan in het programma van de pick and place unit.

Het toepassen van hoogte compensatie in het systeem zou het mogelijk kunnen maken om zonder veel extra programmeer werk meer verschillende producten op te kunnen pakken. Wanneer het hoogte verschil tussen producten slechts millimeters is kan met één programma gewerkt worden.



Figuur 10 (Festo vision camera)

In onderstaande tabel staan de technische gegevens van de camera die Festo produceert voor het vision systeem.

Technical data	
Type	SBOC-M-R1B-H
Lens mounting	C mount
Working distance [mm]	Dependent on the lens selected
Field of vision [mm]	Dependent on the lens selected
Sensor resolution [pixels]	640x480
Frame rate/full image [fps]	240
Exposure time [us]	1 ... 1,000,000
Protection class	IP65, IP67
Bus connection	Ethernet 100 Mbit/s; M12
Temperature range [°C]	-10 ... +50
Dimensions (WxHxL) [mm]	45x45x139.4 (incl. lens protection tube)

VI. Markt onderzoek

Voor men begint met het produceren van producten is het belangrijk om goed te weten of er wel een markt voor het product is. Wanneer men een prachtig product maakt is het belangrijk om te weten voor wie men het produceert. Pas als duidelijk is bij welke doelgroep of industrie het product in gebruik genomen gaat worden, kan er een specifiek ontwerp gemaakt worden. Hierbij wordt rekening gehouden met de verwachtingen en gebruikerseisen van de consument.

VI.1 Doelgroep

De Tripod is in staat om lichte producten zeer snel te verplaatsen. Het systeem werkt dan ook het meest optimaal bij producten onder een kilo. Grote afnemers van de Tripod zullen dan ook producenten zijn van lichte producten die bijvoorbeeld verplaatst of verpakt moeten worden. Denk hierbij aan de producenten van plastic messen, vorken en lepeltjes. Deze komen uit een mal op een transportband. Boven de band zal een camera hangen die het vision systeem van de Tripod van informatie voorziet. De werking van het vision systeem zal verder uitgewerkt worden in de bijlage Vision systeem. Vervolgens zal de Tripod de producten oppakken, verplaatsen en in de juiste oriëntatie op de bestemming positioneren.

VI.2 Grootheidsbepaling

Voor het nieuwe polsgewricht geproduceerd is het belangrijk te weten hoe groot de vraag zal zijn. Dit is met name belangrijk voor het kiezen van de juiste productiemethode. De hoeveelheid producten die gevraagd worden zijn te verdelen in drie categorieën.

- Enkelstuksproducten

Dit zijn producten die in zeer kleine aantallen geproduceerd worden. Hierbij praten we over aantallen onder de tien producten. Veelal zijn deze producten handwerk en aanzienlijk duurder dan producten die grootschaliger geproduceerd worden. Hierbij is minder specificatie van standaard onderdelen nodig doordat alle componenten slechts één maal gebruikt zullen worden.

- Serieproducten

Het serieproduct zal als pilot gebruikt kunnen worden. Tijdens het productieproces verlopen veel stappen automatisch. De productie kosten van het serieproduct zullen lager liggen dan dat van het enkelstuksproduct. Voor het productieproces van een serieproduct gestart wordt dienen alle standaard componenten goed gespecificeerd te worden. Wanneer er een fout in het TPD zit kan dit door werken in alle producten van de lijn, wat grote onvoorziene kosten met zich mee kan brengen.

- Massaproductie

Veel massaproductie wordt geoutsourced naar het buitenland. Het zijn veelal simpele onderdelen die uit mallen geproduceerd worden. Hierbij is er sprake van miljoenen producten die uit de productielijn komen. Het opzetten van de productielijn is zeer kostbaar, maar door met zeer grote aantallen te werken is het mogelijk om een zeer lage stuksprijs aan te bieden.

VI.3 Klanten

Een veel geziene applicatie van de Tripod is als pick and place unit. Hierbij wordt de Tripod ingezet om lichte producten met hoge snelheid en precisie te verplaatsen. De klanten die dit graag toepassen werken zelf met kleine lichte producten. Deze producten wegen veelal minder dan een kilo.

De volgende acties kunnen met het polsgewricht worden uitgevoerd.

- Sorteren.
- Verplaatsen.
- Verpakken.

Een doelgroep waarbij dit goed aansluit zou de verpakkingindustrie zijn. Wanneer een mal met geproduceerde producten gereed is kan de inhoud van de mal op een lopendeband gedeponeerd worden. Zodra de producten bij de Tripod aankomen zal deze de producten oppakken, indien nodig sorteren en in de juiste verpakking plaatsen. Gezien de hoge werksnelheid van de Tripod is het mogelijk om met een enkel systeem een complete transportband te voorzien.

De kosten van het Tripod systeem bedraagt 50.000 euro. Hier zullen de kosten van het polsgewricht nog bij komen. Dit is een aanzienlijke investering. De verwachting is dan ook dat de verkoopcijfers niet boven de tientallen uit zullen komen.

Dit betekent dat er sprake is van serieproductie in kleine aantallen. Het is belangrijk om de productie aantallen van te voren te weten om de financieel aantrekkelijkste productiemethode hiervoor uit te zoeken.

VI.4 Uitwerking

Om de verwachtingen met de werkelijkheid te toetsen zijn er een aantal gesprekken geweest met medewerkers van de verkoopafdeling. Zij hebben veel contact met klanten en weten precies de vraag van de markt. De gegevens van voorgaande hoofdstuk kunnen bij hen getoetst worden middels een interview zodat gegevens eventueel aangepast of aangevuld kunnen worden.

VI.4.1 Interview

De volgende personen zijn geïnterviewd:

- Robin van Tongeren (sales engineer)
- Arjan van Zoest (Product manager)
- Arnoud Tukker (handelingssystem engineer)
- Bob van der Ree (Design engineer)

Door de antwoorden op onderstaande vragen te vergelijken is het mogelijk het pakket van eisen en wensen correct op de praktijk af te stemmen. Ook geeft het een juiste indicatie van wat de verwachte uitwerking van het product is op de markt.

- Is er op dit moment vraag naar hogesnelheidshandelingssystemen?

De Tripod is nu bijna een jaar op de markt maar verkoopt nog slechts in kleine aantallen. De Tripod is een ingewikkeld duur systeem dat met beperkte vrijheidsgraden opereert. Vooral de pas gelanceerde T gantry verkoopt goed. Daarom zou het voor de verkoop van het polsgewricht goed zijn om het breder toepasbaar te maken.*

- Welk marktsegment heeft baat bij een Tripod met Polsgewricht?

De ELA sector. Dit is de Electric light assembly. Hierbij worden kleine producten met veel verschillende handelingen in elkaar gezet door hoog dynamische pick and place systemen als de Tripod en de T en H gantry's.

- Hoe wordt de verplaatsing en verpakking van producten momenteel gedaan?

Het kantelen gebeurt middels een extra kantel unit die tussen de transportbanden in gemonteerd is. Het roteren gebeurt momenteel met een harmonic drive unit op de basisplaat van de Tripod.

- Hoe groot is de verwachte afname?

Optimistisch gezien tien per jaar. Dit kan nog oplopen als het polsgewricht toegepast kan worden op andere bestaande handelingssystemen.

- Wat zijn de productie / draaitijden van de machines?

Dit is geheel afhankelijk van de soort klant. Sommige produceren 24 x 7 uur terwijl andere een proces met mensen hebben waarbij de machine acht uur draait en vervolgens wordt stilgezet. Voor onderhoud zou het mooi zijn om het onderhoudsinterval gelijk te laten lopen met dat van het systeem waar het wordt opgebouwd. Dit zorgt voor minimale stilstandtijden.

- Zou de modulaire opbouw van het polsgewricht een goede toevoeging zijn? Is er veel vraag naar een aparte rotatie of kantel unit?

Er is vooral vraag naar een rotatie unit die goedkoop is. De harmonic drive unit is erg duur. Deze kost inclusief besturingskast 3500 euro. De rotatie functie van het polsgewricht mag veel goedkoper ten koste van de nauwkeurigheid. Voor veel applicaties is een nauwkeurigheid van 1 graad ruim voldoende.

Ook heeft niet iedere klant beide vrijheidsgraden nodig. Het zou kosten besparen wanneer de klant niet beide systemen hoeft te kopen. Door het systeem modulair te maken kan het product aan de specifieke wensen van de klant voldoen.

- In hoeverre is de nauwkeurigheid van het systeem belangrijk? Moet het systeem tot de 0,001 mm nauwkeurig aangestuurd kunnen worden of mag het ook op de 1mm nauwkeurig.

Zoals bij vorige vraag al genoemd hoeft de aansturing niet zeer nauwkeurig. Een stappen verplaatsing per graad zou voldoende zijn. Dit zou kosten kunnen besparen.

- Op welke systemen buiten de Tripod zou het polsgewricht ook een goede toevoeging zijn.

De T-gantry en de H-gantry

*T-gantry uitleg hoofdstuk Gantry unit IV

VI.5 Herkomst kosten

Er zijn veel kostenposten binnen een project van deze omvang. Een groot deel van de kosten wordt gemaakt tijdens het ontwerpen, produceren en assembleren. Een effectieve doelgroep om de kosten bij te drukken is bij de repeterende kosten. Dit zijn kosten die iedere keer weer terug komen. Dit is bij het produceren en assembleren, maar ook de materiaal kosten spelen een rol.

VI.5.1 Materiaalkosten

Onder de materiaalkosten valt niet alleen het gebruikte materiaal voor het bouwen van het gewricht maar ook de inkoop onderdelen die nodig zijn om een werkend product op te leveren. Om de productie kosten laag te houden is het verstandig om vooral veel te werken met inkoop onderdelen. Het opzetten van een productielijn is een zeer kostbaar proces.

Het systeem zal worden aangestuurd door motoren. Deze zijn verantwoordelijk voor een groot deel van de materiaal kosten. De juiste aandrijfmethode keuze bepaald voor een groot deel de kosten van het project. Bij het uitzoeken van de juiste aandrijf mechaniek dient er een compromis gevonden te worden tussen kosten en nauwkeurigheid. Hoe preciezer een systeem kan werken hoe duurder het vaak wordt.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de kosten, nauwkeurigheid en gewicht van aantal systemen.

Type motor	Kosten [euro]	Draaihoek [graden]	Aantal posities	Benodigde accessoires.	Gewicht [Gram]
Stappen motor	900	Oneindig	Oneindig	Gearbox Encoder Lineair drive	300
Servo motor	300	Oneindig	Oneindig	-	200
Harmonic drive	3500	Oneindig	Oneindig	-	500
Pneumatisch rotatie unit	275	240 graden	8	Regelventiel	159
Pneumatische draai cilinder	560	270 graden	2	Regelventiel	700
Pneumatische cilinder	50	80 mm	2	Regelventiel	250

Uit bovenstaande tabel kan worden afgeleid dat pneumatische systemen aanzienlijk goedkoper zijn dan elektrische systemen. Het gewicht van lineaire pneumatische systemen is redelijk gelijk aan dat van elektrische systemen. Het grootste verschil tussen de systemen zit in de nauwkeurigheid. De grootste kosten in deze systemen komt voort uit de besturing. Een PLC is over het algemeen aanzienlijk duurder dan een regelventiel.

Bij het uitzoeken ontwerpen van een goedkoper systeem zal met deze aspecten rekening gehouden moeten worden. Uiteindelijk is het systeem een balans van kosten, gewicht en nauwkeurigheid.

Buiten de; ontwerp, productie en assemblage kosten zijn er ook de kosten die voortkomen uit personeel. Deze kosten kunnen vrij hoog zijn door het te betalen loon en verzekeringen van de werknemer.

De kosten zullen uitgebreid uitgewerkt kunnen worden zodra het eindconcept gekozen en uitgewerkt is.

VI.6 Conclusie marktonderzoek

De verwachting is dat het polsgewricht geen groot verkoopkanon gaat worden. Doordat het polsgewricht in kleine aantallen verkocht zal worden zal er zeker in het begin van de verkoopperiode geen winst op gemaakt worden. Het polsgewricht zal gebruikt worden als accessoires om de Tripod meer volledigheid te bieden. Door het display model van de Tripod in te kunnen zetten met het polsgewricht zal het veel aandacht op zich vestigen tijdens beurzen en evenementen. Dit verleid meer mensen tot het kopen van een Tripod. Wanneer het systeem samen verkocht wordt kan met de winstmarge dat op de Tripod zit evengoed winst worden gemaakt op het complete systeem.

VII. Analyse huidige concept

Bijlage Volledige analyse van het huidige concept

Aangezien de analyse van het huidige systeem te uitgebreid is om in de scriptie te plaatsen volgt hier de volledige uitwerking van het huidige concept.

VII.1 Inleiding Analyse huidige concept

Voordat er kan worden begonnen met het bedenken van concepten voor het verbeteren van het polsgewricht is het nodig om eerst goed te begrijpen hoe het huidige systeem werkt. Hierbij worden de belangrijkste onderdelen van het systeem grondig onderzocht. Het doel hiervan is om de best mogelijke oplossing voor het project te vinden. Dit is alleen mogelijk wanneer ook de oorsprong van het project goed doorgrond is.

De analyse van het huidige systeem is gedaan in meerdere stappen. Deze stappen zijn:

1. Analyse werking huidige concept

Door de werking van het huidige concept goed te doorgronden wordt de kans op dubbel werk verminderd. Het is belangrijk dat het nieuwe concept verder bouwt op de fundering die gelegd is met het oude concept. Hierdoor wordt er geen energie verspild met het opnieuw uitvinden van het wiel.

2. Analyse van het krachterspel in het systeem

Door te weten hoe de krachten lopen in het systeem is het mogelijk om inzicht te krijgen welke onderdelen het zwaarst belast worden. Tijdens het ontwerp proces kan hier goed rekening mee gehouden worden zodat deze krachten zo efficiënt mogelijk opgevangen worden.

3. Onderzoek kritische delen

Na voorgaande analyse is precies duidelijk welke onderdelen onderhevig zijn aan de grootste krachten. Deze onderdelen zullen middels een praktijktest onderzocht worden. Door middel van het marktonderzoek is duidelijk naar voren gekomen dat de kabels een veel besproken punt zijn van het systeem. Door de kabels in de praktijk te testen is het mogelijk om meer te weten te komen over het dynamisch gedrag van de kabel en waar eventuele kritische punten liggen die je met een theoretische benadering niet snel tegen zou komen.

4. FMEA analyse

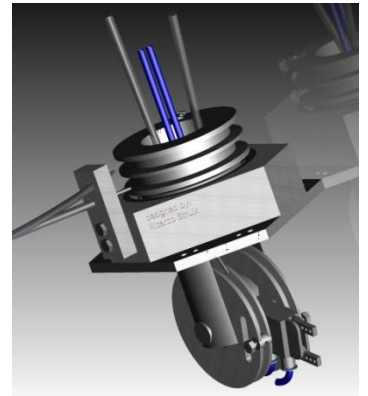
Met de FMEA analyse kunnen de kritische onderdelen van het systeem op falen getoetst worden. Hierbij wordt er onderzoek gedaan naar mogelijke faaloorzaken en gevolgen. Wanneer de kans op falen erg groot is dient hier bij het ontwerp van het nieuwe concept rekening mee gehouden te worden zodat dit uitgesloten wordt.

VII.1.1 Analyse werking huidige concept

In dit hoofdstuk wordt de totstandkomingen werking van het huidige prototype besproken. Het geeft meer duidelijkheid wanneer de achtergrond informatie van het project ook bekend is.

VII.1.1.1 Geschiedenis van de opdracht

Een jaar geleden ben ik de uitdaging aangegaan om als stageopdracht een polsgewricht te ontwikkelen voor de Tripod. Het resultaat hiervan was een werkend prototype dat op basis van scharniergewrichten bewegingen in alle richtingen mogelijk maakt. Het prototype wordt aangedreven door servomotoren die buiten het bewegende deel van de constructie geplaatst zijn.



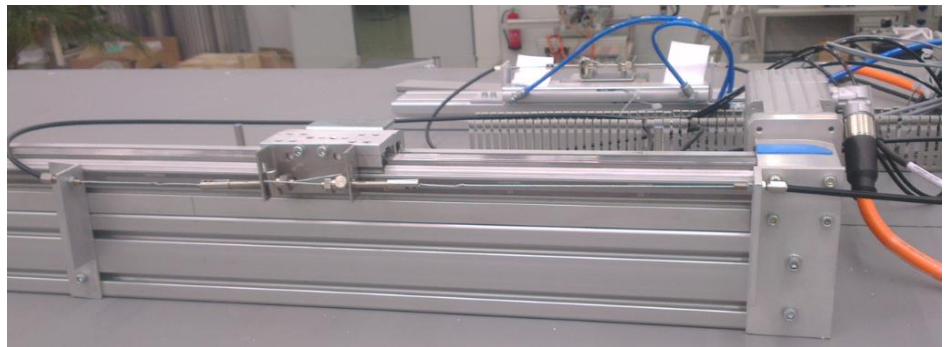
Figuur 11 (prototype 1)

De motoren drijven een lineaire geleider aan die een staalkabel doet bewegen t.o.v. zijn kabelmantel. De lineaire geleider wordt ook wel lineair drive genoemd. Deze lineair drive bestaat uit een tandriem die om twee poelies draait. Direct aan deze tandriem vast zit een slede die over een baan wordt getrokken door de tandriem.

Aan de slede zit een gevlochten staalkabel. Doordat de slede heen en weer beweegt wordt de kabel ook heen en weer bewogen. Aan beide zijdes van de basis van de lineair drive zitten kabelmantels gemonteerd. De kabel mantel begeleidt de kabel naar het polsgewricht onder de poelie. De lineaire drive doet de kabel bewegen t.o.v. zijn mantel doordat de slede beweegt t.o.v. de basis.

De kabel komt met zijn kabelmantel aan bij het polsgewricht. De mantel zit gefixeerd aan de basisplaat onder de Tripod en de kabel zit aan een poelie. Door de slede van de lineair drive te bewegen, beweegt de poelie van het polsgewricht mee.

Om de poelie star te kunnen bewegen zijn er twee kabels contra aan elkaar gemonteerd op de poelie. Door een voorspanning op de kabel te zetten blijft de poelie star in de juiste positie. Het polsgewricht vervult twee functies. Deze zijn kantelen en roteren. Iedere functie wordt bekrachtigd door een eigen poelie met hieraan een kabelpaar gemonteerd. Dit betekent dat er in totaal vier kabels de constructie bekrachtigen. Zie Figuur 11 (prototype 1) ter illustratie.



Figuur 12 (lineair drive)

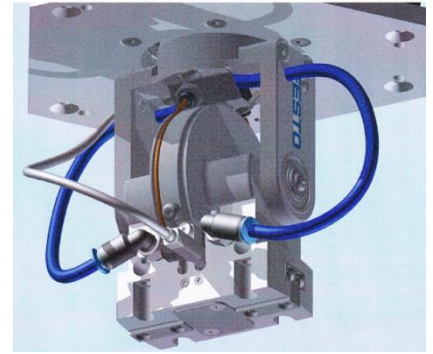
VII.1.1.2 Vervolg opdracht

In het ontwerp was nog ruimte voor verbetering. Een volgende stagiair heeft het stokje overgenomen en heeft de opdracht verder uitgewerkt. Dit resulteerde een ontwerp met daarin een compacter lager en ruimte voor een grotere gripper. In plaats van het tweerijig hoekcontactlager is er een vierpunts diepgroeflager als lager om de constructie aan op te hangen gebruikt.

Het aantal grippers dat paste onder het oude prototype was minimaal. Door de ruimte onder het polsgewricht ruimer te maken is het mogelijk om meer verschillende grippers onder het polsgewricht toe te kunnen passen.

De kabel zat in de slede van de lineaire drive geborgd middels een schroefton. In het tweede prototype is de schroefton vervangen door een eindterminal met einddraad. Zie Figuur 14 (soldeer ton met schroefdraad).

Deze grote veranderingen in combinatie met een aantal kleine aanpassing in het ontwerp hebben er voor gezorgd dat het ontwerp nog lichter is geworden. Figuur 13 (prototype 2.0) laat zien hoe gewricht op dit moment er uit ziet.



Figuur 13 (prototype 2.0)



Figuur 14 (soldeer ton met schroefdraad)

VII.2 Berekeningen krachterspel in het huidige systeem

Om de berekening goed overzichtelijk te houden wordt deze uitgevoerd in meerdere stappen. Dit is gedaan door een complexe situatie af te breken naar simpelere kleine systemen. Bij de eerste stap wordt er gekeken welke invloeden van buitenaf werkzaam zijn op het systeem.

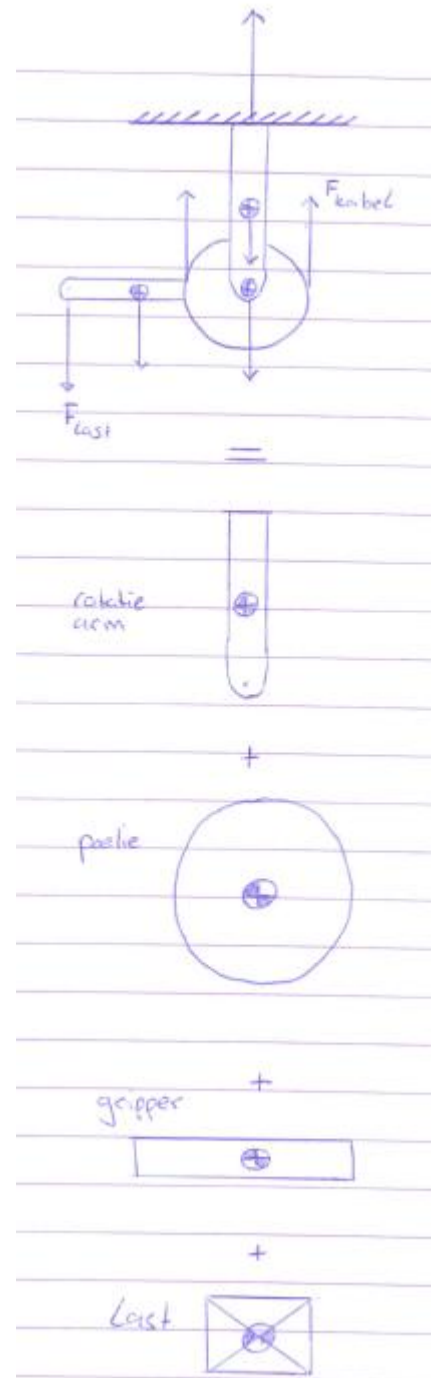
VII.2.1 De zwaarte kracht.

De zwaarte kracht is een versnelling die altijd aanwezig is op aarde. Zelfs als het systeem stil staat is er een kracht aanwezig die voortkomt uit de gravitatieversnelling. De gravitatieversnelling is bij de statische berekening genomen op $9,81 \text{ m/s}^2$

Het systeem kan worden verdeeld in twee subsystemen. Deze zijn de kantelmechaniek en de rotatiemechaniek. Eerst zal de kantelmechaniek uitgewerkt worden.

De kantelmechaniek bestaat uit een grijper met hieraan de last. Deze arm is aan een poelie gemonteerd. De poelie zit middels een as bevestigd aan de rotatiearm die aan de basisplaat van de Tripod vast zit.

Wanneer de grijper met de last 90 graden naar onder verdraaid, zal het krachterspel in het vls veranderen. Wanneer de grijper met de last loodrecht onder de rotatie arm staat is de hoek 0 graden. De grijper met de last kan een hoek maken van 180 graden totaal, maar aangezien het stelsel symmetrisch is zal slechts een hoek tussen de 0 en 90 graden behandeld worden. Aangenomen wordt dat de andere 90 graden hetzelfde verloopt. Het verschil zal zitten in de kabel die de kracht op zal nemen. Aangezien de gekozen kabels slechts trekkracht op kunnen nemen zal er bij de 0 graden een wisseling van de kracht tussen de kabels plaatsvinden.



Figuur 15 (VLS)

Als gevolg van de massa van de last en de gravitatieversnelling ontstaat er een kracht in het systeem. Deze kracht veroorzaakt afhankelijk van de arm een moment op de poelie. De lengte van de arm L1 in Figuur 16 (VLS kantelmechaniek) is afhankelijk van de hoek die de gripper maakt. Deze hoek wordt aangegeven met θ .

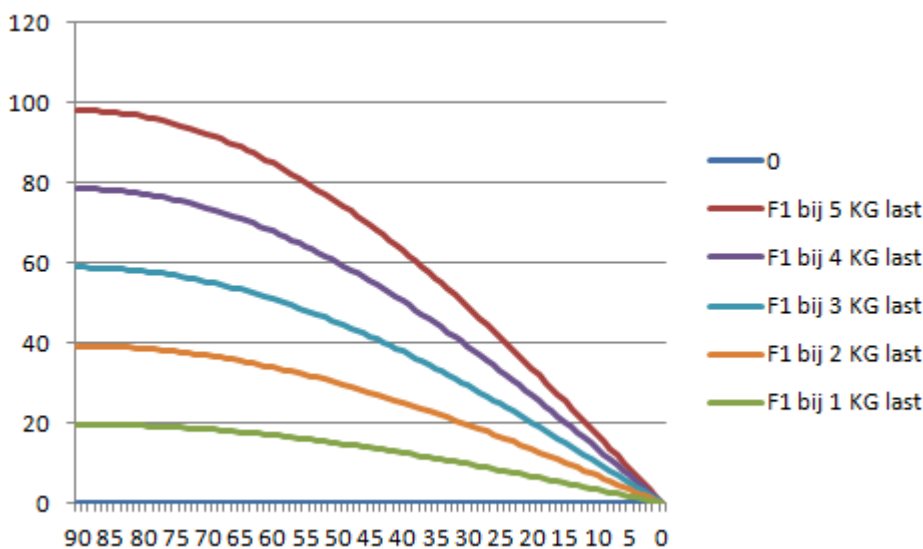
Aangezien de zwaartekracht loodrecht naar beneden staat in de Z-richting is de lengte van de arm L1 afhankelijk van hoek θ .

De formule om het moment te berekenen in de poelie luidt:

$$\Sigma M_{poelie} = 0$$

$$(m_{last} * G) * (L_{gripper} * \sin(\theta)) - (F_{kabel} * r_{poelie}) = 0$$

Hiermee is de kracht in de kabel te berekenen. Door dit in Excel te doen is het mogelijk om per graad het krachtverloop in een grafiek te plotten. Zie Figuur 18 (krachtverloop in de kabel). Aangezien de Tripod is berekend voor lasten van 1 t/m 5 KG zijn is in de grafiek onderscheid gemaakt tussen de verschillende lasten. Hiermee is gemakkelijk het krachtverloop uit te lezen per last. In de verticale as staat de kracht op de kabel in Newton. In de horizontale as staat de hoekverdraaiing in graden.



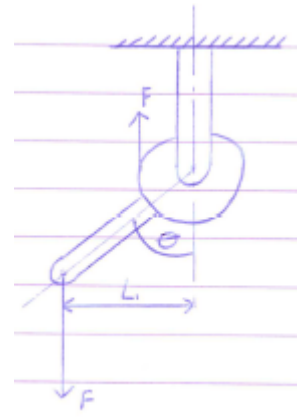
Figuur 18 (krachtverloop in de kabel)

De zwaartekracht heeft een minder grote invloed op de rotatiemechaniek dan op de kantelmechaniek. Ongeacht de hoek van de gripper is de kracht op de rotatie mechaniek; (de massa van het systeem + de massa van de last X de gravitatieversnelling). Deze kracht wordt volledig opgevangen door het lager. De kabels worden hierdoor niet belast.

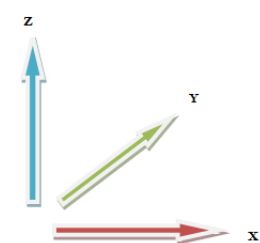
Dit geeft een kracht op het systeem van:

- 54 N bij een last van 5 KG.
- 44 N bij een last van 4 KG.
- 35 N bij een last van 3 KG.
- 25 N bij een last van 2 KG.
- 15 N bij een last van 1 KG.

Hierbij is uitgegaan dat het systeem 0.5 kilo weegt.



Figuur 16 (VLS kantelmechaniek)



Figuur 17 (assenstelsel)

VII.2.2 Externe acceleratie in de Z-richting

De volgende stap is het berekenen van de krachten op het systeem die voort komen uit externe acceleratie. Aangezien het polsgewricht onder de basisplaat van de Tripod gemonteerd zit is het onderhevig aan de krachten die ontstaan bij de accelererende bewegingen die de Tripod maakt.

Bij het berekenen van rechtlijnige acceleraties wordt het systeem beschouwd als een aantal puntmassa's. Wanneer de basisplaat van de Tripod recht omhoog accelereert in de Z-richting ontstaan er krachten in het systeem. Deze krachten zijn het grootst wanneer de grijper in de 90 graden stand staat.

Wanneer de grijper in een hoek van 90 graden staat en de Tripod accelereert omhoog in de Z-richting zal de kantelmechaniek naar de 0 graden positie willen. Dit genereert een moment in de poelie. Dit moment wordt opgevangen door de kabels.

Deze kracht kan uitgerekend worden met de formule:

$$F = m * A$$

Hierbij staat de A voor acceleratie van de Tripod in de Z-richting. De acceleratie is afhankelijk van het gewicht dat de Tripod moet verplaatsen. Hoe lichter de last onder de Tripod hoe lager de massa traagheid van het systeem en dus hoe harder de Tripod kan accelereren. Uit de documentatie van de Tripod zijn de volgende gegevens af te leiden:

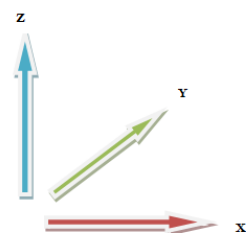
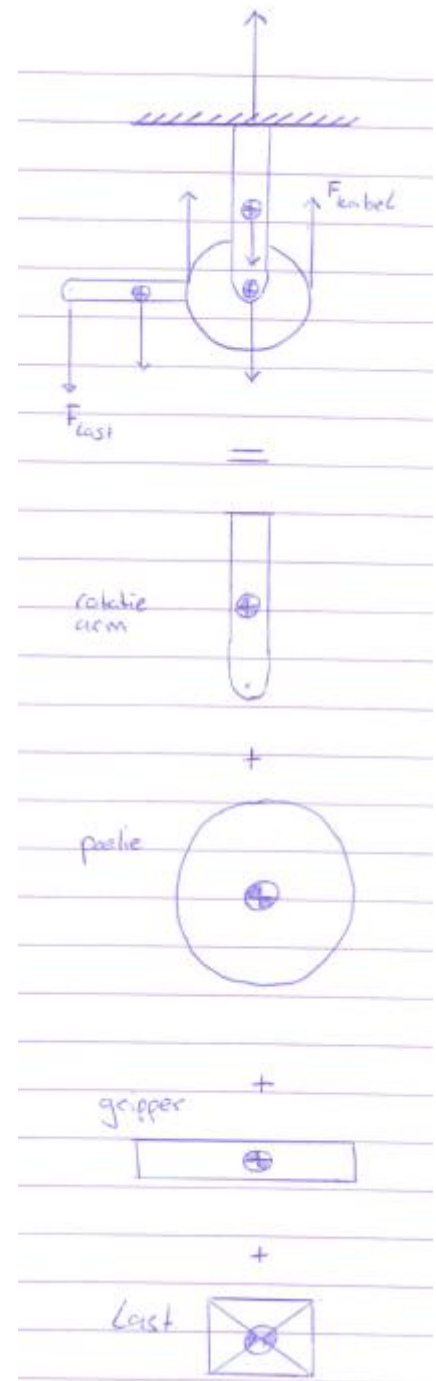
- Bij 5 KG last is de maximale acceleratie 20 m/s²
- Bij 4 KG last is de maximale acceleratie 25 m/s²
- Bij 3 KG last is de maximale acceleratie 30 m/s²
- Bij 2 KG last is de maximale acceleratie 40 m/s²
- Bij 1 KG last is de maximale acceleratie 70 m/s²

De massa's van het systeem zijn als volgt:

- Grijper: 0.1 KG
- Poelie: 0.05 KG
- Rotatie arm: 0.2 KG

De lengtes van het systeem zijn:

- L1: 0.2 m
- L2: 0.06 m
- L3: 0.45 m
- L4: 0.22 m



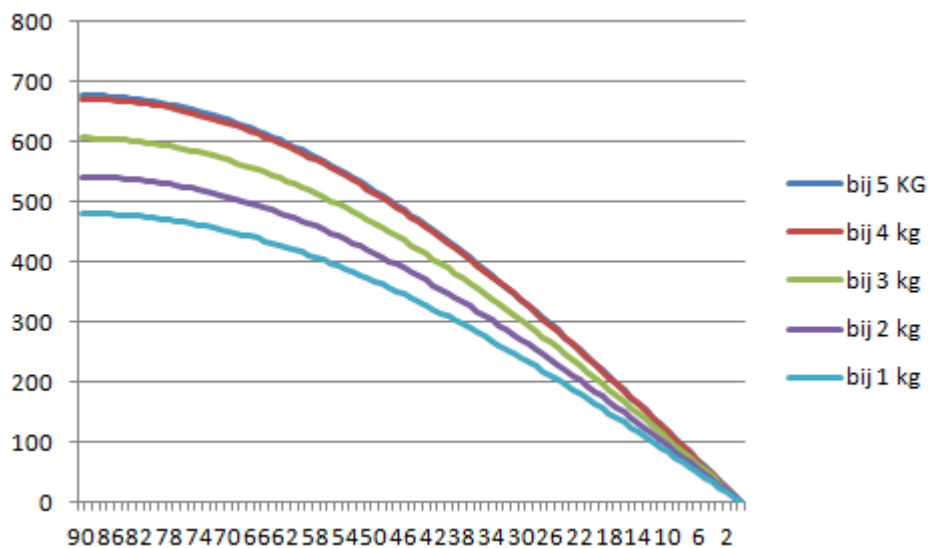
Eerst worden de actie krachten F1 t/m 4 berekend. Dit gebeurt met de formule $F=m \cdot A$
 Vervolgens worden de reactiekrachten F5 en F6 berekend

De kracht F5 is een reactiekracht die ontstaat in de roatiemechaniek als gevolg van de massa * versnelling van de kantelmechaniek.

F6 is de kracht die de kabel moet opbrengen om de het systeem stabiel te houden. Deze kracht kan berekend worden door het moment om punt A uit Figuur 20 (VLS) te nemen.

$$\Sigma \hat{M}_A = 0$$

$$(F_4 * (\sin(\theta) * L_1)) + (F_3 * (\sin(\theta) * L_2)) - (F_6 * r_{poelie}) = 0$$



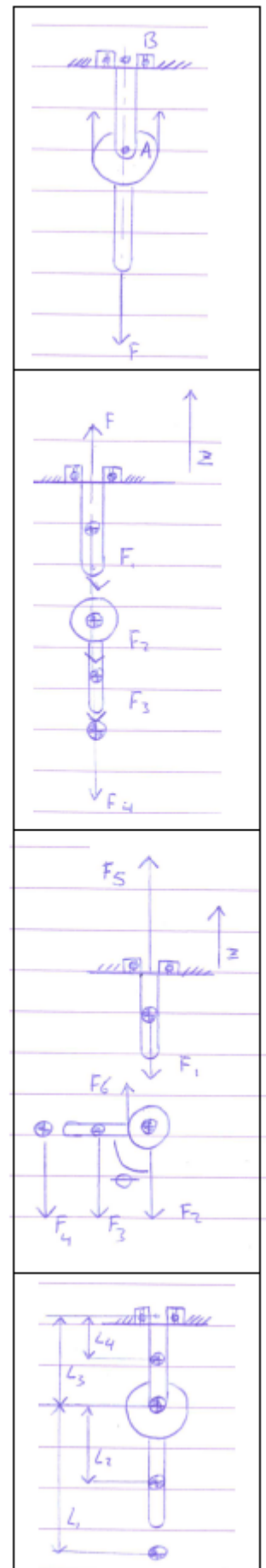
Figuur 19 (krachtverloop in de kabel t.g.v. acceleratie Tripod)

Figuur 19 (krachtverloop in de kabel t.g.v. acceleratie Tripod) laat de het krachtverloop in de kabel zien bij verschillende belastingen en hoeken. Hierbij staat in de verticale as de kracht in Newton uitgezet. In de horizontale as staat de hoek die de kantelmechaniek maakt uitgezet in graden.

Wanneer de grijper in een hoek van 90 graden staat is de arm tot het draaipunt het grootst. Zodra de kantelmechaniek richting de nul graden draait neemt deze arm af. Hiermee neemt de kracht in de kabel ook af. Terwijl de kracht in de kabel afneemt zal deze kracht opgevangen moeten worden door de constructie waaraan de kantelmechaniek is opgehangen. Deze constructie is de rotatie mechaniek.

De kracht is bij de 90 graden stand vrij hoog. Dit komt doordat de arm die de kracht moet opvangen zeer klein is. De kabel zit vast aan de poelie. De straal van de poelie samen met de hoek waaronder de kabel de poelie verlaat bepalen de lengte van de arm.

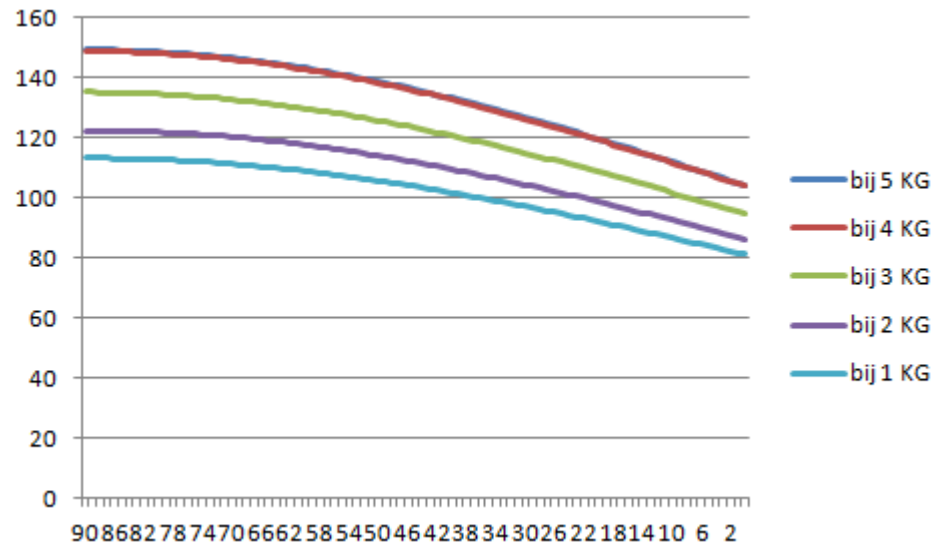
Wat ook opvalt aan de grafiek is dat de lijnen vrij dicht bij elkaar liggen. Dit komt voort uit de gekozen acceleraties waaraan het systeem onderhevig is. De acceleraties waarvoor de Tripod ontworpen is, zijn zo gekozen dat de belasting van het systeem gelijk is. Bij een zware last zal de Tripod langzamer accelereren dan bij een lichte last. Dit verklaart de afstand tussen de lijnen in Figuur 23 (F6 tijdens accelereren in de X-richting).



De reactie kracht in de rotatiemechaniek kan berekend worden door het moment om punt B te nemen. Dit gebeurt met de formule:

$$\Sigma \hat{M}_B = 0$$

$$(F_4 * ((\sin(\theta) * L_1) + L_3)) + (F_3 * ((\sin(\theta) * L_2) + L_3)) + (F_2 * L_3) + (F_1 * L_4) - F_6 * L_3 = 0$$



Figuur 21 (F5 tijdens accelereren in Z-richting)

Tijdens het accelereren in de Z-richting is de reactiekracht in het systeem bij 90 graden het grootst. Naarmate de kantelmechaniek richting de nul graden verdraait zal de kracht afnemen doordat de arm waarop de kracht werkt korter wordt. De kracht zal ook in de nul graden positie nooit nul worden. Zolang het systeem een massa en een acceleratie heeft zal er een reactiekracht aanwezig zijn.

Deze reactie kracht is in de richting van de rotatieas en kan dus gezien worden als een axiale kracht. Aangezien het systeem is opgehangen aan een lager zal het lager deze kracht moeten overbrengen naar de rest van de constructie. Voor de lagerkeuze is het belangrijk te weten hoe groot de werkende krachten op het systeem zijn. Bij het onderbouwen van de lagerkeuze is het belangrijk dat de axiale kracht uit de grafiek in Figuur 21 (F5 tijdens accelereren in Z-richting) mee wordt genomen.

VII.2.3 Externe acceleratie in de X en Y richting

De Tripod accelereert niet alleen in de Z-richting maar doet dit ook in de X en Y richting. Hiervoor dient ook de kracht uitgerekend te worden. Aangezien de X en de Y-richting allebei in hetzelfde platte vlak liggen is het niet nodig om beide apart uit te rekenen. De antwoorden voor de X-richting gelden ook voor de Y-richting.

Tijdens het accelereren in de X-richting zal er een moment ontstaan in het lager. Dit is punt B in Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek). Bij het uitzoeken van het lager is het noodzakelijk om de krachten in het systeem te weten.

De acceleratie van de Tripod is altijd hetzelfde:

- Bij 5 KG last is de maximale acceleratie 20 m/s^2
- Bij 4 KG last is de maximale acceleratie 25 m/s^2
- Bij 3 KG last is de maximale acceleratie 30 m/s^2
- Bij 2 KG last is de maximale acceleratie 40 m/s^2
- Bij 1 KG last is de maximale acceleratie 70 m/s^2

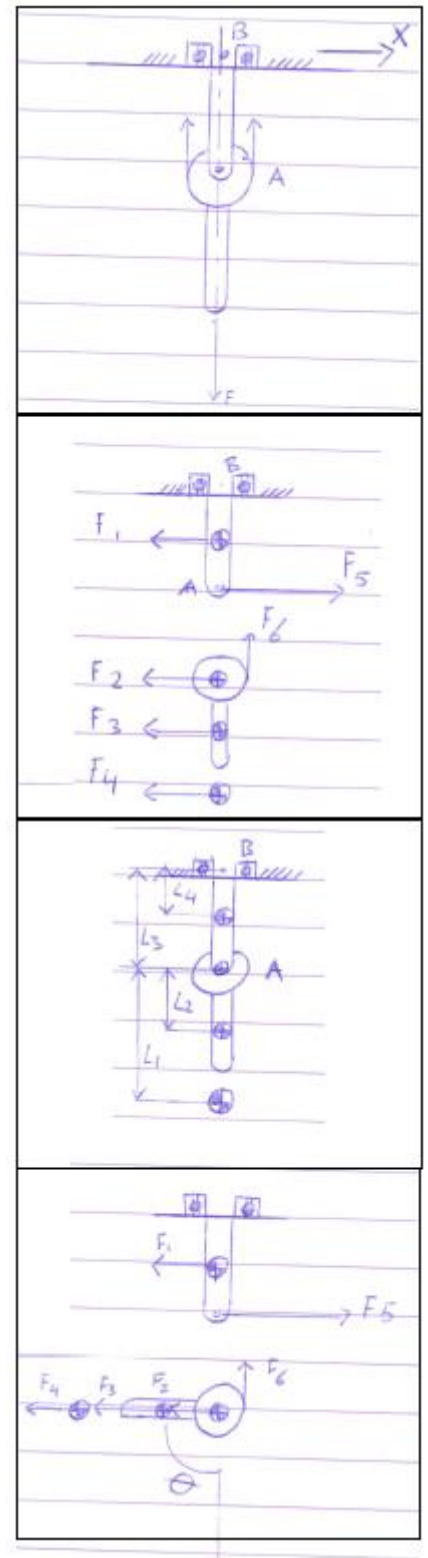
De massa's van het systeem zijn als volgt:

- Grijper: 0.1 KG
- Poelie: 0.05 KG
- Rotatie arm: 0.2 KG

De lengtes van het systeem zijn:

- L1: 0.2 m
- L2: 0.06 m
- L3: 0.45 m
- L4: 0.22 m

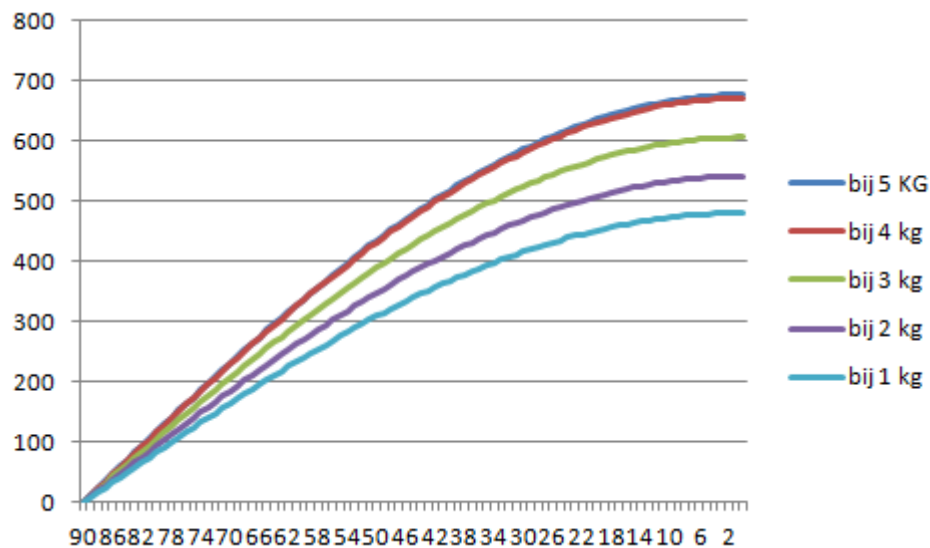
Met $F=m \cdot A$ kunnen de krachten F1 t/m F4 uit Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek) worden uitgerekend. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met de verschillende acceleraties die horen bij de verschillende belastingen van het systeem.



Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek)

Nu willen we eerst de kracht in de kabel weten. Deze kracht wordt vanaf hier F6 genoemd. Hier is achter te komen met de volgende momenten vergelijking.

$$\begin{aligned} \Sigma \hat{M}_A &= 0 \\ (F_4 * (\cos(\theta) * L_1)) + (F_3 * (\cos(\theta) * L_2)) - F_6 * r_{poelie} &= 0 \end{aligned}$$



Figuur 23 (F6 tijdens accelereren in de X-richting)

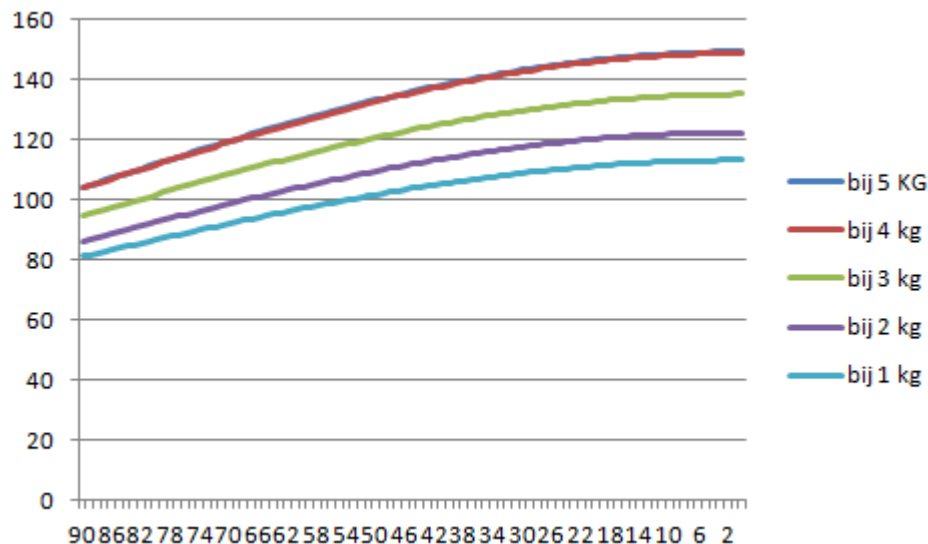
Het eerste wat opvalt aan Figuur 23 (F6 tijdens accelereren in de X-richting) is dat deze precies tegenover gesteld is aan Figuur 21 (F5 tijdens accelereren in Z-richting). Dit klopt ook, omdat de bewegingsrichting nu anders is. De 90 graden positie zorgt niet voor een belasting op de kabel bij het accelereren in de X-richting.

De reden dat de lijn in de grafiek bij nul begint komt doordat de kabel bij 90 graden geen kracht opneemt. In deze stand zal de arm waaraan de poelie is opgehangen de kracht volledig op zich nemen. Zodra de kabel zakt richting de 0 graden neemt de kabel steeds meer kracht op doordat de arm tussen de last en het zwaartepunt steeds langer wordt.

Zoals te zien is in Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek) wordt het systeem in twee delen beschouwd. Hierbij wordt de rotatiemechaniek los berekend van de kantelmechaniek. Om dit te kunnen doen ontstaat er een reactie kracht. Deze kracht wordt opgevangen door het lager waaraan de hele constructie hangt. Dit is een essentieel onderdeel van de constructie. Daarom worden de momenten om punt B in Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek) ook uitgerekend zodat het juiste lager gekozen kan worden. Het berekenen van F5 gebeurt met de volgende vergelijking:

$$\Sigma \hat{M}_B = 0$$

$$(F_4 * ((\cos(\theta) * L_1) + L_3)) + (F_3 * ((\cos(\theta) * L_2) + L_3)) + (F_2 * L_3) + (F_1 * L_4) - F_6 * L_3 = 0$$



Figuur 24 (F5 tijdens accelereren in X-richting)

De kracht F5 is beduidend lager dan F6. Dit komt doordat de arm van F5 groter is dan de straal van de poelie. Dit resulteert in een gunstiger krachtverloop.

De lijn in Figuur 24 (F5 tijdens accelereren in X-richting) loopt nooit door nul Newton. Dit komt doordat scharnierpunt B in Figuur 22 (VLS rotatie mechaniek) altijd op een vaste afstand ligt van scharnierpunt A. De kantelmechaniek genereert altijd een moment om punt B doordat deze altijd een arm heeft.

De arm wordt groter naarmate de arm verder van de 90 graden positie naar de 0 graden positie verdraait. Dit resulteert in een oplopende kracht in de grafiek.

De kracht uit de grafiek van Figuur 24 (F5 tijdens accelereren in X-richting) staat haaks op de rotatiearm. Aangezien de rotatiearm middels een lager met de rest van de constructie verbonden zit, zal dit lager alle kracht moeten kunnen overbrengen zonder stuk te gaan. Aangezien de kracht haaks op de rotatiearm werkt betekent dit dat het lager hierdoor radiaal belast wordt.

VII.2.4 Hoekversnelling kantelmechaniek

Nu de externe krachten op het systeem duidelijk in kaart zijn gebracht kan de volgende stap gemaakt worden. Hierbij wordt er gekeken naar de actiekrachten die intern ontstaan. Dit kan verdeelt worden in twee berekeningen. Bij beide berekeningen worden de krachten voortgebracht uit acceleraties. De eerste berekening zal zijn van de acceleratie die de kantelmechaniek maakt. De tweede berekening zal de acceleratie van de rotatiemechaniek behandelen.

Om de interne kracht te berekenen die op de kantelmechaniek werkt is het belangrijk om te weten wat de massa's zijn en wat de versnelling is. De massa's zijn hetzelfde als in het vorige hoofdstuk. Aangezien de kantelmechaniek om een as versnelt is er sprake van een hoekversnelling.

Uiteindelijk kan de kracht op de kabel en de reactie kracht in het systeem berekend worden met: $F = \frac{T}{L}$

Waarin: T= Moment [Nm]

L= lengte van de arm [mm]

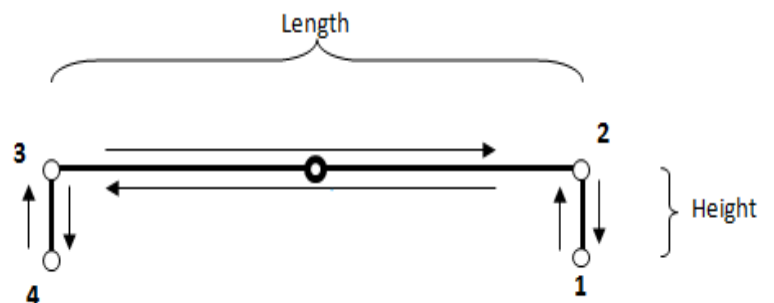
Het moment wordt berekend met: $T = I * \alpha$

Waarin: I= samengestelde massa'straagheid van het systeem [KG/m²]

α = hoekversnelling [rad/s²]

De tijd die het polsgewricht heeft om een complete duty cycle te maken wordt bepaald door de werksnelheid van de Tripod. Door de duty cycles van beide systemen op elkaar af te stemmen is het mogelijk een zeer efficiënt systeem aan te bieden. De duty cycle van de Tripod is hierin bepalend. In de data sheet van Figuur 26 (data sheet Tripod) staat de duty cycle per lastgewicht weergegeven.

In Figuur 25 (Duty cycle) wordt één duty cycle van de Tripod schematisch weergegeven. De cycle bestaat uit oppakken, verplaatsen, neerzetten en weer terug verplaatsen. Gedurende deze tijd moet het polsgewricht een rotatie van 180 graden heen en 180 graden terug kunnen maken. De hoeveelheid beschikbare tijd hiervoor wordt op de volgende pagina verder uitgelegd.



Figuur 25 (Duty cycle)

In onderstaande data sheet wordt de werksnelheid van de Tripod weergegeven. De grafiek geeft in de verticale as de werksnelheid in picks per minuut. In de horizontale as staat het bij behorende gewicht dat de tripod op deze snelheid kan verplaatsen. Het aantal picks per minuut bepaald de maximale tijd die beschikbaar is om het polsgewricht aan te sturen.

Tripod EXPT – technical data

Technical performance System:

- Max. acceleration 110 m/s²
- Max. velocity 7 m/s
- Repeatability +/- 0,1 mm
- Absolute accuracy +/- 0,5 mm*
- Path accuracy (at max. 0,3 m/s) +/- 0,5 mm*
- Payload at max. vel. and acc. 1 kg
- Max. payload 5 kg

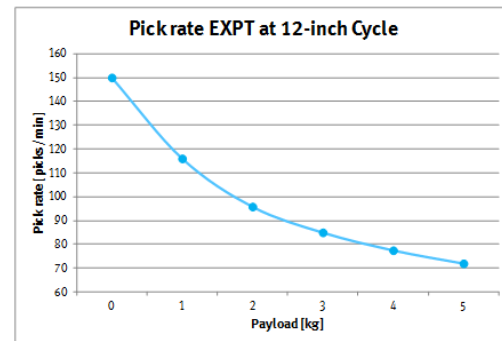
* Optional with calibrated systems

Pick rate (without gripping time):

Cycle [mm] 25/305/25

- Payload 0 kg 150 cycles/min*
- Payload 3 kg 85 cycles/min*
- Payload 5 kg 72 cycles/min*

* Cycles with a positioning accuracy of 0,5 mm
(The time for gripping has to be considered separately)



- Real high-speed applications have a pick rate of about 60 und 120 cycles per minute
- The cycle rate can be increased by using a multi gripper

Figuur 26 (data sheet Tripod)

Uit de grafiek in bovenstaande data sheet kan de volgende informatie worden gehaald:

Gewicht [KG]	Max aantal cyclussen	Tijd per cyclus [sec]
1	115	0.52
2	95	0.63
3	85	0.71
4	78	1.2
5	72	1.3

Nu de tijd bekend is wordt het mogelijk om het bewegingsprofiel te bekijken. Voor het huidige polsgewricht wordt het bewegingsprofiel van Figuur 27 (bewegingsprofiel) toegepast. Tijdens één duty cycle kantelt het gewricht maximaal 180 graden heen en terug. Deze gegevens zijn nodig om de hoekversnelling te berekenen.

Voor de hoekversnelling berekend kan worden moet eerst de hoeksnelheid bekend zijn. Deze kan berekend worden met de formule:

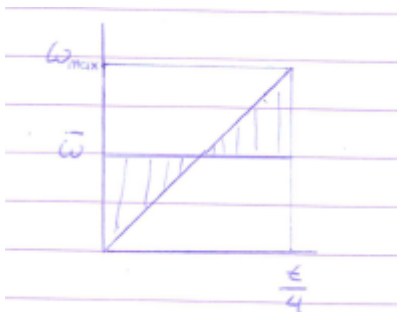
$$\bar{\omega} = \frac{0.5\pi}{\frac{t}{4}}$$

Hierbij wordt ingezoomd op het eerste kwart van het bewegingsprofiel. Hierbij beweegt ω tot het hoogste punt. Dit is tijdens een kwart van de tijd. Hierdoor is het nodig om in de formule $\frac{t}{4}$ in te vullen.

Aangezien de hoekverdraaiing 90 graden is, wordt er 0.5π ingevuld in de formule. Aangezien 360 graden 2π is, is 90 graden 0.5π .

Nu is echter slechts de gemiddelde hoeksnelheid bekend. Voor de hoekversnelling is de maximale hoeksnelheid nodig. Figuur 28 (hoeksnelheid) laat het ingezoomde stuk van de hoeksnelheid zien. Doordat het gearceerde deel boven in de grafiek precies past in het gearceerde deel onderin de grafiek, is te zien dat de oppervlakte boven en onder de gemiddelde hoeksnelheidslijn even groot is. Hierdoor weet men dat de maximale hoeksnelheid twee keer zo groot is als de gemiddelde hoeksnelheid.

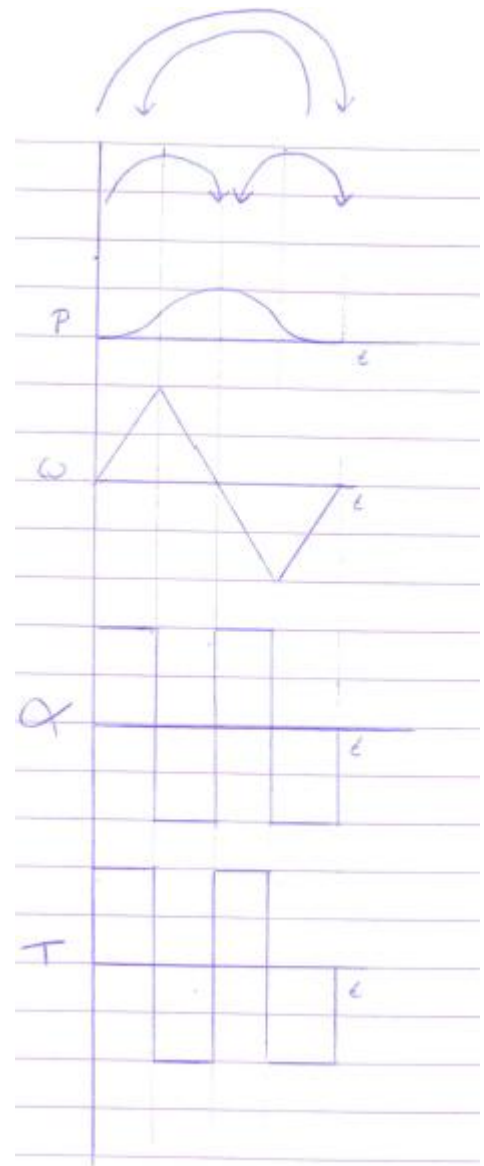
Dit geeft: $\omega_{max} = \bar{\omega} * 2$



Figuur 28 (hoeksnelheid)

Nu de maximale hoeksnelheid bekend is kan de hoekversnelling berekend worden. Dit gebeurt met de formule:

$$\alpha = \frac{\omega_{max}}{\frac{t}{4}}$$



Figuur 27 (bewegingsprofiel)

Om het benodigde koppel te berekenen is nu alleen nog de massa-traagheid van het systeem nodig. Aangezien het systeem uit meerdere componenten bestaat is het een samengestelde massa-traagheid. Om achter de totale massa-traagheid van het systeem te komen moeten eerst alle componenten afzonderlijk berekend worden.

Het systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

Onderdeel	Geometrische vorm	Formule
Rotatiearm	Cilinder	$I_z = \frac{1}{2} m * r^2$
kantelpoelie	Dunne schijf	$I_z = \frac{3}{2} m * r^2$
rotatiepoelie	Dunne schijf	$I_y = \frac{1}{4} m * r^2$
Grijper	Rechthoek	$I_x = \frac{1}{12} m * l^2$
Last 5 KG	puntmassa	$I = m * r^2$
Last 4 KG	Puntmassa	$I = m * r^2$
Last 3 KG	Puntmassa	$I = m * r^2$
Last 2 KG	Puntmassa	$I = m * r^2$
Last 1 KG	puntmassa	$I = m * r^2$

De kantelmechaniek bestaat uit een last, grijper en poelie. Voor het berekenen van de totale massa-traagheid wordt er gerekend vanuit de rotatie-as naar de last toe.

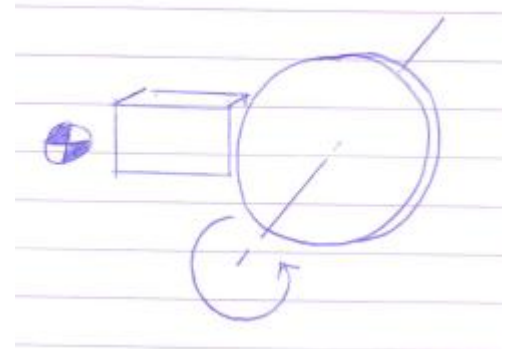
$$I_{\text{poelie}} = I_z = \frac{3}{2} m * r^2$$

$$I_{\text{grijper}} = (I_x = \frac{1}{12} m * l^2) - I_{\text{poelie}}$$

$$I_{\text{last}} = (I = m * r^2) - (I_{\text{poelie}} + I_{\text{grijper}})$$

Hiermee is het mogelijk om de massa-traagheid van alle onderdelen afzonderlijk te berekenen. Hierbij is het belangrijk dat de juiste arm t.o.v. de rotatie-as wordt gebruikt. Het is van zeer groot belang dat deze goed wordt ingevoerd aangezien deze in de formule exponentieel toeneemt.

I_{netto} is de som van de massa-traagheden van alle componenten. Deze mag in de formule : $T = I * \alpha$ worden ingevuld. Dit geeft:



Figuur 29 (I kantel mechaniek)

Last [KG]	Massa-traagheidsmoment [KG/m ²]	Koppel [Nm]	Kracht in de kabel [N]
5	0,153125	5,541769441	184,725648
4	0,1225	5,203105753	173,4368584
3	0,091875	4,634176413	154,4725471
2	0,06125	3,859141142	128,6380381
1	0,030625	2,827542471	94,25141571

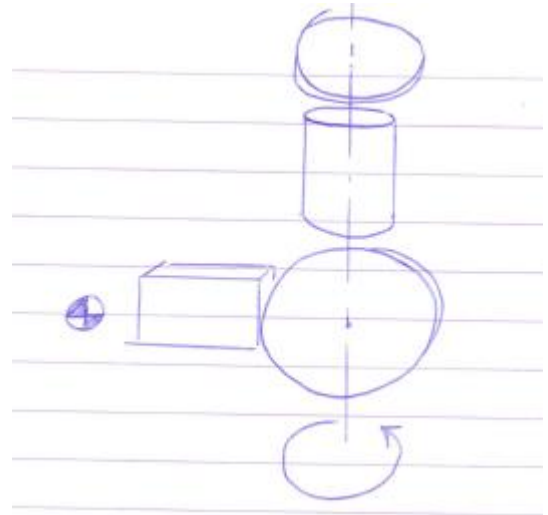
VII.2.5 Hoekversnelling rotatiemechaniek

Voor de rotatiemechaniek geldt de zelfde hoekverdraaiing en hoekversnelling. Om het koppel op de poelie en daarmee de kracht in het systeem te berekenen is alleen de massatraagheid nog nodig. Deze keer wordt er weer vanuit de rotatieas gerekend. Echter zijn er nu een aantal onderdelen waarvan de hartlijn direct op de rotatie as liggen. Deze onderdelen zijn; de rotatiepoelie, de rotatiearm en de kantel poelie. Hiervan kan in één keer de massatraagheid worden uitgerekend. Deze wordt vanaf nu I_1 genoemd.

$$I_1 = \left(\frac{3}{2}m * r^2\right) + \left(\frac{1}{2}m * r^2\right) + \left(\frac{1}{4}m * r^2\right)$$

$$I_{gripper} = \left(\frac{1}{12}m * l^2\right) - I_{kantelpoelie}$$

$$I_{last} = (m * r^2) - (I_{kantelpoelie} + I_{gripper})$$



Figuur 30 (rotatie mechaniek)

Dit geeft de volgende resultaten:

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG/m ²]	Koppel [Nm]	Kracht in de kabel [N]
5	0,801241625	28,99785373	966,5951243
4	0,641016625	27,22675338	907,558446
3	0,480791625	24,25113696	808,371232
2	0,320566625	20,19774451	673,2581504
1	0,160341625	14,80400831	493,4669438

VII.2.6 Voorspanning

De laatste actiekracht in het systeem is de voorspanning. De voorspanning in de kabel is 150 N. Dit is nodig om de elastische vervorming van de kabel tegen te gaan en zo het systeem meer star te maken. Dus ook al hangt de last niet meer direct aan de kabel, toch zal de belasting in de kabel minimaal de voorspanning zijn. Wanneer de last direct onder de rotatiearm hangt zal deze arm het gewicht van de last dragen.

Deze 150 N komt voort uit het verslag van voorgaande stagiair.

VII.2.7 Conclusie

Nu alle actie en reactiekrachten in het systeem bekend zijn is het gemakkelijk om de totale belasting op het systeem te berekenen. Uiteindelijk is het een optelsom geworden waarin alle krachten samenkomen. Voor het uitzoeken van de onderdelen zijn vooral de nominale belasting en de piekbelasting in het systeem interessant.

De piekbelasting is wanneer de Tripod met maximale snelheid de maximale last verplaatst, terwijl de pols in dezelfde richting roteert met maximale snelheid. Aangezien men een lange levensduur wil garanderen is het belangrijk om een systeem te ontwerpen dat de piek belastingen aankan. Daarom wordt hieronder een overzicht gegeven van de maximale belasting van het systeem:

Radiaal kracht in het lager: 150 [N]

Axiaal kracht in het lager: 204 [N]

Piekbelasting in de kantelkabel: 1105 [N]

Piekbelasting in de rotatiekabel: 1790 [N]

De nominale belasting zijn de krachten waaraan het systeem altijd onderhevig is. Deze belastingen komen voort uit de; zwaartekracht, beweging Tripod, kantel / rotatie beweging polsgewricht, voorspanning. Dit zal niet altijd gebeuren met een last van 5 KG. Uit het marktonderzoek is gebleken dat de grootste markt ligt in het verplaatsen van producten tussen de 100 tot 500 gram.

Wanneer wordt uitgegaan van een gewicht van 1 KG voor de nominale belasting vallen de krachten in het systeem al een stuk gunstiger uit.

Radiaal kracht in het lager: 115 [N]

Axiaal kracht in het lager: 125 [N]

Piekbelasting in de kantelkabel: 744 [N]

Piekbelasting in de rotatiekabel: 1123 [N]

VII.3 Realisatie dynamische testopstelling

Uit de berekening kwam duidelijk naar voren dat een van de meest beproefde onderdelen de aandrijfkabels zullen zijn. Vanwege de hoge krachten in het systeem is er gekozen om een praktijktest op te zetten.

Om de test op te kunnen zetten zijn de onderdelen nodig die op de onderdelenlijst staan. Voordat deze besteld mogen worden moet eerst toestemming worden verkregen. Het verslag 'dynamische test opstelling' in de bijlage VIII is hiervoor als onderbouwing gebruikt.

Middels het verslag is het belang en het doel van de test goed overgekomen bij het personeel van materialmanagement. Helaas heeft de opstelling slechts twee maanden nut. Na de testperiode worden de gebruikte onderdelen als afval beschouwd. Omdat de onderdelen na twee maanden niet meer bruikbaar zijn is er minimaal budget mogelijk voor de opstelling.

Om de kosten minimaal te houden is er gekozen om veel van de benodigde onderdelen uit de afvalstapel te recyclen. Dit betekent dat de testopstelling voornamelijk opgebouwd is middels handwerk. De enige onderdelen die besteld zijn, zijn de kabels die getest worden. De totale kosten van de bestelde onderdelen zijn gekomen op 60 euro. Hiermee zijn de volgende onderdelen aangeschaft:

- 7x7 gevlochten stalenkabel	2x
- 7x19 gevlochten stalenkabel	2x
- 19x19 gevlochten stalenkabel	2x
- Kabel mantel	20m
- Aangeknepen oog	6x
- Schroefton	12x
- Stelschroef	12x

Een andere manier om kosten te besparen is om de opstelling te vereenvoudigen. Dit is toegepast door de helft van de opstelling te bouwen. Hierbij wordt er getest met twee assen in plaats van vier. Dit resulteert in de helft aan materiaalkosten. De keuze voor twee assen komt voort uit de hoeveelheid beschikbaar materiaal in de restmateriaal stapel.

Het bouwen van de opstelling heeft twee dagen geduurd. Dit is 16 uur. Dit komt doordat alle onderdelen hand gemaakt zijn. De kosten van een ingenieur zijn ongeveer 100 euro per uur. Dit zorgt voor een kosten plaatje van 1600 euro.

De kosten van in het rapport zijn geschat op 1032 euro. Wanneer alle onderdelen geleverd zouden worden zou alles slechts in elkaar geschroefd hoeven te worden. De benodigde tijd hiervoor is ruim genomen maximaal twee uur. Dit betekent dat de totale kosten op 1232 euro had uitgekomen als het rapport opgevolgd zou worden.

Aangezien de test opstelling volledig door de afstudeerder gefabriceerd en geassembleerd is zijn de kosten aanzienlijk lager uitgevallen. De kosten van de afstudeerder zijn ongeveer 5 euro per uur. Twee dagen werk kost dan 80 euro. Het materiaal komt uit de oudijzerbak. Dit maakt het zeer goedkoop om de opstelling zelf te fabriceren. Het had echter een ander verhaal geweest indien de opstelling door een eigen ingenieur gemaakt had moeten worden. In een werksituatie is het voordeliger om gestandaardiseerde onderdelen te bestellen.

VII.3.1 Verloop praktijktest

Aangezien de testopstelling beschikt over twee assen is het mogelijk om twee kabelparen te testen. Om de vier kabelparen te testen moet de proef tweemaal uitgevoerd worden. Gezien de duur van de afstudeerperiode is het nodig om de testduur te herzien. Er zal worden uitgegaan van een situatie waarin het voorgeschreven onderhoudsinterval van de aandrijfassen van de Tripod wordt gehaald.

De aandrijfjas van de lineair drive behoeft om de 50.000 km onderhoud. De poelie aan het polsgewricht heeft een diameter van 40 mm. De grootste slag die de poelie in de praktijk zal maken is een rotatie van 180 graden. De maximale afstand die de poelie af zal leggen is per duty cycle $(40 \cdot 3.14) / 2 = 62.8 \text{ mm}$

De Tripod zal werken met 40 duty cycles per minuut. Dit betekent dat de kabel 2512mm af legt per minuut. Het voorgeschreven onderhoudsinterval van de assen van de Tripod is om de 50.000 KM. Dit betekend dat de testopstelling 20.000 minuten nonstop in bedrijf moet zijn om gelijk te zijn met het onderhoudsinterval van de Tripod. Dit is 14 dagen nonstop.

De test zal na twee weken onderbroken worden. In deze tijd heeft de kabel 50.000 km door de mantel heen bewogen. Wanneer de kabel na deze twee weken nog heel is kan er met zekerheid worden aangenomen dat de kabel bestand is tegen de meest belastende werksituaties.

Tijdens de test zal er gemeten worden op de volgende punten:

- Weerstand in de kabel.

(De manier om dit te meten is om de opgenomen stroom van de aandrijfmotor uit te lezen bij de PLC)

- Temperatuur in de kabel.

(Dit wordt gemeten met een laser thermometer)

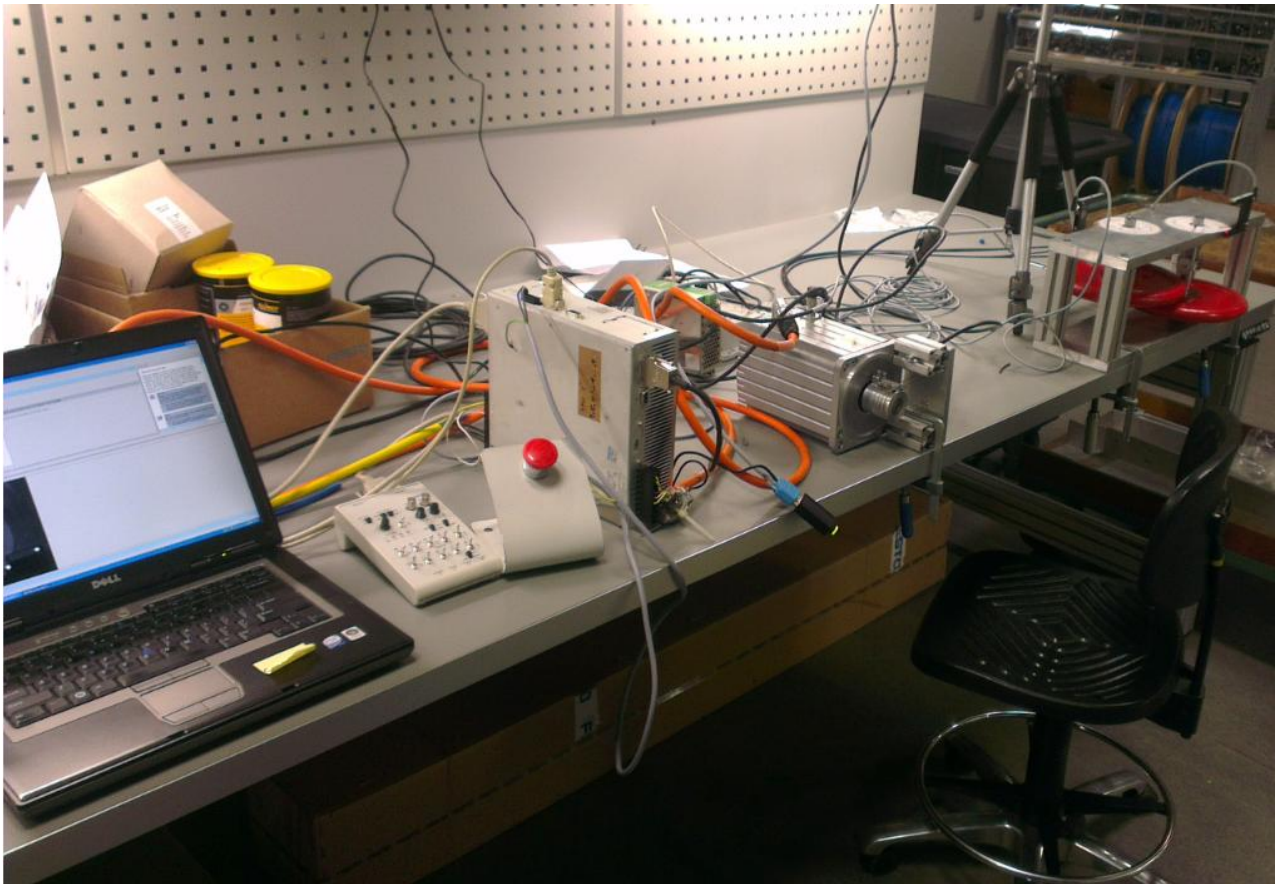
- Rek in de kabel

(Dit wordt gemeten met een wijzer die op de aandrijfjas gemonteerd zit. Door de uitslag van de wijzer te meten op een gradenboog is de rek dynamisch af te lezen. Het aflezen zal gebeuren middels een hogesnelheidscamera)

- Breuk.

(Visuele controle)

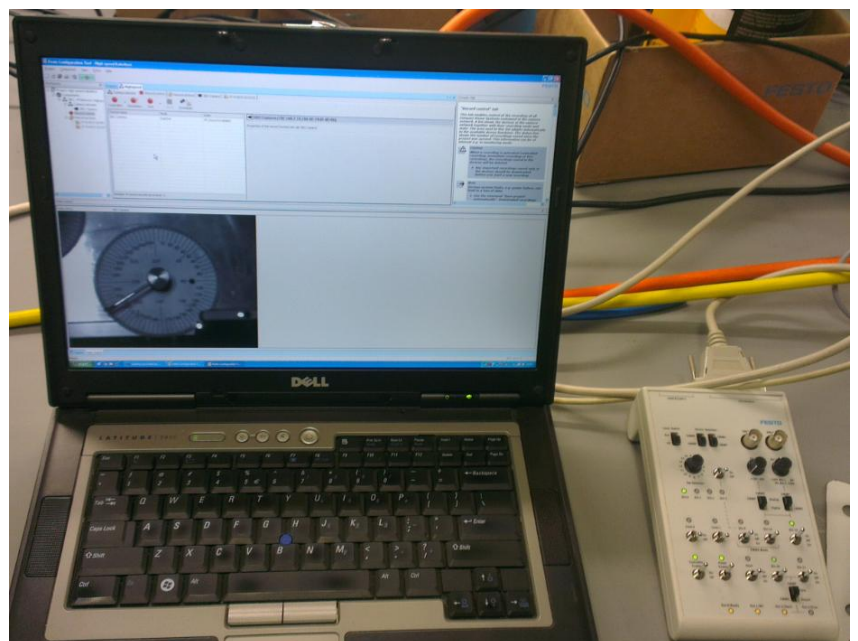
VII.3.2 Opstelling



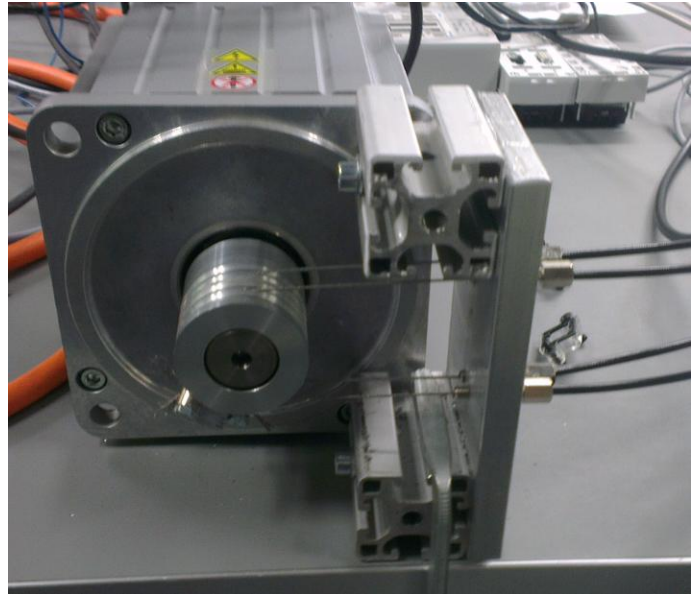
De opstelling bestaat uit een laptop met motorcontroller. De laptop kan gebruikt worden om de plc die de motor aanstuurt te programmeren en uit te lezen. Ook zit een high speed camera op de laptop aangesloten zodat de wijzerplaat van de testopstelling goed afgelezen kan worden.

De laatste plugin van de laptop is een stappenteller. Op beide wijzers zit een lichtsluis gemonteerd die het aantal slagen dat de kabel maakt bijhoudt. Dit maakt het mogelijk om achter het aantal cyclussen te komen. Wanneer de opstelling draait zonder de aanwezigheid van personeel kan bij breuk precies uitgelezen worden bij hoeveel slagen dit is geweest.

Naast de laptop staat een controller. Deze kan gebruikt worden om de motor mee aan te sturen. Dit werkt sneller dan met de computer het juiste programma te zoeken en te laten afspelen. De controller kan door de laptop geprogrammeerd worden zodat iedere knop een bepaalde functie vertegenwoordigt. Het starten en stoppen van het programma kan nu met het omhalen van één knop.

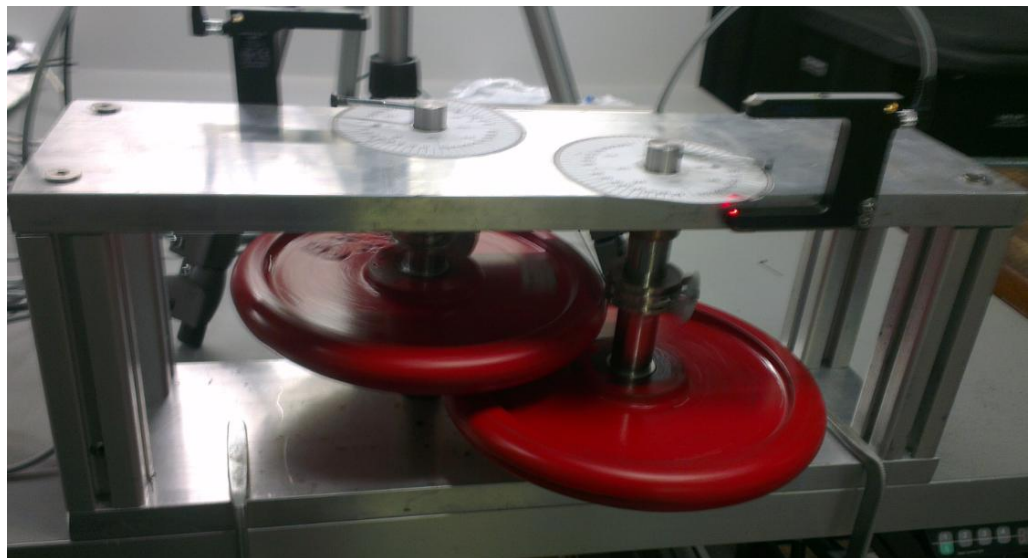


De motor die het systeem aandrijft is een stappenmotor. Deze heeft geen encoder en kan dus niet zijn eigen positie bepalen. De stappenmotor wordt in een 'home' positie gezet en gaat vanuit deze positie bewegen. Het programma in de controller stuurt de uitgaande as van de motor naar twee posities. Op de uitgaande as van de motor zit een poelie met vier groeven gemonteerd. In iedere groef loopt een kabel. De kabel mantel wordt geborgd in een stelschroef in de aluminium plaat rechts van de motor. Van daaruit verlaat de binnenkamer de mantel. De binnenkabel zit middels schroefton geborgd in de poelie. Twee verschillende type kabels worden hier getest. Van ieder type is een paar gemonteerd. Dit betekent boven en onder dezelfde type kabel.



De testopstelling bestaat uit twee gewichten van vijf kilo. Deze zitten ieder aan een eigen as die

aangedreven wordt door een poelie. De kabel zit ook hier middels een schroefton aan de kabel bevestigd. Tijdens het testen van de kabels is het belangrijk dat de speling in het systeem minimaal is. Daarom is het belangrijk dat er wordt gewerkt met een voorspanning. Om een voorspanning te realiseren wordt de kabel uitgetrokken met een grote tang en vastgezet met een ton. Nu zit de kabel strak in het systeem. Toch is er meer voorspanning nodig. Met de voorspanning die met de hand verkregen wordt zou de kabel slap kunnen komen te staan. Dit vergroot de speling in het systeem en zal resulteren in een onzuiver testresultaat. Dit wordt gerealiseerd door de stelschroef uit te draaien. Hiermee wordt de lengte van de mantel vergroot. Dit trekt de binnenkabel strak.



Een goede breuk van de kabel is wanneer de kabel in de mantel breekt. Wanneer de kabel bij de bevestigingston breekt verteld dit nog weinig over de eigenschappen van de kabel. Het kan zijn dat de ton de kabel heeft doen breken.



VII.3.3 Logboek

Massief stalen kabel

Datum	Tijd	Temperatuur in de kabel	Rek in de kabel	Breuk	Aantal gemaakte slagen
-------	------	-------------------------	-----------------	-------	------------------------

Kon niet geleverd worden in de gevraagde diameter.

7x7 gevlochten kabel

Datum	Tijd	Temperatuur in de kabel	Rek in de kabel	Breuk	Aantal gemaakte slagen
27-09-2013	11:00	20	3	-	0
27-09-2013	12:45	30	4	Breuk bij bevestigingston	1398
27-09-2013	14:30	30	4	-	3213
27-09-2013	15:00	30	4	Breuk in kabelmantel	3455

7x19 gevlochten kabel

Datum	Tijd	Temperatuur in de kabel	Rek in de kabel	Breuk	Aantal gemaakte slagen
27-09-2013	12:45	20	2	-	0
27-09-2013	14:30	30	4	Breuk in kabelmantel	2291

19x19 gevlochten kabel

Datum	Tijd	Temperatuur in de kabel	Rek in de kabel	Breuk	Aantal gemaakte slagen
1 27-09-2013	11:00	20	4	-	0
2 27-09-2013	12:30	25	6	Breuk in kabelmantel	922

VII.3.4 Conclusie

De kabeltest kan beschouwd worden als een succes omdat er zeer veel geleert is uit de test. Door het uitvoeren van de test is het mogelijk geweest om meer gevoel te krijgen bij het werken met kabels. Ook al was de test eerder geëindigd dan vooraf was ingecalculeerd zijn er veel feiten boven tafel gekomen. Deze informatie kan worden meegenomen in de conceptfase van het project.

Hieronder volgt een korte opsomming van de ontdekte feiten uit de test.

- Het op de juiste voorspanning brengen van het systeem is zeer arbeidsintensief.

Om het systeem op de juiste voorspanning te krijgen zijn twee mensen nodig. Één die de kabel strak houdt terwijl de ander de borgton bevestigt. Hierbij is het belangrijk dat de twee gebruikte poelies in dezelfde positie staan. Aangezien de poelie niet in staat is verder te roteren dan 180 graden en deze slag volledig benut zal worden is het essentieel dat de poelies in de zelfde stand staan. Anders zou de slag van 180 graden niet gehaald kunnen worden.

- De kabel moet settelen.

Wanneer de opstelling op de juiste voorspanning is gebracht kan het systeem voor het eerst draaien. Hierbij introduceert de aandrijfmotor nieuwe krachten in het systeem. Hierbij worden de kabels voor het eerst belast. De mantel wil hierbij nog settelen in de stelschroef. Ook is er sprake van elastische rek in de gevlochten kabels. Hierdoor is de voorspanning niet meer juist en dient het systeem opnieuw opgespannen te worden.

- Uitlijning

De mantel zit geborgd aan de poelie, van hieruit vertrekt de kabel naar de stelschroef waar het de mantel in geleid wordt. Deze uitlijning moet precies kloppen anders zou de kabel tegen de stelschroef aan kunnen lopen. Dit geeft extra slijtage aan de kabel. Deze uitlijning kan gerealiseerd worden door tijdens de fabricage te werken met nauwe toleranties. Door de positie van de stelschroef instelbaar te maken.

- Slijtage

Door wrijving tussen de kabel en zijn mantel ontstaat er slijtage aan de kabel. Hierbij neemt de rek in de kabel toe. Wanneer dit niet door een mechaniek wordt ondervangen komt het systeem te werken met een steeds lagere voorspanning.

Wanneer met kabels gewerkt gaat worden is een automatische opspanmechaniek nodig. Deze moet er voor zorgen dat het systeem altijd onder de juiste voorspanning blijft staan. Ook moet het mogelijk zijn dat met deze mechaniek het systeem geassembleerd kan worden door slechts één persoon.

Ook is er een betere manier van borgen nodig. Dit gebeurt in het huidige concept door middel van schroeftonnetjes. Door het aandraaien van een schroef wordt de kabel vastgeklemd in de ton. Door de draaiende beweging op de ton beschadigd de kabel enigszins. Ook is de kracht overbrenging niet ideaal doordat niet alle kabels in de gevlochten kabelstreng evengoed geborgd zitten. Een betere manier van borgen is mogelijk door gebruik te maken van een geknepen ton. Hierbij wordt het materiaal vormgesloten verbonden door het plastisch vervormen van de borgton.

VII.4 FMEA analyse

Het stilvallen of beschadigen van het systeem kan vooraf geanalyseerd worden met de FMEA analyse. Door middel van deze analyse is het mogelijk de faalwijze, faaloorzaken en gevolgen in kaart te brengen. Murphy's law suggereert dat alles wat fout kan gaan, vroeg of laat ook daadwerkelijk fout gaat. Om lange stilstandtijden van het systeem te voorkomen moeten alle mogelijke gevaren in het systeem voorkomen worden.

De FMEA analyse kan in vijf stappen verdeeld worden. Deze stappen zijn:

- Overzicht systeem functies
- Mogelijke faalwijze
- Faaloorzaak
- Gevolgen voor het systeem

Het totale risico dat men loopt met het huidige concept kan berekend worden met de volgende formule:

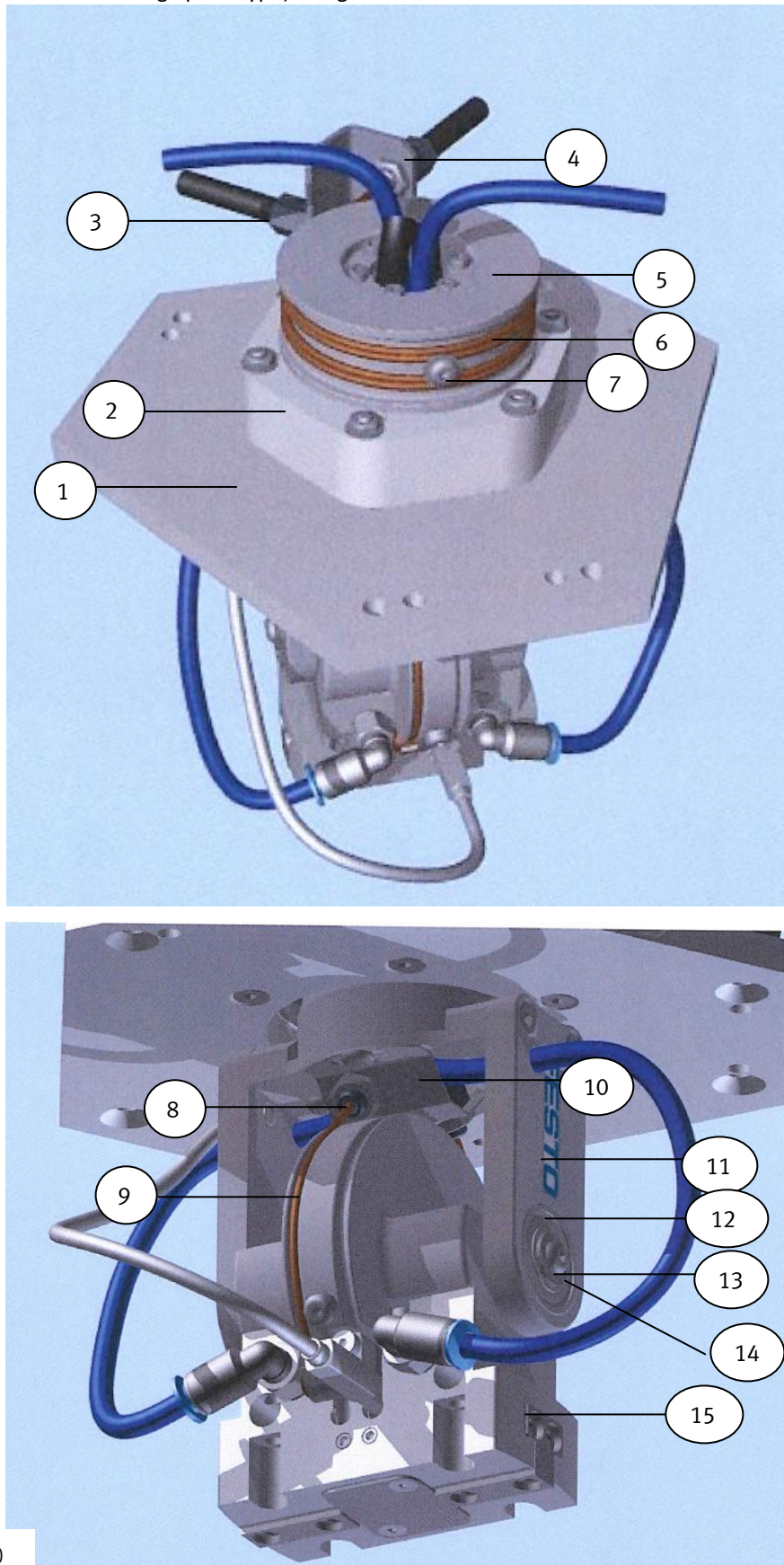
Totaal risico= kans op falen x ontdekkingsmethode x gevolg schade ($T=K \times O \times G$)

- Het totale risico krijgt een waarde die ligt tussen de 1 en de 1000
- De kans op falen krijgt een waarde toegekend waarbij 1 laag is en 10 hoog.
- De ontdekkingsmethode krijgt ook een waarde tussen de 10 laag is en de 1 hoog.
- Voor de gevolgschade geldt de schaal waarbij 1 laag is en 10 hoog.

Deze waardes samen bepalen het totale risico (T).

VII.4.1 Overzicht systeem functies

In Figuur 31 (huidige prototype) worden alle onderdelen een nummer toegekend. Deze nummers zullen in Tabel 2 (onderdelen en functies huidige prototype) terug komen.



Figuur 31 (huidige prototype)

Tabel 2 (onderdelen en functies huidige prototype)

Onderdeel nummer	Onderdeel	Functie	Aanvullende informatie
1	Basisplaat	De verbinding vormen tussen Tripod en polsgewricht.	De dimensioneren van de basisplaat mag niet worden aangepast omdat dit deel uit maakt van de Tripod. Het gat in het midden van de basisplaat mag wel worden aangepast.
2	Rotatie lager	De rotatiefunctie van het gewricht mogelijk maken. De kantel mechaniek dragen.	Vierpuntsdiepgroefkogellager SKF Inkoop deel.
3	Rotatie-stelschroef	De mantel borgen aan de polsconstructie De kabel voorzien van de juiste voorspanning.	Voorzien van schroefdraad aan voorzijde. Voorzien van klempassing voor de mantel aan de achterzijde. Inkoop deel.
4	Rotatie-mantel-houder	Zorgt ervoor dat de kabel onder de juiste hoek naar de poelie wordt geleid. Fixeert de mantel aan de polsconstructie.	Gebogen hoekproefiel met gaten
5	Rotatiepoelie	Zet de translerende beweging van de kabel om in een roterende beweging in de rotatiemechaniek van het polsgewricht.	Wordt op de draaibank gemaakt. Zit middels perspassing op de rotatiearm bevestigd.
6	Rotatiekabel	Brengt kinetische energie over van de vaste wereld naar het polsgewricht.	Zit 720 graden om de rotatiepoelie gedraaid. Inkoop deel.
7	Rotatieborg	Borgt de rotatiekabel aan de rotatiepoelie.	Zorgt voor een klem verbinding tussen poelie en kabel door de schroef in te draaien. Inkoop deel.
8	Kantel-stelschroef	Borgt de mantel aan het polsgewricht. Houdt de kabel op de juiste voorspanning.	Voorzien van schroefdraad aan voorzijde. Voorzien van klempassing voor de mantel aan de achterzijde. Inkoop deel
9	Kantelpoelie	Zet de translerende beweging van de kabel om in een roterende beweging in de kantelmechaniek van het polsgewricht.	Zit middels losse passing aan de kantel as bevestigd.
10	Kantel-mantel-houder	Zorgt ervoor dat de kabel onder de juiste hoek naar de poelie wordt geleid. Fixeert de mantel aan de polsconstructie.	Bestaat uit een gebogen staalplaat met gaten.
11	Kantelarm	Draagt de kantelconstructie.	Voorzien van gat met strakke passing waarin het kantellager gemonteerd zit.
12	Kantellager	Rotatie kantelmechaniek mogelijk maken.	Diepgroefkogellager Skf Inkoop deel
13	Kantelas	Rotatie van de kantelmechaniek mogelijk maken. Kantelmechaniek dragen.	Diameter: 6mm S Schroefdraad getapt aan beide zijde Inkoop deel
14	Asborg	De as fixeren aan het lager	Schroef
15	Kantelborg	Fixeert de kabel aan de poelie	Dit is gedaan middels een stelschroef aan de grijper

VII.4.2 Mogelijke faalwijze

Tabel 3 (faaloorzaken en gevolgen)

Nr	Onderdeel	Faalwijze	Oorzaak	Gevolg	K	O	G	T	actie
1	Basisplaat	Raakt los van Tripod armen	Te hoge belasting	Polsgewricht valt op de grond	1	2	7	14	Nee
2	Rotatie lager	Loopt stroef	Slijtage	Verhoogde weerstand bij roteren. Verhoogde belasting van kabel.	2	4	4	32	Nee
3	Rotatie-stelschroef	Kabel loopt stroef	Scherpe braam aan stelschroefmond	Verhoogde slijtage aan kabel	6	2	6	72	herontwerp
4	Rotatie-mantelhouder	Houder is krom getrokken	Te hoge drukkracht van de mantel t.g.v. belasting in de kabel	Onjuiste uitlijning kabel naar poelie. Verhoogde slijtage aan kabel.	2	1	2	4	Nee
5	Rotatiepoelie	Groefvorming	Te hoge lijnbelasting. Slechte materiaal keuze poelie.	Extra slijtage kabel	3	2	3	18	Herontwerp
6	Rotatiekabel	Breuk	Slijtage	Geen rotatie in polsgewricht meer mogelijk.	5	2	8	80	berekenen
7	Rotatieborg	Losschieten	Breuk kabel. Slijtage.	Geen rotatie in polsgewricht meer mogelijk.	5	4	8	160	herontwerp
8	Kantel-stelschroef	Kabel loopt stroef	Scherpe braam aan stelschroefmond	Verhoogde slijtage aan kabel	6	2	6	72	herontwerp
9	Kantelpoelie	Groefvorming	Te hoge lijnbelasting. Slechte materiaal keuze poelie.	Extra slijtage kabel	3	2	3	18	Herontwerp
10	Kantel-mantelhouder	Doorbuiging	Te hoge belasting in kabel	Onjuiste uitlijning kabel naar poelie. Verhoogde slijtage aan kabel.	2	4	2	16	nee
11	Kantelarm	-			0	0	0	0	Nee
12	Kantellager	Loopt stroef	Slijtage	Verhoogde weerstand bij kantelen. Verhoogde belasting van kabel.	2	4	2	16	
13	Kantelas	-			0	0	0	0	Nee
14	Asborg	-			0	0	0	0	Nee
15	Kantelkabel-borg	Losschieten	Breuk kabel. Slijtage.	Geen kanteling van polsgewricht meer mogelijk.	5	4	8	160	herontwerp

Totaal risico= kans op falen x ontdekkingsmethode x gevolg schade ($T=K \times O \times G$)

- Het totale risico krijgt een waarde die ligt tussen de 1 en de 1000
- De kans op falen krijgt een waarde toegekend waarbij 1 laag is en 10 hoog.
- De ontdekkingsmethode krijgt ook een waarde tussen de 10 laag is en de 1 hoog.
- Voor de gevolgschade geldt de schaal waarbij 1 laag is en 10 hoog.

VII.4.3 Conclusie FMEA

De onderdelen die het meest storingsgevoelig zijn, zijn de onderdelen die direct te maken hebben met de kabel. Deze onderdelen zijn:

- De gevlochten staalkabel zelf.
- De kabel bevestiging (borg methodes)
- De stelschroeven.
- De poelies.

Door in het ontwerp van het nieuwe concept rekening te houden met deze onderdelen is het mogelijk om de kans dat een onderdeel faalt aanzienlijk te reduceren.

Aanvraag Dynamische praktijktest

nl0stz

VIII.1 Energie overbrenging

De servomotor levert kinetische energie die door middel van een mechaniek overgebracht dient te worden naar het polsgewricht. In de voorgaande prototypes is er gekozen voor een mechanische kabel met buitenmantel om deze krachten over te brengen naar een poelie in de pols. Doordat de binnenkabel wordt bewogen ten opzichte van zijn mantel kan de poelie bewogen worden. Om meer volledigheid te brengen aan het onderzoek is er onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden om het polsgewricht extern aan te drijven.

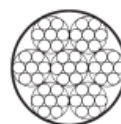
VIII.1.1 Bowdenkabels

Er zijn veel verschillende types bowdenkabels in de industrie, toch werken ze allemaal volgens het zelfde basisprincipe. Er lopen gevlochten staalkabels door een buitenmantel. Door de kabel t.o.v. de mantel te bewegen is het mogelijk om krachten over te brengen. De buitenmantel heeft een geleidende functie en kan worden uitgevoerd met een Teflonlaag die zorgt voor een aanzienlijke weerstandsverlaging.



Figuur 32 (bowden cable met teflon binnevoering)

De binnen kabels worden als Figuur 33 (rvs 7x7 kabel) weergegeven. Hierbij is de aanduiding 7x7. Dit betekend zeven draden per bundel, dit is het eerste getal. Het tweede getal betekend het totaal aantal van de bundels. Ook zeven in dit geval.



- **Stahldrahtseil, Werkstoff 1.4401**
Konstr. 7 x 7, PA 12 ummantelt
- **Stainless steel wire rope AISI 316**
Constr. 7 x 7, Polyamid 12 coated
- **Câbles Inox gainés AISI 316**
Constr. 7 x 7, gainé Polyamide 12

In het begin van de tabel staan de diameters van de kabel weergegeven. De tweede kolom geeft de buiten diameter van de mantel aan.

In de derde kolom staat de kracht die nodig is om de kabel te doen breken. Er wordt altijd een compromis gezocht tussen flexibiliteit en sterkte. Bij een gering aantal dikke kabels is het systeem niet flexibel en kan de kabel slechts bochten maken met een zeer grote radius.

Bij een systeem van dezelfde diameter met veel dunne kabels is er sprake van hoge flexibiliteit maar een lage sterkte. De dunne kabels breken eerder dan de hele dikke. Echter met de gevlochten streng van dunne kabels is een bocht met hele kleine radius mogelijk.

Aangezien het gewicht van de complete installatie van groot belang is moet ook de kabel een gunstige kracht / gewicht ratio hebben. In de vierde kolom staat het gewicht van de kabel in KG per 1000 m.

De laatste kolom geeft het bestel nummer van de kabel.

Nenn-ø Nom. dia Dia nom. mm	Außen-Ø Outer dia Dia extérieur mm	Mindestbruchkraft Min. break. load Charge rupt. min. N	Gewicht Weight Poids kg/1000 m	Best.-Nr. Item No. Réf.
0,27	0,36	59	0,35	U 0772736
0,36	0,45	103	0,58	U 0773645
0,45	0,61	162	0,94	U 0774561
0,54	0,70	235	1,35	U 0775470
0,63	0,80	324	1,80	U 0776380
0,72	0,90	422	2,35	U 0777290**
0,81	1,00	530	2,90	U 0778110
0,90	1,20	647	3,70	U 0779012
1,00	1,60	785	5,00	U 0771016
1,20	1,60	1075	7,21	U 0771216
1,20	1,80	1075	7,77	U 0771218
1,50	2,00	1800	10,4	U 0771520
1,80	2,50	1820	14,8	U 077182512T***
2,00	3,00	2260*	19,3	U 0772030
2,50	3,50	3360*	28,8	U 0772535
3,00	4,00	5060*	40,2	U 0773040
4,00	5,00	9010*	68,0	U 0774050
5,00	7,00	14100*	116,0	U 0775070

* Festigkeitsklasse 1570 N/mm².

* Tensile strength 1570 N/mm².

* Fils de résistance 1570 N/mm².

** nur in Werkstoff 1.4301 lieferbar.

** only available in AISI 304.

** Existe seulement en AISI 304.

*** nur PA6 ummantelt lieferbar.

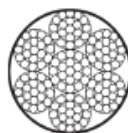
*** only available with Polyamid 6 coating.

*** Gainage disponible en Polyamide 6 uniquement.

Figuur 33 (rvs 7x7 kabel)

Op deze pagina staan de tabellen van de beschikbare bowdenkabels. Hierbij zijn verschillende gevlochten samenstellingen mogelijk.

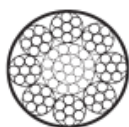
Bij het uitzoeken van de ideale kabel zal gekeken worden naar de kleinste diameter die toch de benodigde kracht kan leveren. Hierbij gaat de voorkeur uit naar de meest flexibele kabel.



- **Stahldrahtseil, Werkstoff 1.4401**
Konstr. 7 x 19, PA 12 ummantelt
- **Stainless steel wire rope AISI 316**
Konstr. 7 x 19, Polyamid 12 coated
- **Câbles Inox gainés AISI 316**
Konstr. 7 x 19, gainé Polyamide 12

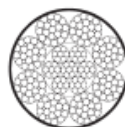
Nenn-ø Nom. dia Dia nom. mm	Außen-Ø Outer dia Dia extérieur mm	Mindestbruchkraft Min. break. load Charge rupt. min. N	Gewicht Weight Poids kg/1000 m	Best.-Nr. Item No. Réf.
0,45	0,61	152	0,93	U 7194561
0,60	0,80	270	1,64	U 7196080
0,75	1,00	417	2,40	U 7197510
0,90	1,10	613	3,75	U 7199011
1,00	1,25	765	4,80	U 7191012
1,20	1,50	976	6,30	U 7191215
1,35	1,65	1227	7,80	U 7191316**
1,50	1,75	1590	9,50	U 7191517
2,00	2,40	2768	18,20	U 7192024
2,50	3,50	3551 *	29,00	U 7192535
3,00	4,00	4690 *	39,00	U 7193040
4,00	5,00	8340 *	66,80	U 7194050
5,00	7,00	13000 *	112,50	U 7195070
6,00	8,00	18800 *	157,00	U 7196180

* Festigkeitsklasse 1570 N/mm². ** Werkstoff 1.4301.
* Tensile strength 1570 N/mm². ** AISI 304.
* Fils de résistance 1570 N/mm². ** AISI 304.



- **Stahldrahtseil, Werkstoff 1.4401**
Konstr. 8 x 7 + 1 x 19, PA 12 ummantelt
- **Stainless steel wire rope AISI 316**
Konstr. 8 x 7 + 1 x 19, Polyamid 12 coated
- **Câbles Inox gainés AISI 316**
Konstr. 8 x 7 + 1 x 19, gainé Polyamide 12

Nenn-ø Nom. dia Dia nom. mm	Außen-Ø Outer dia Dia extérieur mm	Mindestbruchkraft Min. break. load Charge rupt. min. N	Gewicht Weight Poids kg/1000 m	Best.-Nr. Item No. Réf.
0,44	0,61	172	0,9	U 0874461
0,55	0,70	270	1,3	U 0875570
0,66	0,80	387	1,8	U 0876680
0,77	1,00	495	2,6	U 0877710
0,88	1,10	697	3,3	U 0878811
0,99	1,20	824	4,2	U 0879912
1,10	1,30	1010	5,0	U 0871113
1,21	1,50	1226	6,2	U 0871215



- **Stahldrahtseil, Werkstoff 1.4401**
Konstr. 8 x 19 + 7 x 7, PA 12 ummantelt
- **Stainless steel wire rope AISI 316**
Konstr. 8 x 19 + 7 x 7, Polyamid 12 coated
- **Câbles Inox gainés AISI 316**
Konstr. 8 x 19 + 7 x 7, gainé Polyamide 12

Nenn-ø Nom. dia Dia nom. mm	Außen-Ø Outer dia Dia extérieur mm	Mindestbruchkraft Min. break. load Charge rupt. min. N	Gewicht Weight Poids kg/1000 m	Best.-Nr. Item No. Réf.
0,57	0,80	247	1,5	U 8195780
0,76	0,95	400	2,5	U 8197695
0,95	1,20	850	3,9	U 8199512**
1,14	1,45	946	5,8	U 819111421T**
1,33	1,55	1180	7,6	U 8191315
1,52	1,75	1500	9,4	U 8191517
1,76	2,00	2100	13,0	U 8191720
2,00	3,00	2580	19,0	U 8192030
2,50	3,50	4000	29,0	U 8192535
3,00	4,00	5350	40,0	U 8193040
4,00	5,00	9100	67,5	U 8194050

** nur in Werkstoff 1.4301 lieferbar.
** only available in AISI 304.
** Existe seulement en AISI 304.

VIII.1.2 massieve bowdenkabel

Voor het polsgewricht is het wenselijk als er kabels gekozen worden met een zeer kleine buiten diameter. Door het kiezen van een kleine diameter is het mogelijk om ruimte te besparen en een kleiner lager te kiezen. Wanneer de diameter klein genoeg is, is het ook mogelijk om een massief stalen binnenkabel te nemen. Dit kan van zowel kunststof als van staal.

VIII.1.2.1 Metalen binnenkabel

Bij kabels met een zeer kleine binnen diameter is het mogelijk om een massieve kabel door de mantel te voeren. De massieve kabel is minder flexibel dan de gebundelde kabel, maar kan meer krachten verdragen. Ook vertoont een massieve kabel minder rek dan een gevlochten kabelbundel.

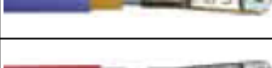
VIII.1.2.2 kunststof binnenkabel

Het principe van de bowdenkabel is ook te koop met een kunststof binnenkabel. De binnenkabel is zeskantig en heeft daardoor zeer weinig wrijvingsverlies bij het maken van scherpe bochten.



Figuur 34 (kunststof bowdenkabel)

Het polsgewricht onder de Tripod behoeft een aandrijfkabel met een lengte van ongeveer drie meter. Er dient enige onderhandeling plaats te vinden met de leverancier aangezien deze maximaal anderhalve meter levert. Gezien de hoge krachten die het systeem moet overbrengen zal er gekozen worden voor de S518 uit onderstaande tabel. Dit is de sterkste uitvoering van de kunststofkabel.

Number	Length	Sets/Pkg	Hardware Size	Min. Radius	Gold-N-Rod
S503	36" (91,4 cm)	2	2-56	2-1/2" (6,4 cm)	
S504	48" (122 cm)	2	2-56	2-1/2" (6,4 cm)	
S505	36" (91,4 cm)	2	2-56	3-1/2" (8,9 cm)	
S506	48" (122 cm)	2	2-56	3-1/2" (8,9 cm)	
S573	36" (91,4 cm)	2	2 mm	2-1/2" (6,4 cm)	
S574	48" (122 cm)	2	2 mm	2-1/2" (6,4 cm)	
S575	36" (91,4 cm)	2	2 mm	3-1/2" (8,9 cm)	
S576	48" (122 cm)	2	2 mm	3-1/2" (8,9 cm)	
S517	36" (91,4 cm)	2	4-40	12" (30,5 cm)	
S518	60" (152 cm)	2	4-40	12" (30,5 cm)	

VIII.1.3 Hydraulische leiding

Een andere methode om de kracht over te brengen is middels hydraulische leidingen. Hierbij wordt kracht op een cilinder uitgeoefend. De cilinder zet de geleverde kracht om in druk in de hydraulische leiding. De leiding is bevestigd aan een cilinder die de druk terug omzet in beweging. De hydraulische leiding zou een goed alternatief zijn voor de stalen bowdenkabel omdat:

- Geen speling mogelijk.
- Minimale slijtage.
- Weinig warmte ontwikkeling door interne wrijving.

Nadelen zijn dan weer dat het systeem zwaarder wordt dan de mechanische tegenhanger doordat het hydraulische systeem een druk en werk cilinder nodig heeft om te functioneren. Ook is het systeem duurder in aanschaf dan de mechanische kabels.



Figuur 35 (hydraulische leiding)

Bestelnummer	Ø inwendig D1		Ø uitwendig D2	werkdruk	buigradius	barstdruk	gewicht
	mm	inch					
651-03	4,8	3/16	11,5	250	85	1000	0,17
651-04	6,4	1/4	13,4	225	100	900	0,24
651-05	7,9	5/16	15,0	215	115	860	0,27
651-06	9,5	3/8	17,4	180	130	720	0,34
651-08	12,7	1/2	20,7	160	180	640	0,43
651-10	15,9	5/8	23,9	130	200	520	0,49

Na veel telefonisch contact met verschillende leveranciers van hydraulische toepassingen wordt het gebruik van een hydraulisch systeem sterk afgeraden. Omdat het gaat over positioneren met weinig krachten behoeft het systeem slechts een lage werkdruk. Dit maakt het relatief duur ten opzichte van grote hoge druk installaties. Er wordt door alle leveranciers geadviseerd om een elektrisch systeem toe te passen in plaats van een hydraulisch systeem.

Nadelen van het systeem zijn:

- De gewichtsbesparing van een hydraulisch systeem t.o.v. een harmonic drive unit aan de basisplaat van de Tripod is zeer gering. Door het toepassen van een werkcilinder aan de kant van de aandrijfpoelie wordt de constructie net zo zwaar, al niet zwaarder dan een elektrische motor op de basisplaat.
- Hoge kosten. Door een zeer compact hydraulisch systeem te bestellen lopen de kosten erg op. Ook zal er een mechaniek ontworpen moeten worden dat de lineaire beweging van de werkcilinder om kan zetten naar een roterende beweging op de poelie, of direct op de as. Leveranciers van hydraulische systemen raden de hydraulische applicatie om financiële redenen af. Zij adviseren een elektrisch systeem omdat deze preciezer, goedkoper en lichter toegepast kan worden met positioneren.

VIII.2 Praktijktest

Om verzekert te zijn van een goed functionerend systeem zijn er een aantal testen nodig. Uit deze testen zal blijken hoe de kwaliteit is van de gebruikte onderdelen.

VIII.2.1 inventarisatie

Welke onderdelen zullen getest worden.

- 7x7 stalen bowdenkabel
- 7x19 stalen bowdenkabel
- Massief stalen bowdenkabel
- Nylon bowdenkabel

VIII.2.2 Testpunten

Vooraf dienen de testpunten vastgesteld te worden. Dit gebeurt zodat er een nulmeting gedaan kan worden. Met de nulmeting is het mogelijk de gegevens van de test te vergelijken met de uitgangswaardes. De testpunten zijn:

- Breuk

Deze is het makkelijkst te meten. Wanneer het 5 KG gewicht niet meer beweegt is er breuk in het systeem. Hiervoor zal er dagelijks een visuele controle worden uitgevoerd.

- Slijtage

Hierbij wordt er gekeken naar vuildeeltjes die uit het systeem komen. Dit is een visuele controle. Ook wordt er gekeken of er spraken is van spoorvorming in het systeem. Dit kunnen diepe krassen in de mantel of de poelie zijn.

- Vervuiling

Hierbij wordt er gekeken naar vuildeeltjes die uit het systeem komen.

- Speling / rek

Als gevolg van het krachtspeel op de kabel kan deze elastisch gaan vervormen. De mate waarin dit plaats vindt dient goed gemeten te worden.

- Oververhitting

Hiervoor wordt door middel van een logger een logboek bij gehouden van de temperatuur die ontstaat als gevolg van wrijving in de kabel.

- Geluidsproductie

Dit wordt gemeten met een decibelmeter.

VIII.2.3 Test duur

In de praktijk zal de hogesnelheidsapplicatie acht uur per dag draaien en wel vijf dagen in de week. De onderhoudsinterval van de machine is eens per jaar. Dit betekent dat het polsgewricht min alle weekenden en feestdagen 1600 uur per jaar in bedrijf zal zijn.

Om binnen de afstudeerperiode testgegevens te hebben zal het gewricht 24 uur per dag worden aangestuurd. Dit betekent dat de testopstelling 65 dagen aaneengesloten in bedrijf zal zijn. Aangezien de testresultaten binnen de afstudeerperiode nodig zijn dient er vroeg aan de duur test te worden begonnen. Daarom zal in de eerste maand van het afstuderen de test direct opgezet worden.

De poelie aan het polsgewricht heeft een diameter van 40 mm. De grootse slag die de poelie in de praktijk zal maken is een rotatie van 180 graden. Dit geeft een afstand die de kabel af zal leggen is per duty cycle $(40 \cdot 3.14) / 2 = 62.8 \text{ mm}$

De Tripod zal werken met 40 duty cycles per minuut. Dit betekent dat de kabel 2512mm af legt per minuut. Het voorgeschreven onderhoudsinterval van de assen van de Tripod is om de 50.000 KM. Dit betekent dat de testopstelling 20.000 minuten nonstop in bedrijf moet zijn om gelijk te zijn met het onderhoudsinterval van de Tripod. Dit is 14 dagen nonstop.

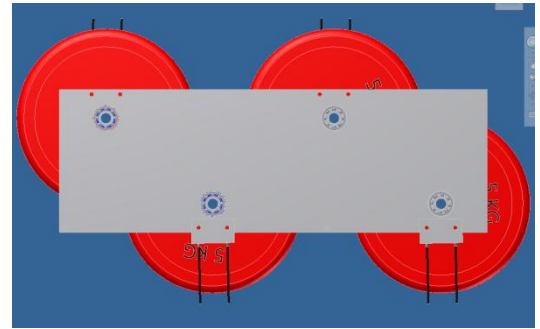
Tijdens de afstudeer periode zal de praktijktest twee maanden lopen. Na twee weken is aan de hand van de meet gegevens te zien welke kabels het onderhoudsinterval van de Tripods kunnen evenaren. Aangezien de Tripod een jaar werkzaam zal zijn wordt ook deze situatie gesimuleert. Na de twee maanden wordt de test gestopt en worden de laatste gegevens verzameld en verwerkt in het eindverslag. Deze gegevens zullen een grote bijdrage leveren aan het ontwerp.

VIII.2.4 Opstelling

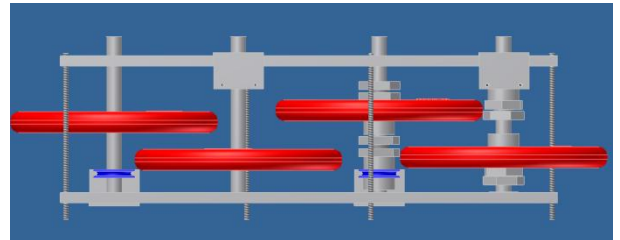
De opstelling zal er als volgt uit komen te zien:
Een totaal van vier gewichten van vijf kilo per stuk zitten aan assen gemonteerd. De as wordt door middel van een poelie aangedreven. De opstelling zal door middel van de massa traagheid het systeem testen op rek, slijtage en breuk.

Door gebruik te maken van vier poelies met gewichten is het mogelijk om vier kabel paren te testen. Op ieder gewicht komen twee kabels van dezelfde soort. Door het gemiddelde te nemen van de testresultaten van de twee dezelfde kabels is het mogelijk om een zuiver testresultaat te leveren.

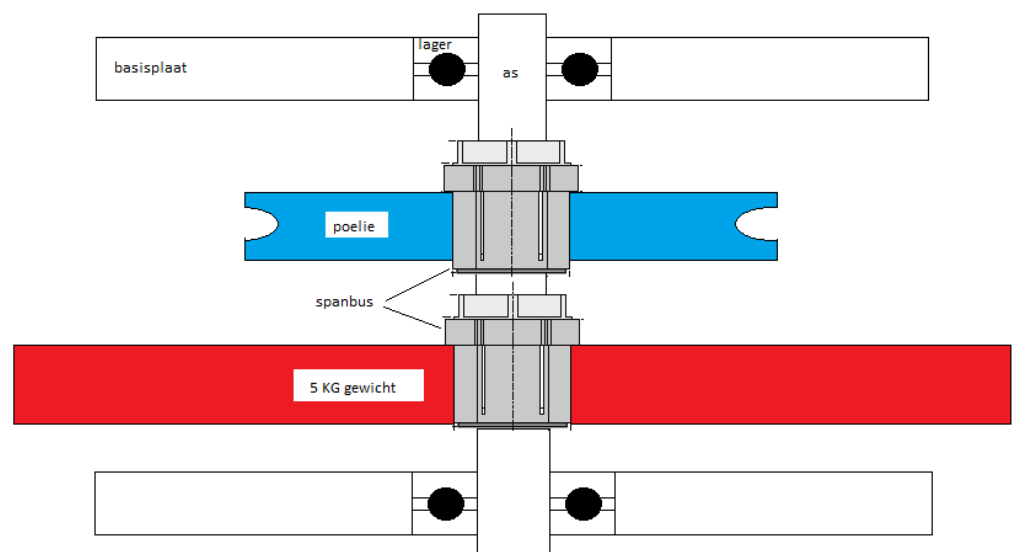
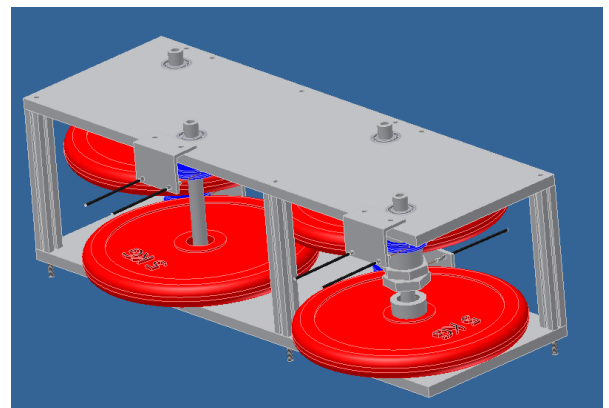
De poelie zit door middel van een klembus aan een as gemonteerd. Aan dezelfde as zit een gewicht van 5 KG gemonteerd. Dit gebeurt ook met een klembus. Wanneer de poelie beweegt, beweegt het gewicht direct mee. Figuur 38 (doorsnede as) geeft een schematische weergave van de verbinding. De as is boven en onder gelagerd door kogellagers. Deze lagers zullen alleen in radiale richting belast worden en zullen geen hele rotaties maken. Hierdoor is de warmte ontwikkeling in de lagers minimaal.



Figuur 36 (bovenaanzicht testopstelling)



Figuur 37 (vooraanzicht testopstelling)



Figuur 38 (doorsnede as)

VIII.2.5 Onderdelenlijst

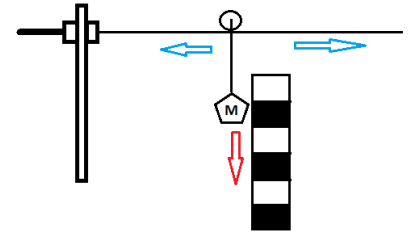
metalen plaat	2	LxBxH 600x200x10 aluminium	quintall		25	50			
constructie profiel	4	LxBxH 20x20x160	promotion care	profiel: 5	1,5	6			
kogellager skf	8	D: 35 d: 16 B: 11	detechnoshop	6202/16-2RSH	18,7	149,6			
as	4	D:16 L: 200	aluminium op maat		1,5	6			
as naafverbinding	8	D: 25,5 d: 16	Eriks	184D0116 incl. 50% korting:	92,7 46,35	370,8			
V snaar poelie	4	2 snaar groeven D: 40 d: 25,5	Eriks		19	76			
bowdenkabel mantel	8	teflon binnenvoerin D: 0,6 d: 0,45	RSH	37391	2,65	21,2			
mantel steleinde aangepast oog	16 8		RSH RSH	D14 DML62	0,89 7,5	14,24 60			
schroefbol binnenka	16		RSH	D 17	0,48	7,68			
bowden binnenkabel	2	7x7 kabelstreng D: 0,45	RSH		3	6			
bowden binnenkabel	2	7x 19 kabel streng D: 0,45	RSH		3	6			
bowden binnenkabel	2	massieve binne kab D: 0,45	RSH		2	4			
bowden binnenkabel	2	kunststof 6 kant	Sullivan	S518	6	12			
gewicht	4	5 KG D: 250 d: 30 B: 25	fitnessshop4u		14,95	59,8			
motor	1	F: 110,4 N V: 0,39 m/s A: 2,454 m/s ²	Festo	EMMS-ST-87-M-SEB 549423					
lineair drive	1	F: 110,4 N slag: 64 mm	Festo	ELGR-TB-GF-55-64-65H 560507					
axiaal kit	1		Festo	EAMM-A-R48-87A 1133405					
controller	1	incl. stappentel func	Festo	CMMS-ST-C8-7					

axiaal kit	1		Festo	EAMM-A-R48-87A			
				1133405			
controller	1	incl. stappentel functie	Festo	CMMS-ST-C8-7			
				547454			
cilinder	1		Festo				
schakel ventiel	1		Festo				
gasveer	4	100N trekkracht	gasveerwinkel.nl	gasveersla	40	160	
slowmotion camera	1	bruikleen werkplaats	Festo		0	0	
lazer thermometer	1	bruikleen werkplaats	Festo		0	0	
kleinmateriaal			Festo		10	10	
totaal						1032,68	

VIII.2.6 Test methode

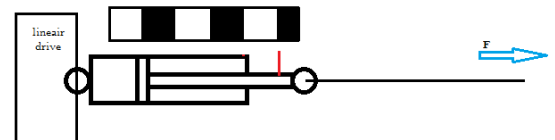
Om de rek in de kabel te meten wordt er een gewicht aan een rol aan de kabel gehangen. Zie ook Figuur 39 (testopstelling rek). Door een gewicht van één kilo aan de kabel te hangen zal deze verplaatsen t.o.v. zijn originele positie. De afstand die de kabel verplaatst is de hoeveelheid rek die is ontstaan in de kabel. Door een schaal naast het gewicht te plaatsen is de rek in mm te meten.

Naast deze statische test is het ook mogelijk om de rek dynamisch te meten. De kabels zitten middels een gasveer aan de lineair drive gemonteerd. De gasveer wordt geijkt in een beginstand. Door verplaatsing van de gasveer te meten is het mogelijk te zien hoeveel rek er in de kabel zit.



Figuur 39 (testopstelling rek)

De hoeveelheid speling in het systeem is te meten door met de opstelling van Figuur 41 (testopstelling speling). Op het 5 KG gewicht wordt een markering geplaatst in de uiterste stand van het wiel. Door de massa traagheid van het systeem zal de kabel uitgerekt worden. Deze rek zal de markering doen verplaatsen t.o.v. de nul stand. Naast het gewicht wordt een schaal geplaatst. Hierbij wordt gekeken naar de uitslag van de markering t.o.v. de meet schaal. De beweging zal echter zo snel plaats vinden dat een slow motion camera gebruikt zal moeten worden.



Figuur 40 (dynamische rek indicator)

Ook de warmte ontwikkeling in de kabels zal gemonitord worden. De warmte in de kabel zal ontstaan ten gevolge van de wrijving tussen de binnenkamer en de mantel. Door deze met een laser thermometer te meten en de gegevens bij te houden in een grafiek kan het temperatuur verloop van het systeem later goed afgelezen worden.

VIII.2.7 Test kosten

De kosten worden verdeeld in twee groepen, de materiaal kosten en de manuren. Uit de onderdelenlijst blijkt dat er 1192 euro nodig is voor de test opstelling. En nog eens 2000 euro voor de aandrijving hiervan.

Om kosten te besparen kan er een beroep gedaan worden op de motoren, lineair drives en controllers die reeds in het Technolab aanwezig zijn.

De tijd die in de test gestoken wordt zorgt ook voor een grote bijdrage aan de kosten. Voor een ingenieur van Festo wordt ongeveer 100 euro per uur gerekend. Aangezien de afstudeerder minder duur is zullen de kosten lager uit vallen. Des al niet te min is voor het ontwerpen van de testopstelling, het uitzoeken en bestellen van onderdelen en het bouwen van de opstelling veel tijd nodig. Aan het vooronderzoek is 24 uur gespendeerd. ook zal de test opstelling in de gaten gehouden moeten worden. Hierin zal gedurende twee maanden, vijf dagen in de week, 2 uur per dag in gaan zitten. Deze twee uur bestaat uit 5 bezoeken aan de opstelling. Waarin gemeten wordt en de gegevens in een logboek worden bijgehouden. Dit resulteert in 100 uur werk verspreid over de twee maanden. Dit maal een uurprijs van 60 euro maakt een totaal van: 6.000 euro.

Totale kosten van de proef: 9.000 euro.



Figuur 41 (testopstelling speling)

VIII.2.8 Voorcalculatie

Voor het opzetten van de testopstelling is het nodig om te weten welke krachten in het systeem zullen spelen. Dit is nodig om de juiste motor, lineaire geleiders en bekabeling te kiezen. Aangezien de testopstelling werkt met massa's wordt deze vooraf uitgerekend.

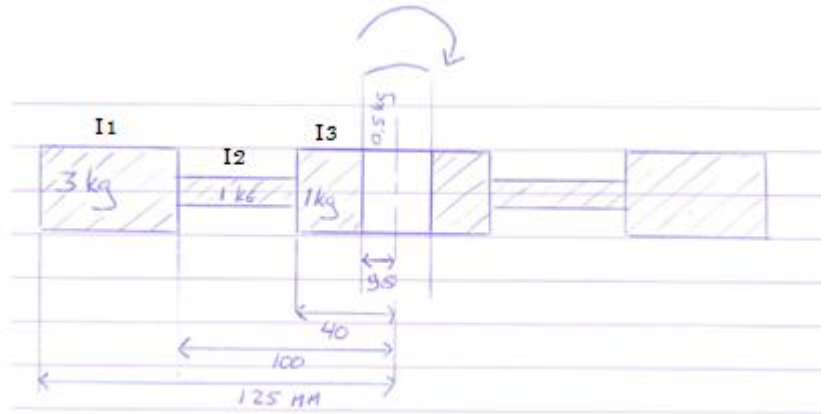
$$T = I \cdot \alpha$$

Waarin: T = het benodigde koppel in de as om de massa's een hoekversnelling α te geven.

I = massa's traagheid van het gewicht en de as samen.

α = de hoekversnelling.

Allereerst wordt de massa's traagheid uitgerekend. Deze komt voort uit een samengesteld systeem. Dit komt doordat de dikte van het gewicht niet overal hetzelfde is. Zie Figuur 42 (gewicht).



Figuur 42 (gewicht)

$$I_{\text{platte schijf}} = \frac{1}{2} M \cdot r^2$$

$$I_{as} = 5,625 \cdot 10^{-5}$$

$$I_3 = 8 \cdot 10^{-4} - I_{as} = 7,437 \cdot 10^{-4}$$

$$I_2 = 5 \cdot 10^{-3} - (I_3 + I_{as}) = 4,2 \cdot 10^{-3}$$

$$I_1 = 0,023 - (I_2 + I_3 + I_{as}) = 0,018$$

$$I_{\text{netto}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_{as}$$

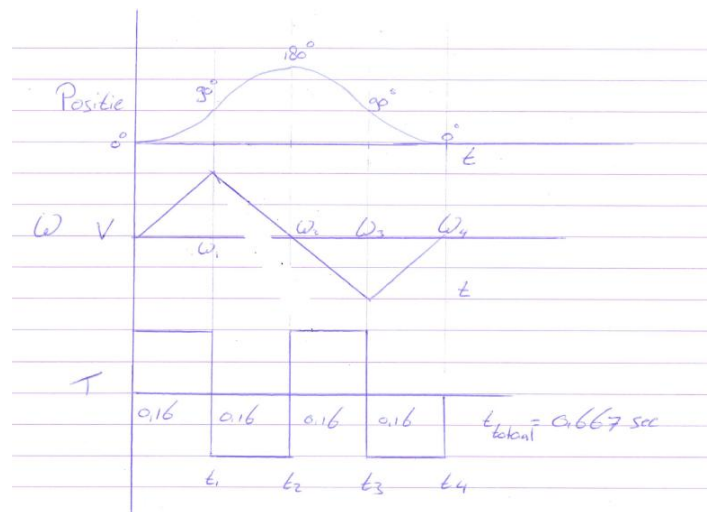
$$I_{\text{netto}} = 0,0229 \text{ [KG} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

Nu de samengestelde massa's traagheid van het systeem bekend is kan er gekeken worden naar de hoekversnelling. Deze wordt gemeten in radiale per seconde. Hiervoor wordt er een bewegingsprofiel getekend. Figuur 43 (bewegingsprofiel polsgewricht).

De eerste lijn in de grafiek geeft de positie van de pols aan. Deze draait van 0 naar 180 graden en weer terug.

De tweede lijn is de snelheid. Deze loopt op tot de 90 graden, hierna gaat het gewricht afremmen omdat het de eindpositie nadert.

De onderste lijn in de grafiek geeft het opgewekte koppel weer. Dit koppel is nodig om het systeem voort te bewegen.



Figuur 43 (bewegingsprofiel polsgewricht)

Al deze lijnen zijn uitgezet tegen de tijd. In de proef opstelling wordt er uit gegaan van 40 cyclussen per minuut.

Dit komt voort uit de documentatie van de Tripod. Bij een maximale belasting van 5 KG zal de Tripod maximaal 40 cyclussen per minuut kunnen halen. Dit zijn 0,667 cyclussen per seconden.

De grafieken in Figuur 43 (bewegingsprofiel polsgewricht) geven één complete cyclus weer. Deze bestaat uit vier standen. Iedere stand duurt dan ook $0,667/4 = 0,16$ seconde.

Om de hoekversnelling te kunnen uitrekenen moet men eerst de hoeksnelheid weten. Deze wordt berekend met:

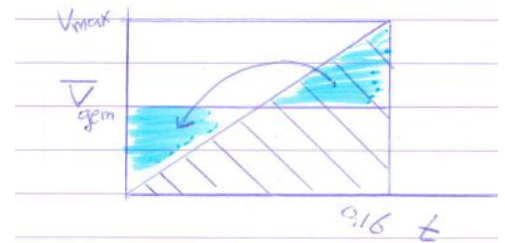
$$\omega_{gem} = \frac{0.5\pi}{t_1} = \frac{0.5\pi}{0.16} = 9,817 \text{ [rad/s]}$$

Nu is de gemiddelde hoeksnelheid bekend. Voor het testen is echter de maximale hoeksnelheid nodig. Dit levert de meeste belasting op het systeem.

Om achter deze belasting te komen is Figuur 44 (snelheid) getekend.

Aangezien er geaccelereerd wordt met een lineair snelheidsprofiel ligt de

gemiddelde snelheid precies in het midden van de maximumsnelheid en de nulstand. Dit kan bewezen worden door de geassembleerde driehoek te verplaatsen naar het blauw gekleurde deel van de grafiek. Nu is er een even groot gebied boven als onder de gemiddelde snelheidslijn.



Figuur 44 (snelheid)

Dus: $\omega_{max} = 2 * \omega_{gem}$

Dit geeft: $\omega_{max} = [19,645 \text{ rad/s}]$

Nu de hoeksnelheid bekend is kan de hoekversnelling berekend worden. Dit gebeurt met:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{19,645}{0,16} = 122,7 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

Nu kan het moment berekend worden dat wordt voortgebracht door de massatraagheid ten gevolge van het getekende snelheidsprofiel.

$$T = I * \alpha$$

$$T = 0,0229 * 122,7 = [2,8 \text{ Nm}]$$

Met het moment en de kennis dat de gebruikte poelie een straal zal hebben van 40 mm is de kracht op de kabels te berekenen.

$$\text{Deze kracht is: } F = \frac{T}{r} = \frac{2,8}{0,02} = 140 \text{ [N]}$$

Als laatst is het nodig om te weten welke snelheid de aandrijfmotor van de testopstelling moet kunnen behalen en met welke acceleratie.

$$V_{tan} = \omega * r = 19,645 * 0,02 = 0,392 \text{ [m/s]}$$

$$A_{tan} = \alpha * r = 122,7 * 0,02 = 2,454 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

VIII.2.9 resultaten voorcalculatie

Onderwerp	Gegeven
Moment op de as	2,8 [Nm]
Kracht op de kabel	140 [N]
Snelheid kabel	0,392 [m/s]
Hoeksnelheid poelie	19,645 [rad/s]
Versnelling kabel	2,454 [m/s ²]
Hoekversnelling poelie	122,7 [rad/s ²]
Benodigde slag	62.8mm

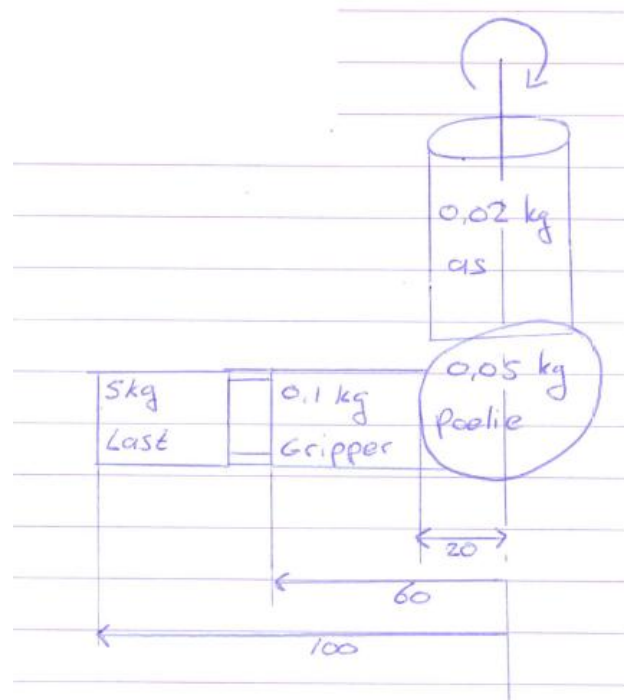
VIII.2.10 Verwachte belasting polsgewricht

Om te kijken of de testopstelling voldoende raakvlak heeft bij de werkelijkheid zal er onderzocht moeten worden hoe het polsgewricht zich zal gedragen onder de Tripod. Door de voorcalculatie zijn de hoeksnelheid en hoekversnelling al bekend. Om de krachten uit te rekenen die ontstaan bij het bewegen van het gewricht hoeft men alleen nog de massatraagheid uit te rekenen.

De pols bestaat verschillende vormen met ieder een eigen gewicht. Het is dus nodig om de samengestelde massatraagheid uit te rekenen.

De formules voor de massatraagheid zijn:

Vorm	Formule massatraagheid
Cilinder	$I_z = \frac{1}{2} M * r^2$
Platte schijf	$I_y = \frac{1}{4} * M * r^2$
Dunne staaf	$I_{y''} = \frac{1}{3} M * l^2$ $I_y = \frac{1}{12} * M(3 * r^2 + h^2)$
Plaat	$I_y = \frac{1}{12} M * b^2$



Figuur 45 (polsgewricht)

Het eerste deel van de massa traagheid bestaat uit de as waaraan de constructie hangt en twee poelie's. deze draaien om de zelfde as en zullen samen als I_1 worden uitgerekend.

$$I_1 = I_{as} + (I_{poelie} * 2)$$

$$I_1 = \left(\frac{1}{2} * 0.02 * 0.02^2 \right) + \left(\left(\frac{1}{4} * 0.05 * 0.02^2 \right) * 2 \right) = 1.4 * 10^{-5}$$

$$I_2 = \left(\frac{1}{12} * 0.1(3 * 0.1^2 + 0.06^2) \right) - I_1 = 3.25 * 10^{-5}$$

$$I_3 = \left(\frac{1}{3} * 5 * 0.1^2 \right) - (I_1 + I_2) = 0.0166$$

$$I_{polsgewricht} = I_1 + I_2 + I_3 = 0.01664 [KG * m^2]$$

Nu de massatraagheid van de pols bekend is kan met de hoekversnelling van vorig vraagstuk het koppel op de as worden berekend. Dit gebeurt met. $T = I * \alpha = 4.17 * 10^{-3} * 122.7 = 2.042 [Nm]$

Nu kan men het koppel delen door de staal van de poelie. Dit geeft de kracht die op de kabel werkt met dit snelheidsprofiel. $F = \frac{T}{r} = \frac{2.042}{0.02} = 102[N]$

Dit komt goed overeen met de testopstelling. Bij de opstelling is de belasting op de kabels nog iets hoger. Dit dient als veiligheidsfactor. Met deze kennis kan er veilig een accurate test worden uitgevoerd.

VIII.3 Levensloop van het product

Bij het ontwikkelen van een product komt meer kijken dan alleen het bedenken en produceren. Er wordt gekeken naar de complete levenscyclus van het apparaat. In dit hoofdstuk wordt de levensloop van het polsgewricht besproken. Bij het maken van concepten en ontwerpen van systemen is het belangrijk van te voren te weten hoe de levensloop van een product is.

VIII.3.1 Functionele eisen

Bij de functionele eisen wordt er alleen gekeken naar wat het product moet kunnen. Voor het polsgewricht zijn dit de volgende punten:

- De Z-as dient minimaal 360 graden te kunnen roteren
- De Y-as dient minimaal 180 graden te kunnen roteren.
- Het systeem moet consistent werken.

VIII.3.2 Esthetische eisen

Tegenwoordig worden de esthetische eisen die aan een product gesteld worden steeds belangrijker. Consumenten kopen producten eerder wanneer zij deze mooi vinden. Deze trend breid zich ook uit naar veel industrieën.

Festo heeft een herkenbare eigen style. Dit is niet alleen terug te zien in het vaste kleuren pallet dat wordt toegepast, maar ook in de profielen die worden gebruikt voor montage. De Tripod van Festo heeft ook een uniek design. Er wordt veel gebruik gemaakt van driehoeken. In het ontwerp zal getracht worden deze vormgeving door te zetten.

VIII.3.3 Kostprijs

Bij de kostprijs is de serie grootte, productie methode, het aantal benodigde onderdelen en bewerkingen zeer bepalend. De hoofdzak van de afstudeer opdracht is om de productiekosten van het systeem omlaag te brengen. Hierbij valt grote winst te behalen in het productieproces.

VIII.3.4 Levertijd

Het is wenselijk om een korte levertijd te hebben. Tijdswinst valt te behalen door productiemethodes toe te passen die weinig tijd in beslag nemen. Door het polsgewricht zo te ontwerpen dat het gemakkelijk zonder extra bewerkingen geassembleerd kan worden zorgt ook voor een tijdsbesparing. Wanneer bijvoorbeeld onderdelen middels schroefverbinding gemonteerd worden scheelt dit aanzienlijk in tijd t.o.v. een lasverbinding.

VIII.3.5 Beschikbare productie technieken

Festo Delft beschikt over een werkplaats met hierin een aantal machines die gebruikt kunnen worden voor het produceren van het prototype. Echter zal de productie ergens anders plaats vinden wanneer het polsgewricht in productie gaat. Het kan worden uitbesteed aan een bedrijf in Nederland of aan de hoofdvestiging van Festo in Duitsland.

De werkplaats van Festo Delft beschikt over de volgende machines:

- Afkort zaag
- Draaibank
- Cnc machine
- 3D printer
- Kolomboor

VIII.3.6 Leverbaarheid

Het materiaal dat gekozen wordt voor het polsgericht moet in de toekomst binnen de gewenste termijnen leverbaar zijn. Wanneer er voor een grondstof gekozen waarvan de verwachting is dat deze in de nabije toekomst zeer beperkt verkrijgbaar zal zijn ontstaan extreem lange levertijd.

Vaak is het voordelig om halffabricaten in te kopen en te gebruiken. Het grote voordeel van deze halffabricaten is al gauw weg wanneer de producten niet meer leverbaar zijn. Om er zeker van te zijn dat dit probleem zich niet voor doet in de praktijk is het belangrijk te weten wie de leveranciers zijn. Indien onderdelen bij een leverancier ingekocht worden dient met dit aspect rekening gehouden te worden.

VIII.3.7 Onderhoud

Ieder werktuig dat in gebruik wordt genomen toont vormen van slijtage. Dit hoeft geen probleem te zijn indien hier vooraf rekening mee gehouden is. Bij het ontwerp van het polsgewricht is het belangrijk dat slijtende delen gemakkelijk bereikbaar zijn. Er dient een onderhoudsplan opgesteld te worden met hierin een inventarisatie van benodigde middelen en onderdelen.

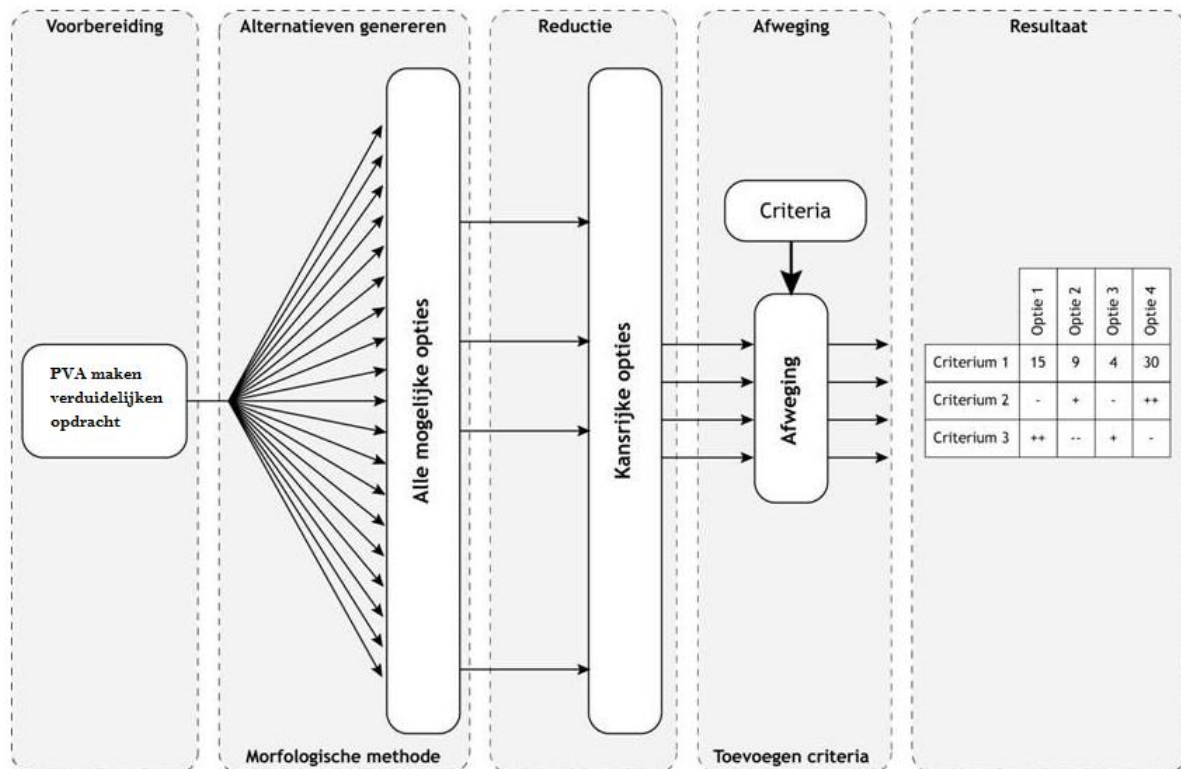
VIII.3.8 Recycling

Tegenwoordig speelt het milieu een steeds belangrijkere rol. Dit is terug te zien in het ontwerp van veel producten. Steeds vaker worden producten zo ontworpen dat deze gemakkelijk demonteerbaar zijn zodat onderdelen opnieuw gebruikt kunnen worden. Ook worden er materialen gekozen die opnieuw bruikbaar zijn. Om het polsgewricht van de Tripod een volledige levensloop te geven zal er in het ontwerp rekening gehouden worden met de laatste stap van de productlevensloop. Door het product modulair op te bouwen is het mogelijk om direct losse modules met elkaar uit te wisselen. Daarnaast zal het ook mogelijk zijn om lossen onderdelen te vervangen doordat alles middels schroefverbindingen gemonteerd zit.

Wanneer later het pakket van eisen en wensen wordt opgesteld dienen deze aspecten mee in overweging genomen te worden. Het is uiteindelijk aan de klant om te beslissen in hoeverre rekening met deze eisen gehouden zal worden.

IX. Concept fase

Het polsgewricht onder de Tripod dient in staat te zijn om onder alle vrijheidsgraden een product vast te kunnen pakken. Om hiertoe in staat te kunnen zijn moet het polsgewricht uitgerust worden met een aantal systemen. Om tot een juiste systeem keuze te komen is het goed om gebruik te maken van een morfologisch overzicht. In dit overzicht worden mogelijke systemen weergegeven die alle deelfuncties van het gewricht kunnen vervullen. Door uit het overzicht verschillende componenten te kiezen kan een concept worden samengesteld.



Figuur 46 (methodisch ontwerpen)

Om tot een eindconcept te komen moet een heel traject doorlopen worden. Dit traject wordt verdeeld in verschillende fases. De eerste fase is voorbereiden. Dit is gebeurd in het plan van aanpak. Met het plan van aanpak zijn alle eisen en wensen in kaart gebracht. Door vooraf duidelijk te weten wat er wordt verwacht kan met een systeem ontwerpen dat goed aansluit op de verwachtingen van de opdrachtgever.

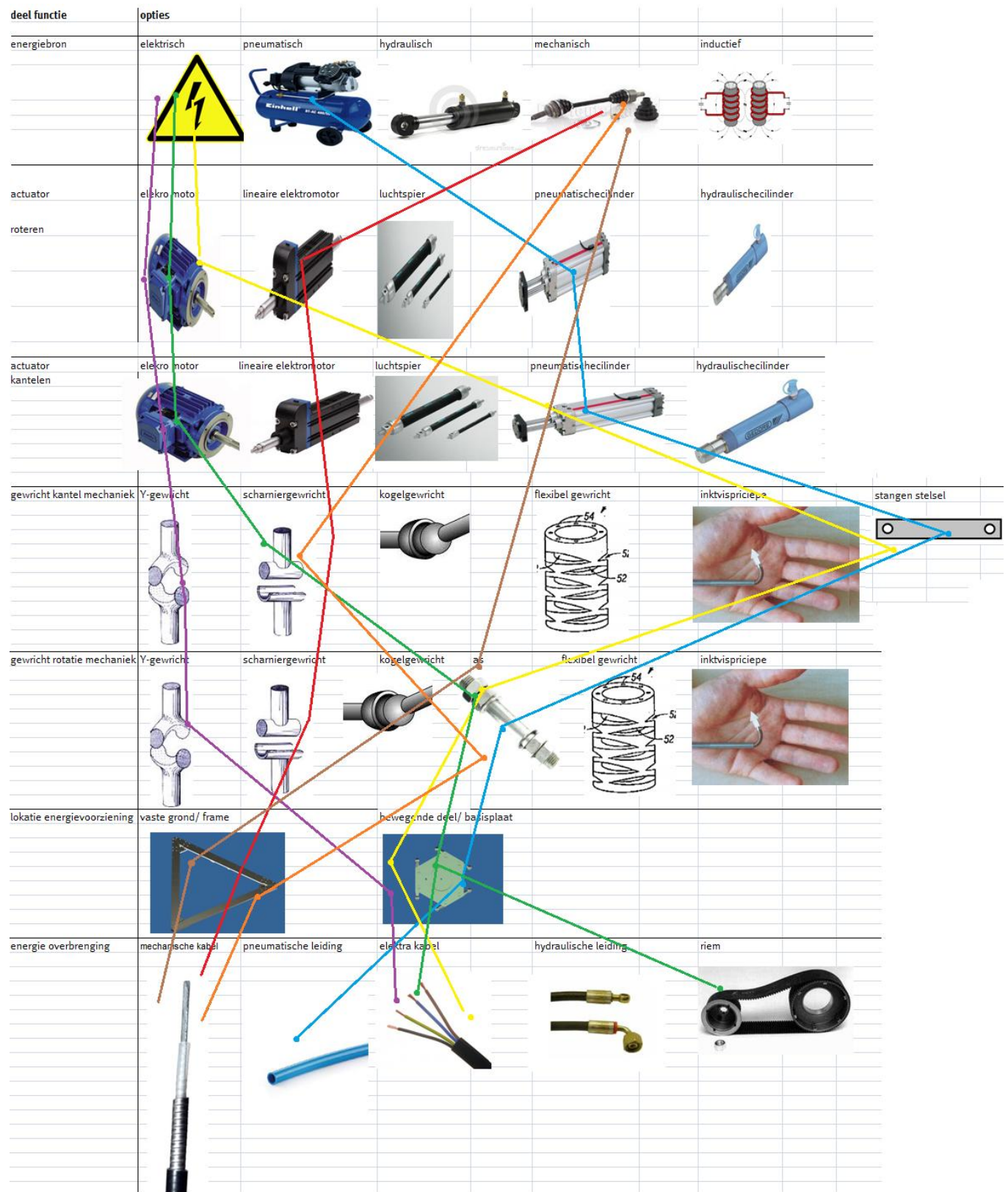
Nu volgt de fase waarbij alternatieven gegenereerd worden. Hierbij worden alle basis principes voor het systeem in een morfologisch overzicht gezet. Alle bekende systemen die een goede aanvulling voor het product kunnen zijn worden hierin mee genomen.

De volgende fase is reductie. Door de eisen en wensen van de opdrachtgever te vergelijken met mogelijke opties in het morfologisch overzicht kunnen veel opties afvallen. Tijdens de reductie blijven een beperkt aantal concepten over.

De overgebleven concepten worden in de afwegingsfase vergeleken met de eisen en wensen. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen functionele eisen en gebruikerseisen. Deze afweging wordt gedaan middels de kesselring-methode. Het concept dat het best aan de eisen aansluit zal gekozen worden om verder uit te werken.

Het uitwerken van het gekozen concept kan gedaan worden door de verschillende deelfuncties van het ontwerp nogmaals in een morfologisch overzicht te zetten. Samengevat bestaat het ontwerpproces uit een brainstormsessie met hierna een verbreding. Dit wordt gevolgd door een vernauwing, hierbij worden concepten gegenereerd. De concepten worden vergeleken en het beste concept wordt verdeeld in deelfuncties. Deze deelfuncties worden ingevuld in het morfologisch overzicht. Hieruit volgt tijdens de hierop volgende reductiefase de beste systeem samenstelling.

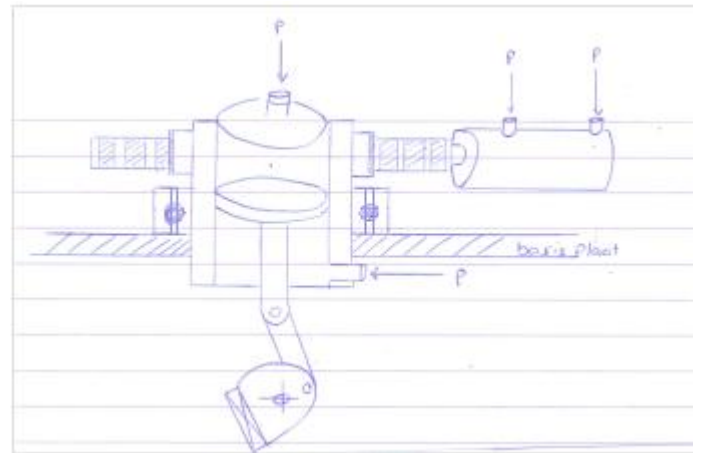
IX.1 Morfologisch overzicht basisprincipe.



IX.1.1 Basisprincipe concept blauw.

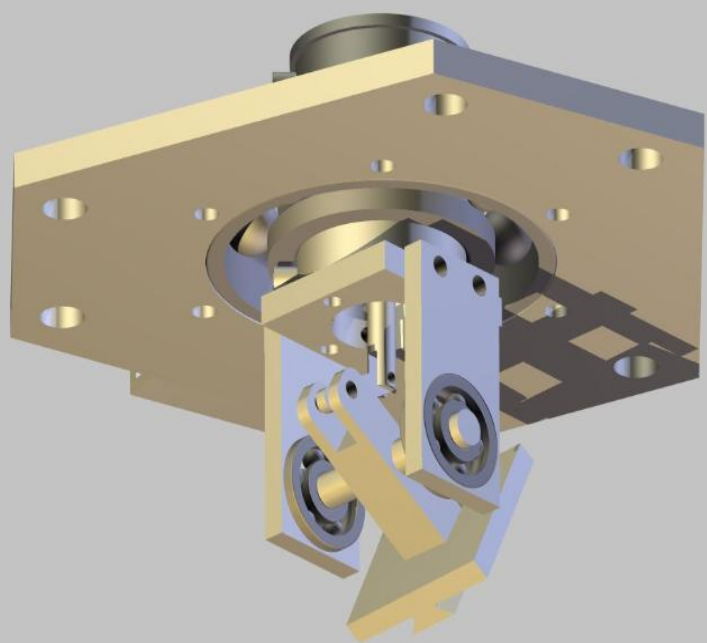
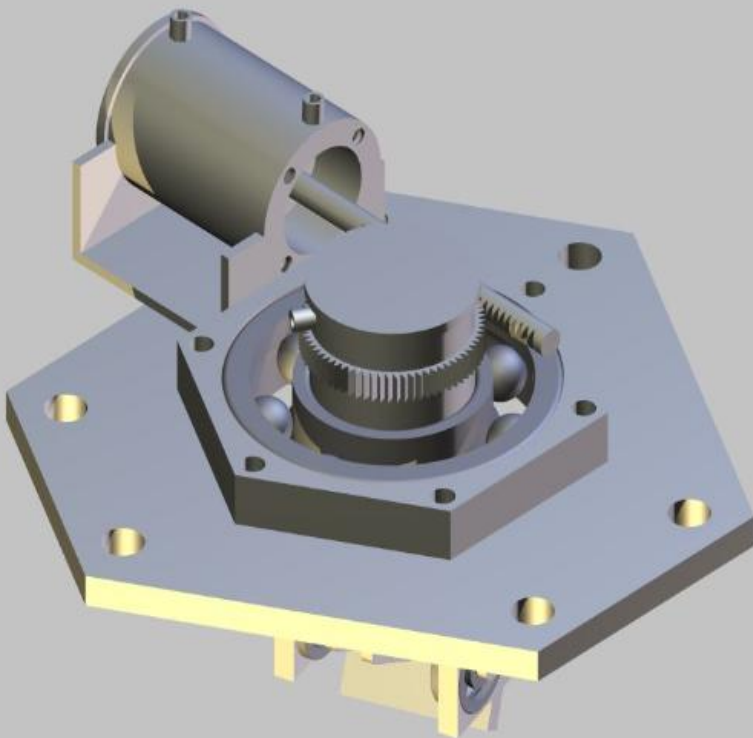
Aangezien Festo gespecialiseerd is in pneumatiek is er veel kennis in huis over de mogelijkheden hiervan. Concept blauw maakt gebruik van servo pneumatiek. Hierbij wordt een cilinder aangestuurd door een regelventiel. Het regelventiel schakelt zeer snel en regelt de druk aan beide zijde van de cilinder. Door de druk aan beide zijde van de zuiger te regelen is de stand van de zuiger in de cilinder te regelen. Hiermee is positioneren mogelijk.

Concept blauw bestaat uit twee pneumatische cilinders die ieder door een regelventiel gestuurd worden. Voor de roterende beweging maakt concept blauw gebruik van een tandheugel die een tandwiel aandrijft. Het tandwiel zit aan een as die middels een lager aan de basisplaat onder de Tripod gemonteerd zit. Door de cilinder in en uit te laten gaan beweegt de tandheugel het tandwiel om zijn as.



Aan deze roterende as hangt de kantel mechaniek. In de roterende as zit een cilinder gemonteerd. Deze kantelt een arm middels een kruk- drijfstaangmechaniek. Aan de arm kan een universele verbinding komen die als montagedeel voor grippers kan dienen.

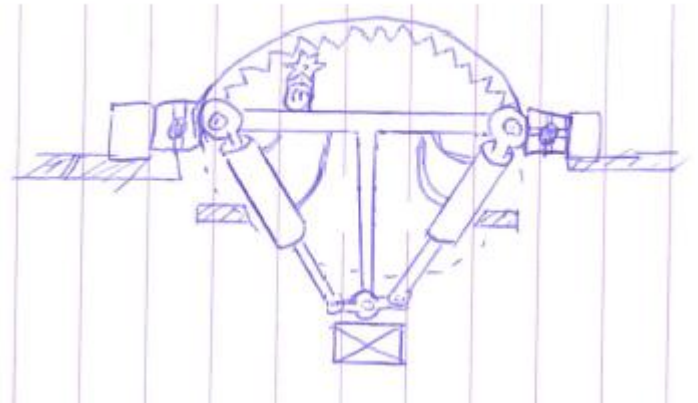
Voordelen	Nadelen
Robuust systeem	Positioneren kan niet op de graad nauwkeurig
Compact systeem	Kantelen kan slechts 90 graden
Meer dan 360 graden rotatie mogelijk	Relatief zwaar systeem
Plug and play	



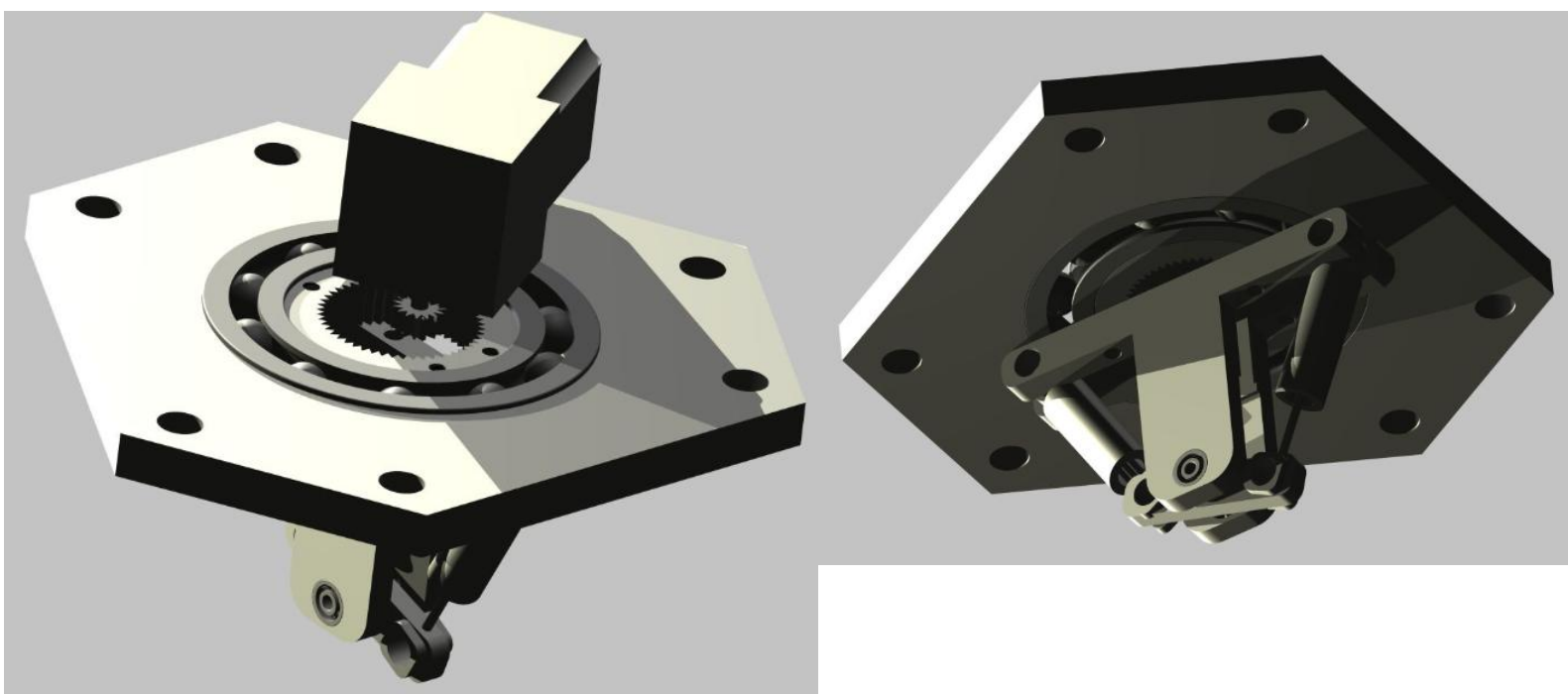
IX.1.2 Basisprincipe concept geel

Concept geel maakt gebruik een hybride aandrijfsysteem. Het polsgewricht wordt zowel pneumatisch als elektrisch bekrachtigd. Het concept bestaat uit twee pneumatische cilinders die de kantelende beweging van het polsgewricht verzorgen. De cilinders zijn in scharnieren opgehangen zodat ze samen instaat zijn een beweging van ruim 180 graden te genereren.

Het roteren gebeurt met een kleine elektromotor die met een klein tandwiel een grote tandkrans aandrijft. Aan deze tandkrans hangt de eerdergenoemde kantelmechaniek.



Voordelen	Nadelen
Gemakkelijke programmatuur	Relatief zwaar door de pneumatische rotatie unit
Robuust systeem	Positioneren niet per graad nauwkeurig
Plug and play	

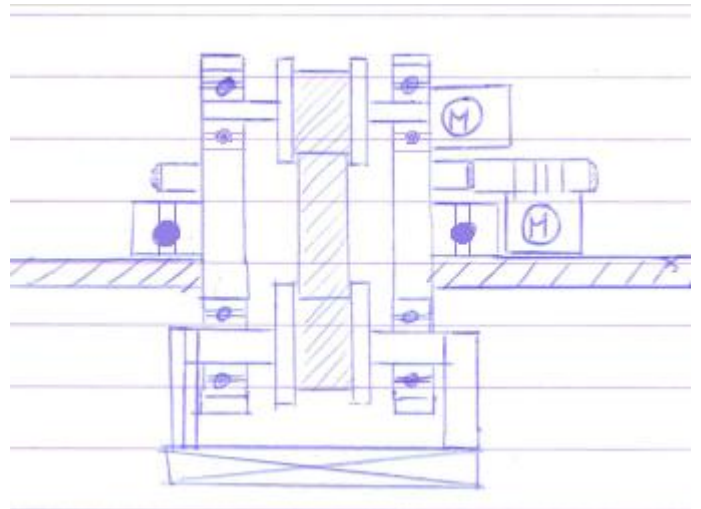


IX.1.3 Basisprincipe concept groen

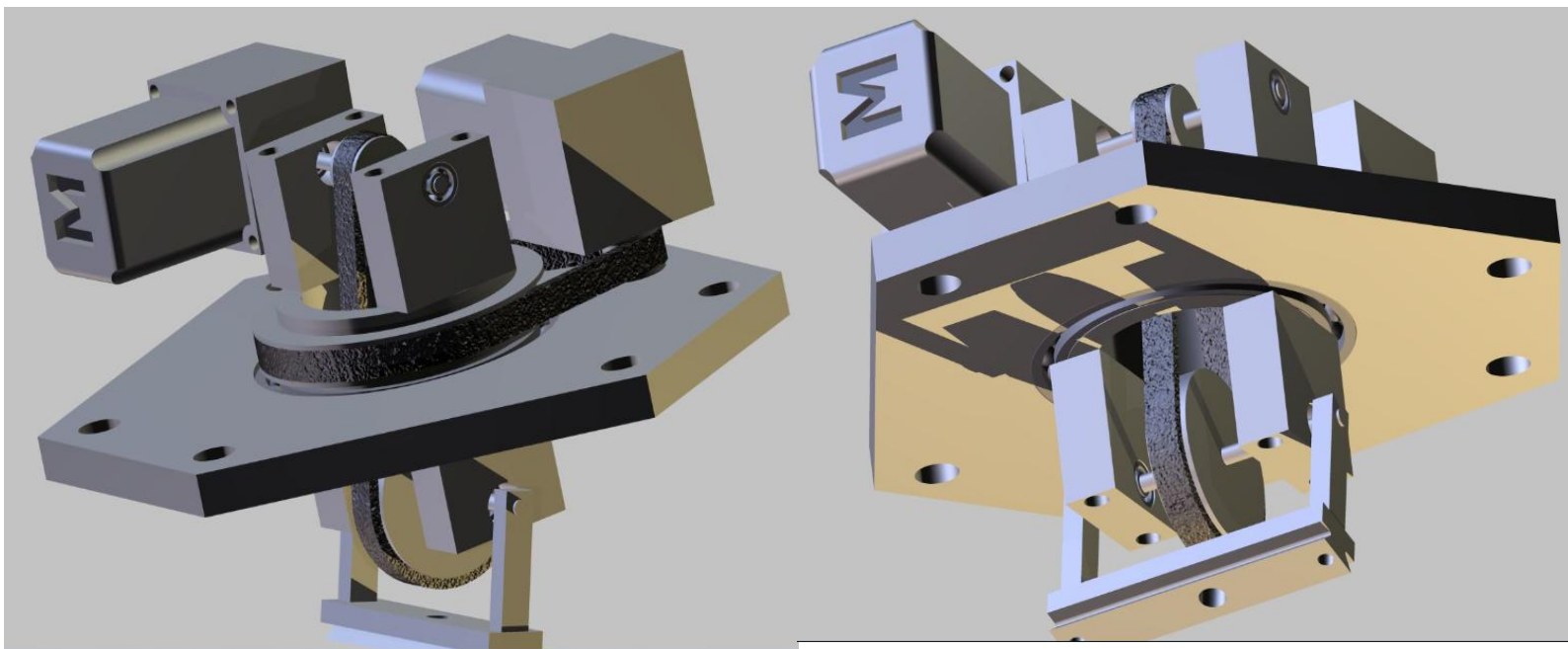
Concept groen bestaat uit een servo motor die op de basisplaat is gemonteerd. Langs de armen van de Tripod lopen elektrakabels die de servomotor van energie voorziet. De rotatiemotor is voorzien van een licht gewicht overbrenging. Deze overbrenging maakt een kleine lichte motor nodig die met een laag koppel en hoog toerental de pols kan aandrijven. In dit concept is gekozen voor een tandriem als lichtgewicht overbrenging. Een kleine servo motor met een kleine tandriem drijft de as aan met een tandriem. Hierdoor ontstaat een grotere overbrengingsverhouding. Door het gebruik van een kleine tandriem wordt het gewicht van een gearbox bespaard.

De kantelmechaniek wordt aangedreven door een servomotor die middels een poelie met aandrijfriem de grijper doet kantelen. Door de motor boven de basisplaat te plaatsen komt deze niet in het werkgebied van de Tripod.

Het basisprincipe van dit concept is dus een hoogtoerige lichte motor direct op het werkend deel van de Tripod gemonteerd. De hoogtoerigemotor met laag koppel zal voorzien zijn van een lichtgewicht overbrenging.



Voordelen	Nadelen
Robuust systeem door motoren bij de last te plaatsen	Relatief zwaar door motoren bij de bewegende arm te plaatsen
Licht gewicht overbrenging mogelijk door gebruik van tandriem	
Meer dan 360 graden rotatie mogelijk	

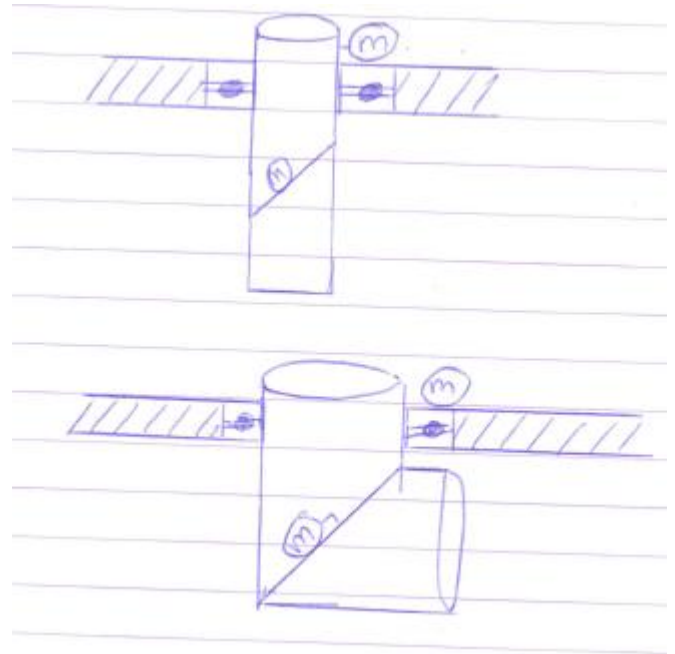


IX.1.4 Basisprincipe concept paars

Concept paars bestaat uit twee assen die met een hoek van 45 graden zijn afgezaagd. Door de scharnieras onder deze hoek t.o.v. elkaar te maken is het mogelijk middels een verdraaiing van de as de hoek te veranderen tussen de nul en 90 graden. Zie Figuur 47 (concept paars)

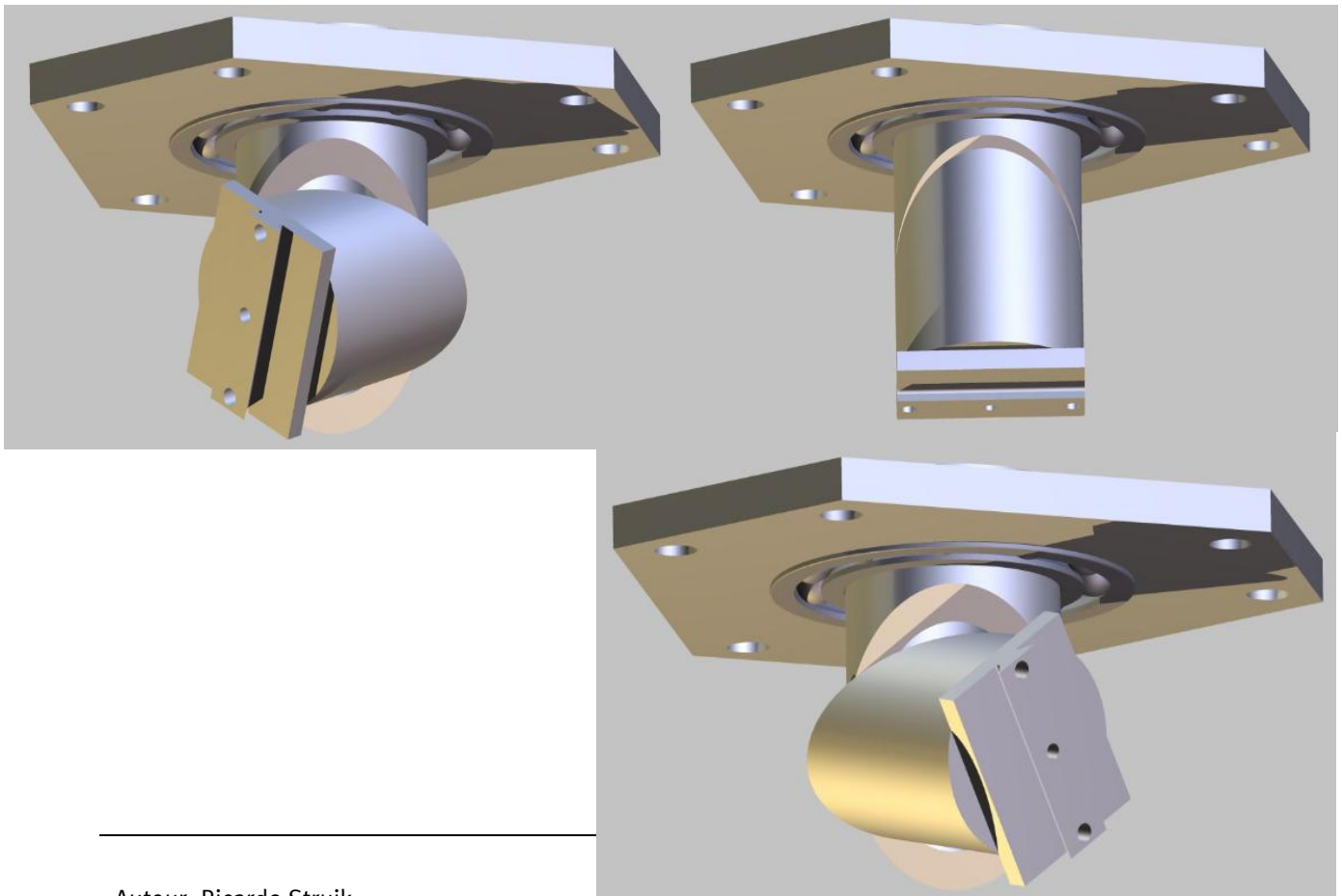
De aandrijf motor van de bovenste as is op de basisplaat van de Tripod gemonteerd. Deze drijft de as aan door middel van een worm wiel. Deze bovenste as is hol. In deze holle as zit een motor gemonteerd. Deze motor zorgt voor de rotatie van de onderste as.

Bij dit concept wordt gebruik gemaakt van zeer kleine stappen motoren die middels een grote gear ratio met de as zijn verbonden. Door de holle as lopen de kabels die nodig zijn voor het aansturen van het systeem.



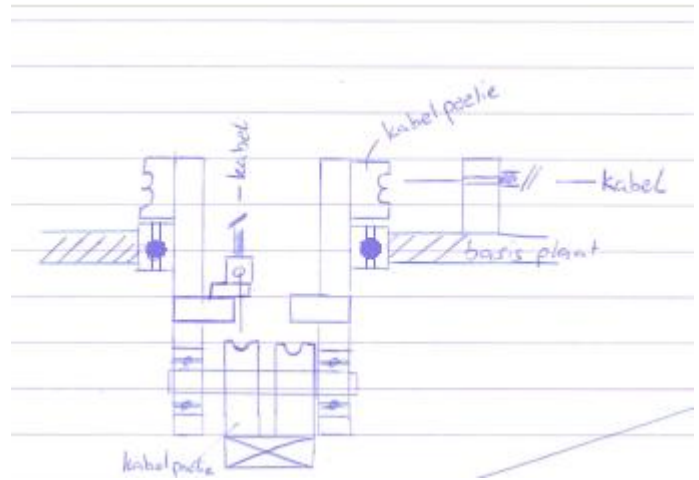
Figuur 47 (concept paars)

Voordelen	Nadelen
Zeer star systeem	Relatief zwaar door de motoren in de bewegende constructie te plaatsen
Zeer precies aan te sturen door grote overbrengingsverhouding	Weinig inbouwruimte voor motoren
	Geen lineaire kanteling.



IX.1.5 Basisprincipe concept rood

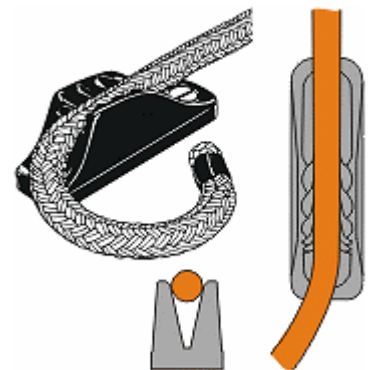
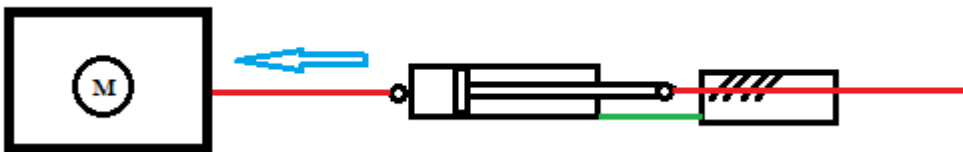
Concept rood uit de morfologische kaart is het prototype van voorgaande onderzoeken. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een servo motor die middels een mechanische overbrenging het polsgewricht doet roteren om een as. De as zit hierbij aan de basisplaat onder de Tripod geplaatst. Het kantelen gebeurt ook middels een motor die door middel van een zelfde mechanische overbrenging de pols doet kantelen om een scharnierende as. Uit studies van eerdere stagiairs blijkt het een zeer licht en eenvoudig concept dat zeer kansrijk kan zijn in de praktijk.



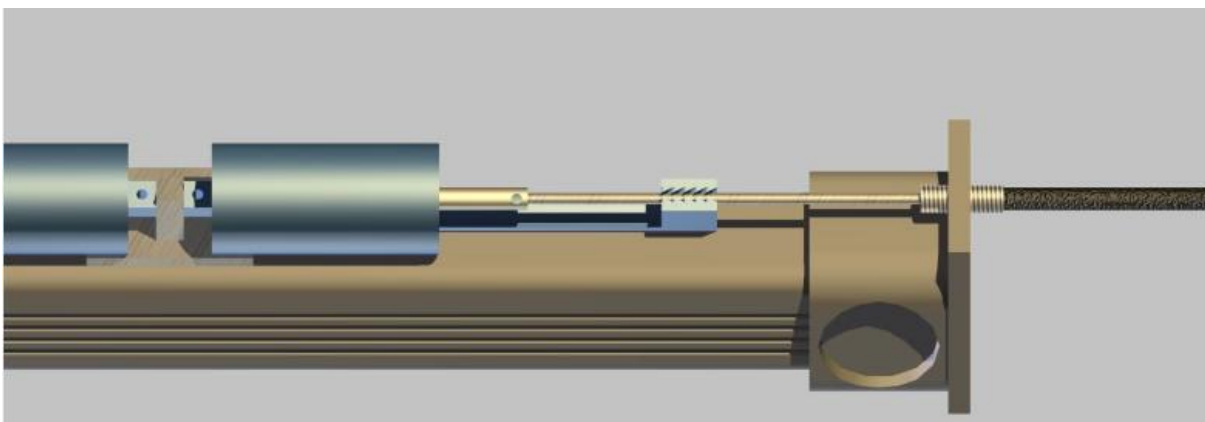
Dit in combinatie met een zelf stellende voorspanmechaniek kan leiden tot een zeer efficiënt concept.

De voorspanmechaniek werkt met een gasveer die tussen de binnenkabel gemonteerd is. doordat de gasveer samentrekt blijft de kabel op de juiste spanning. Bij het snelle accelereren van het systeem kan het zijn dat de gasveer uitgetrokken wordt. Dit maakt het systeem instabiel. Om dit tegen te gaan is er een mechaniek toegepast die de kabel in slechts één richting door laat. Deze mechaniek (clam cleat) wordt ook veel toegepast in de zeilsport.

De clam cleat wordt aan de behuizing van de gasveer gemonteerd. Nu kan de kabel bewegen t.o.v. de clam cleat.



Voordelen	Nadelen
Zeer licht systeem	Zeer arbeidsintensief om te monteren
Positioneren mogelijk op de 0,1 graad nauwkeurig	

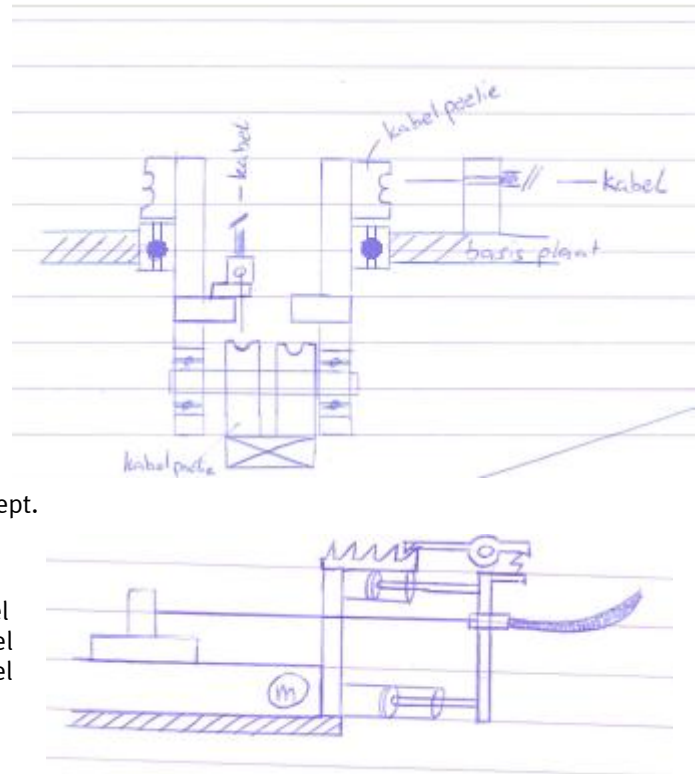


IX.1.6 Basisprincipe concept oranje

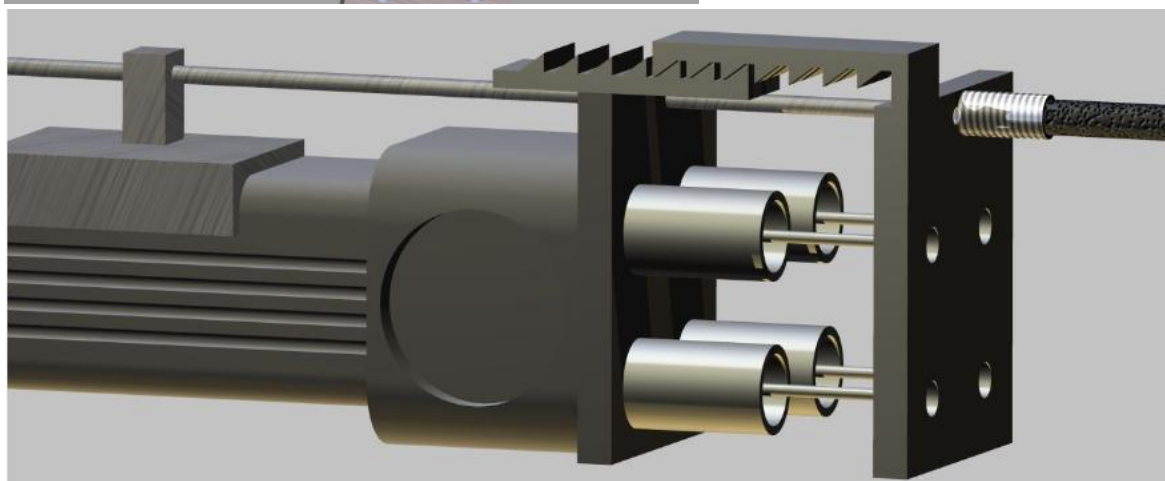
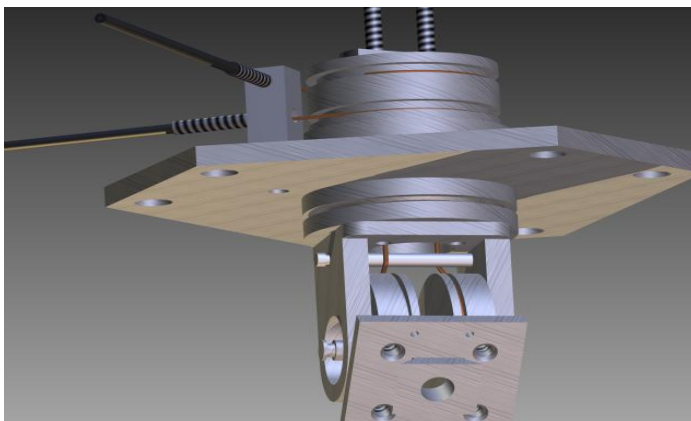
Concept rood uit de morfologische kaart is het prototype van voorgaande onderzoeken. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een servo motor die door middel van een mechanische overbrenging het polsgewricht doet roteren om een as. De as zit hierbij aan de basisplaat onder de Tripod geplaatst. Het kantelen gebeurt ook middels een motor die middels een zelfde mechanische overbrenging de pols doet kantelen om een scharnierende as. Uit studies van eerdere stagiairs blijkt het een zeer licht en eenvoudig concept dat zeer kans rijk kan zijn in de praktijk.

Dit in combinatie met een zelf stellende voorspanmechaniek kan leiden tot een zeer efficiënt concept.

De voorspanning van de kabel wordt bij dit systeem verkregen door tegen de mantel te duwen. De binnenkabel heeft een vaste lengte. Door de afstand die de binnenkabel moet afleggen te vergroten neemt de spanning op de kabel toe. Om het dynamisch gedrag van de veer niet mee te nemen in het systeem is er een vertanding toegepast die slechts beweging in één richting toelaat.

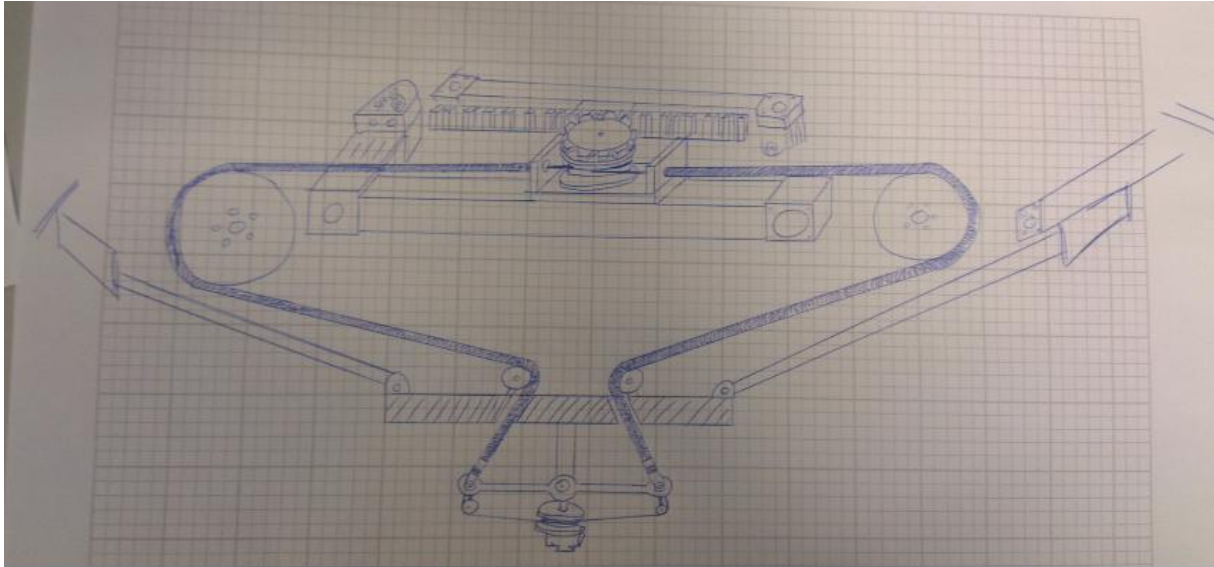


Voordelen	Nadelen
Zeer licht systeem	Zeer arbeidsintensief om te monteren
Positioneren mogelijk op de 0,1 graad nauwkeurig	



IX.1.7 Basisprincipe concept bruin

Concept bruin bestaat uit een systeem dat wordt aangedreven door slechts één kabel paar. Hierbij wordt de mantel gebruikt om de kantelmechaniek aan te sturen. De binnen kabel wordt gebruikt om de rotatie mechaniek aan te sturen.



De mantel zit gemonteerd aan een bewegende slede. De slede wordt door een lineair drive verplaatst. Tijdens het verplaatsen ontstaat er aan de ene zijde van de slede een trekkracht en aan de andere zijde een duwkracht. De kabelmantel wordt door grote looprollen van de bovenkant van het Tripodframe naar de basisplaat aan de Tripodarm geleid.

Op de zelfde slede zit een poelie. De binnenkabel zit om deze poelie heen gewikkeld. Zodra de poelie roteert trekt deze bij de ene zijde aan de kabel, terwijl het aan de andere zijde de kabel laat vieren.

De kabel volgt het pad van de kabelmantel en komt bij de kantelmechaniek uit de mantel. Door de binnenkabel langs een poelie te leiden komt deze onder de juiste hoek aan bij de rotatiepoelie. Door de kabel om de zowel de aandrijf- als rotatiepoelie te wikkelen is het mogelijk te werken met één lange kabel die onbeperkt aangedreven kan worden langs de poelie's. Dit betekent dat er geen limiet is voor de maximale draaihoek van de rotatiepoelie.

De poelie voor het roteren wordt aangestuurd door een eigen motor. Dit kan zijn door een lineair drive unit met tandheugel of door een stappenmotor met gearbox die ook op de slede gemonteerd zit.

Voordelen	Nadelen
Extreem laag gewicht van het bewegende deel aan de bewegende arm van de Tripod	Zeer veel programmeerwerk nodig doordat de pols van hoek verandert zodra de basisplaat van de Tripod verplaatst.
Zeer innovatief. Het zou een goed display model zijn dat veel aandacht op de Tripod vestigt.	Een speciale mechaniek moet ontwikkeld worden om beweging in het Z-vlak mogelijk te maken.

IX.2 Kesselring methode

Met de kesselringmethode is het mogelijk de gebruiks- en fabricage eisen van de concepten te toetsen. De eisen waartegen de concepten getoetst worden staan in het volgende hoofdstuk (Detaillering) omschreven. Sommige eisen wegen zwaarder dan anderen, daarom is er een weegfactor in de tabel opgenomen. De weegfactor wordt bepaald door de eindgebruiker. De eindgebruiker zal moeten werken met het systeem, het is dus zeer belangrijk dat het systeem aansluit bij de wensen van deze partij. Daarom kan de eindgebruiker een getal toekennen aan de weegfactor tussen de 1 en de 5. Hierbij is 1 de minst belangrijke eis, 3 gemiddeld en 5 punten zeer belangrijk.

Fabricage eisen	Weeg-factor	Blauw	Geel	Groen	Paars	Rood	Oranje	Bruin
Eenvoud	3	2	1	7	3	6	5	4
Aantal onderdelen	2	3	2	6	7	5	4	1
Fabricage kosten	4	7	1	3	2	4	5	6
Z-as 360 graden roteerbaar	2	2	3	7	5	4	6	1
Y-as 190 graden kantelbaar	2	1	3	7	2	5	6	4
Herhalingsnauwkeurigheid	3	2	3	7	6	4	5	1
Modulaire opbouw	2	4	3	5	1	6	7	2
Gewicht	4	1	2	4	3	5	6	7
Totaal punten: max 176	22	64	46	114	77	106	120	83
Totaal procenten:		36	26	65	44	60	68	47

7 punten: goed

4 punten: redelijk

1 punt: slecht

Gebruikseisen	Weeg-factor	Blauw	Geel	Groen	Paars	Rood	Oranje	Bruin
Eenvoud	2	5	4	7	6	2	3	1
Kosten	4	7	6	1	2	3	4	5
Verschillende aandrijvingen mogelijk	4	3	4	2	1	6	7	5
Veilige werkomgeving	5	4	5	6	7	2	3	1
Lage geluidsproductie	4	1	2	7	5	3	6	4
Onderhoud	5	4	5	7	6	2	3	1
Universeel toepasbaar	3	2	1	7	3	4	6	4
Levensduur	4	4	5	7	6	2	3	1
Totaal punten: max 217	31	116	129	168	142	92	134	84
Totaal procenten:		53	59	77	65	42	62	39

7 punten: goed

4 punten: redelijk

1 punt: slecht

IX.2.1 Detaillering kesselring

Al de ingevulde waarden in de kesselringtabel komen voort uit criteria uit de praktijk. Hierbij is het belangrijk dat precies duidelijk is waarop de concepten getoetst worden. In de detaillering worden de toetspunten toegelicht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de fabricageeisen en de gebruikseisen. Eerst worden de fabricageeisen behandeld. Hierbij wordt er naar het concept gekeken vanuit de ogen van degene die het concept moet maken in een werkplaats.

IX.2.1.1 Fabricage eisen:

- Eenvoud

Het concept moet gemakkelijk te fabriceren zijn. Dit is een zeer ruim en subjectief begrip. Meer uitleg is nodig om het goed te specificeren. Wanneer de onderdelen van het concept weinig bewerkingen behoeven is er sprake van een gemakkelijk te fabriceren product. Het product hoeft niet vaak ingespannen te worden, heeft weinig verschillende bewerkingen nodig, kan met één machine geproduceerd worden. Een andere indicatie van een gemakkelijk te produceren product is dat de productiemedewerker weinig tijd nodig heeft om het te maken. Hoe gemakkelijker het product te produceren is hoe meer punten het toegekend kan worden in de kesselringtabel

- Aantal onderdelen

Een manier om een ingewikkeld onderdeel eenvoudig te produceren is door het in meerdere onderdelen te maken. Deze onderdelen kunnen later weer geassembleerd worden. Eenvoudige onderdelen zijn goedkoper te produceren dan ingewikkelde. Echter loopt het aantal benodigde onderdelen op wanneer de onderdelen vereenvoudigd worden. Meer onderdelen brengen ook weer meer bewerkingen met zich mee wat de producten en assemblage tijd en prijs doet oplopen. Hoe minder onderdelen een concept nodig heeft, hoe hoger cijfer in de kesselringtabel mag worden ingevoerd.

- Fabricage kosten

De drie eisen; eenvoud, aantal onderdelen en fabricage kosten hangen nauw met elkaar samen. Om tot simpele onderdelen te komen moet men functies splitsen wat leid tot meer onderdelen. Meer onderdelen leiden weer tot hogere kosten. Het is essentieel om een goede samenhang te vinden van deze drie factoren. Ook speelt de fabricage methode een grote rol op de kosten. Aangezien er spraken is van een kleine serieproductie zijn er een aantal fabricagemethodes die prijstechnisch zeer aantrekkelijk zijn. Een laatste factor die de fabricageprijs bepaald zijn standaard onderdelen. Het is vaak goedkoper om een onderdeel te bestellen uit een catalogus. Sommige concepten lenen zich hier beter voor dan anderen. Hoe lager de fabricage kosten hoe meer punten.

- Z-as 360 graden roteerbaar

Het gewricht moet 360 graden kunnen roteren. Dit is nodig om het werkgebied van de Tripod optimaal te kunnen benutten. Wanneer een systeem minder dan 360 graden kan roteren zal het systeem weinig punten verdienen. Wanneer het systeem 360 graden kan draaien zal het als gemiddeld worden gezien. Wanneer de het gewricht meer dan 360 kan roteren zal het de maximale score verdienen.

- Y-as 190 graden kantelbaar

Het gewricht moet 190 graden kunnen kantelen. Dit is nodig om de producten die het oppakt om te kunnen draaien. Hierbij is een kanteling minder dan 180 graden 1 punt waard. Een kanteling van precies 180 graden is gemiddeld. En een kanteling van 190 graden is goed. Bij 190 graden of meer zal de maximale score toegewezen worden.

- Herhalingsnauwkeurigheid

Wanneer het systeem een product oppakt, het product verplaatst, neerzet en weer terug verplaatst komt het systeem terug in de begin positie. De afwijking tussen deze positie voor en na de actie worden met elkaar vergeleken. Het verschil hier tussen wordt gemeten in millimeter. Dit wordt de herhalingsnauwkeurigheid genoemd. Dit wordt bepaald door de hoeveelheid speling in het systeem. Hoe minder speling hoe hoger de herhalingsnauwkeurigheid en ook het aantal toegekende punten in de kesselringtabel.

- Modulaire opbouw

Sommige klanten willen een systeem met dat bestaat uit slechts een rotatie- of kantelmechaniek. Andere klanten willen een systeem dat beide functies kan vervullen. Daarom is een modulaair systeem nodig. De mate waarin dit mogelijk is bepaald het cijfer dat het concept op dit onderdeel kan scoren.

- Gewicht

Hoe lichter het systeem hoe meer punten het concept toegekend zal krijgen.

IX.2.1.2 Gebruikseisen:

Nu zullen de gebruikseisen nader toegelicht worden. Deze eisen worden gezien vanuit het perspectief van de persoon die het systeem zal assembleren. Deze persoon zal het systeem assembleren en in gebruik nemen.

- Eenvoud

De eenvoud tijdens het assembleren heeft betrekking op het montagegemak. Hoe makkelijker het systeem te assembleren en monteren is hoe meer punten het concept krijgt op dit onderdeel. Het aantal mensen dat nodig is voor assemblage samen met de ingewikkeldheid van de uit te voeren handelingen bepalen de hoogte van het cijfer. Hoe gemakkelijker hoe hoger het cijfer.

- kosten

Het aantal mensen dat nodig is en de tijd dat deze mensen bezig zijn met het in gebruik nemen van het systeem zijn bepalend voor de kosten. De kosten die gemaakt worden tijdens assemblage zijn voornamelijk afkomstig van het arbeidsloon. Dit onderdeel hangt dus nauw samen met de eenvoud. Maar ook speciaal gereedschap dat nodig kan zijn voor montage kan invloed hebben op de assemblage kosten. Hoe lager de kosten hoe meer punten het concept toegekend zal krijgen.

- verschillende aandrijvingen mogelijk

Voor verschillende situaties zijn soms verschillende aandrijftechnieken nodig. De mate waarin een concept dit toelaat is bepalend voor het aantal punten dat het systeem toegewezen zal krijgen.

- veilige werkomgeving

Een systeem met veel scherpe randen en bewegende delen kan zorgen voor een onveilige werkomgeving. Ook het risico dat gelopen wordt bij het falen van machines kan voor onveiligheid zorgen. Na analyse van de concepten kan blijken dat het ene concept veiliger is dan het ander. Hoe veiliger het concept is hoe hoger cijfer zal worden toegekend aan het concept.

- Lage geluidsproductie

De mate van lawaai die het systeem produceert bepaald het cijfer voor dit criteria. Hoe minder decibel het concept produceert hoe meer punten het systeem toegekend krijgt.

- Onderhoud

Vooraf kan al enigszins ingeschat worden hoeveel onderhoud een machine nodig heeft. Sommige systemen zijn eenmaal onderhoudsgevoeliger dan anderen. Het is wenselijk om zo weinig mogelijk stilstanden in het systeem te hebben. Daarom is de mate van onderhoud die het concept behoeft van belang. Hoe minder onderhoud het systeem vergt hoe hoger het toegekende cijfer.

- Universeel toepasbaar

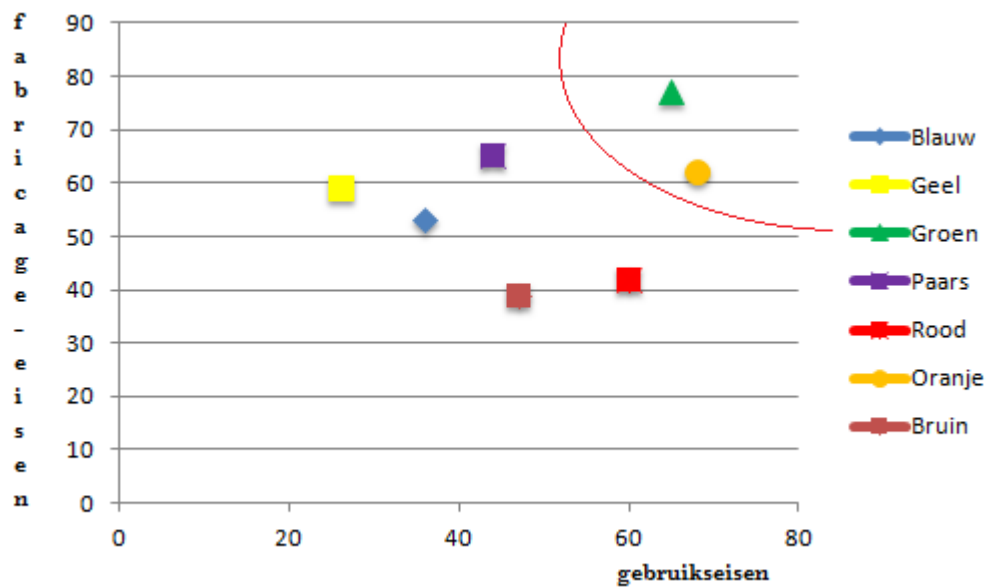
Aangezien het polsgewricht niet alleen op de Tripod gemonteerd zal worden maar ook onder ander high speed handelingssystemen is het nodig dat de pols hierop ook toepasbaar is. Er is een systeem vereist dat zich gemakkelijk uit leent voor montage bij de T- en H-gantry. Hoe compacter het systeem op de basisplaat is, hoe gemakkelijker het overzetten naar andere systemen zal gaan.

- Levensduur

Vooraf kan er een professionele inschatting gedaan worden over de levensduur. Door onderhoudsgegevens van onderdelen op te zoeken en te kijken hoe de krachten in de systemen lopen is het mogelijk een inschatting te maken van de levensduur. Er zal gestreefd worden naar een systeem met een zo lang mogelijke levensduur. Hoe langer de levensduur hoe hoger het cijfer dat aan het concept zal worden toegekend.

IX.2.2 Conclusie kesselringmethode

De grafiek in Figuur 48 (uitkomst kesselring methode) geeft een score overzicht van de concepten. In de verticale as staan de fabricage-eisen en in de horizontale as staan de gebruikerseisen. Hieruit blijkt dat concept groen en oranje het beste aansluiten bij de gestelde eisen. Deze zitten het dichtst bij het ideale gebied.



Figuur 48 (uitkomst kesselring methode)

X. Detailleringfase

Uit de concept fase is gebleken dat concept groen en oranje het best aansluiten bij de gestelde eisen. Echter zijn de concepten uit de concept fase slechts basis principes. Concept oranje is gebaseerd op het huidige concept dat wordt aangedreven met bedieningskabels. Concept groen is volledig elektrisch waarbij de aandrijving op het bewegend deel van de Tripod gemonteerd zit. De exacte samenstelling en bemating van de onderdelen staat nog niet vast. Tijdens deze detailleringfase wordt er dieper op het concept in gegaan en zal er uiteindelijk op een eindconcept uitgekomen worden.

Concept oranje is een verbetering van het bestaande concept. Het concept zal doorgerekend worden en aangepast zodat het compacter en goedkoper te produceren wordt. Hierbij worden alle herziene eisen in het ontwerp verwerkt.

Concept groen is nieuw. Het concept bestaat uit een lichte elektrische aandrijving die op de bewegende plaat onder de Tripod gemonteerd zit. Deze aandrijving kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. Daarom wordt het concept verder uitgewerkt. Dit gebeurt in drie stappen. Deze stappen zijn:

1. Eerst wordt er een overzicht gegeven van beschikbare systemen voor het concept . Hieronder valt; de aandrijving, overbrenging, montage systemen en hoogtecompensatie.
2. Vervolgens wordt er een concept samengesteld. Hierbij wordt er een principe werking bedacht en getest in een 3D modelleer omgeving.
3. Daarna wordt het concept doorgerekend. Met de gegevens uit de berekening worden de onderdelen van stap 1 gekozen.
4. De beste concepten worden met de kesselringmethode tegen elkaar afgewogen. Dit resulteert in een eindconcept.

X.1 Beschikbare aandrijvingen

Nu bekend is dat de krachten en benodigde koppels voor het aandrijven van het systeem bekend zijn is het mogelijk om een passende motor voor het systeem uit te zoeken. Uit de berekening is gebleken dat het benodigde koppel voor het aandrijven van het systeem vrij laag is. Bij het uitzoeken van een passend aandrijfsysteem wordt getracht de massa zo laag mogelijk te houden.

X.1.1 Beschikbare motoren

- Micro geared motor

Spanning	1.7-5.0 V DC
Stroom	500 mA
RPM	1050
Overbrenging	35:1
Koppel	0.00706 Nm
Grootte	12x15x30 mm
Gewicht	15 g
Kosten	\$18,99 prijs excl. besturing

- Planetary pager gearmotor

Spanning	6 V DC
Stroom	350 mA
RPM	1550
Overbrenging	25:1
Koppel	0.00706 Nm
Grootte	20x6 mm
Gewicht	13 g
Kosten	\$19,99 prijs excl. besturing

- Beetle B62 gearmotor

Spanning	12 V
Stroom	0.4 A
RPM	242
Overbrenging	62:1
Koppel	1.32 Nm
Grootte	22x50mm
Gewicht	70 g
Kosten	\$29,99 prijs excl. besturing

- PK geared motor

Spanning	12 V
Stroom	5.2 A
RPM	190
Overbrenging	51:1
Koppel	2.51 Nm
Grootte	78x34 mm
Gewicht	280 g
Kosten	\$49,99 prijs excl. besturing



- Maxon motor EC 45 Ø45 mm, 150W brushless

Spanning	36 V DC
Stroom	3 A
RPM	4100
Overbrenging	-
Koppel	0.91 Nm
Max axiaal belasting	16 N
Max radiaal belasting	180 N
Grootte	45x68 mm
Gewicht	850 g excl. reductor
Kosten	\$560.- prijs excl. besturing



- EC-4pole 32 Ø32 mm, brushless, 480 Watt

Spanning	48 V DC
Stroom	15 A
RPM	5050
Overbrenging	-
Koppel	0.97 Nm
Max axiaal belasting	18 N
Max radiaal belasting	80 N
Grootte	32x162 mm
Gewicht	730 g excl. reductor
Kosten	\$850.- prijs excl. besturing



- Festo EMMS-ST-42

Spanning	48 V
Stroom	1.8 A
RPM	1740
Overbrenging	-
Koppel	0.5 Nm
Max axiaal belasting	7 N
Max radiaal belasting	20 N
Grootte	42x66 mm
Gewicht	450 g
Kosten	\$55.- prijs excl. besturing



X.1.2 Mogelijke overbrengingen

- Kegelschijf recht

Het kegelwiel met rechte vertanding maakt een haakse overbrenging mogelijk. Het is een relatief goedkoop inkoopdeel in vergelijking met andere overbrengingen. De haakse overbrenging kan wenselijk zijn in krappe inbouwruimtes.

- Kegelschijf schuin

Het schuine kegelwiel fungeert hetzelfde als het kegelwiel met rechte vertanding. Door het kegelwiel met schuine tanden uit te voeren is het mogelijk om hogere krachten over te brengen. Ook zijn de schuine tanden stiller doordat de tanden soepeler in elkaar over grijpen.

- Tandwiel recht

Van de tandwielen is dit de goedkoopste manier om een overbrenging te realiseren. De assen van de tandwielen staan altijd parallel aan elkaar. Het is ook mogelijk om meerdere tandwielen te gebruiken om tot een hogere overbrengingsverhouding te komen.

- Tandwiel schuin

Het tandwiel met schuine vertanding werkt hetzelfde als het tandwiel met rechte vertanding. Het verschil tussen rechte en schuine tanden maakt echter wel een groot verschil. Schuine tanden kunnen meer kracht overbrengen dan rechten en produceren hierbij minder geluid. Dit is echter wel tegen een hogere kostprijs.

- Wormwiel

Het wormwiel wordt vaak als aandrijf wiel gebruikt. Dit systeem maakt een zeer grote overbrenging mogelijk. Een van de eigenschappen van het wormwiel is dat het wormwiel wel een tandwiel kan aandrijven maar het tandwiel kan het wormwiel nagenoeg niet in beweging zetten.

- Tandriem

Twee poelies kunnen middels een tandriem met elkaar verbonden worden. Door de grote van de poelies te variëren zijn verschillende overbrengingen mogelijk. De riem is zeer licht van gewicht en produceert zeer weinig geluid. Wanneer er gewerkt wordt met een riem dient de riem wel op de juiste spanning gebracht te worden. Ook is een riem een slijtend deel. Dit betekent dat er goed over onderhoud nagedacht dient te worden.

- V-snaar

In tegenstelling tot de tandriem kan de V-snaar enigszins slippen. De snaar maakt middels de poelies een goedkope lichte overbrenging mogelijk. Echter dient het goed op spanning gebracht te worden om slip te voorkomen. Ook voor de V-snaar is een goed onderhoudsplan nodig.

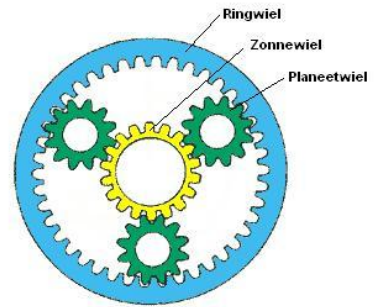
- Direct

Hierbij worden de delen van het polsgewricht direct aan de motoras gemonteerd. Dit kan zeer belastend voor de motor zijn. Om deze reden is het belangrijk om goed te onderzoeken of de motor hier tegen bestand is.



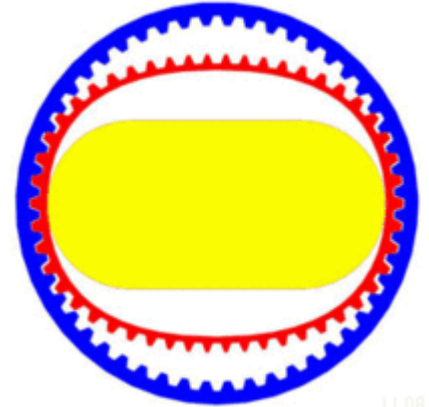
- Planetaire overbrenging

Met een planetair tandwielstelsel is het mogelijk om een zeer grote overbrenging te realiseren. Door het zonnewiel aan te drijven gaan de planeetwielen om het zonnewiel heen lopen. De planeetwielen zitten aan een huis vast. Door het huis vast te zetten of vrij te laten draaien kunnen verschillende overbrengingen gekozen worden. Het planetair tandwielstelsel vereist slechts een zeer kleine inbouw ruimte.



- Harmonic drive

Met de harmonic drive kan de grootste overbrenging in de kleinste inbouwruimte gerealiseerd worden. Het systeem werkt als volgt: Een flexibele tandriem wordt door twee excentrische nokken door een huis bewogen. Per rotatie verplaatst de tandriem twee tanden t.o.v. het huis. Dit maakt een extreem grote overbrengingsverhouding mogelijk. De tandriem zit gekoppeld aan een uitgaande as. Deze as wordt gebruikt om het systeem op aan te sluiten. De harmonic drive wordt veel gebruikt voor het aansturen van nauwkeurige installaties. Door de grote overbrenging is wordt er echter wel ingeleverd op het toerental.



LL08

X.1.3 Mogelijke bevestigingsmethodes

De onderdelen waaruit het polsgewricht wordt opgebouwd dienen tijdens de assemblage aan elkaar bevestigd te worden. Bij het ontwerpen van het eindconcept dient goed rekening gehouden te worden met de verbindingstechniek van de verschillende onderdelen. Hoe gemakkelijker de onderdelen te verbinden zijn, hoe sneller de assemblage kan gaan en hoe meer tijd en geld bespaart kunnen worden.

Tijdens het uitzoeken van de juiste verbindingstechniek wordt rekening gehouden met de volgende punten:

- De hoeveelheid kracht die de verbinding over moet kunnen brengen.
- De hoeveelheid slip die mag optreden.
- De hoeveelheid beschikbare inbouw ruimte.
- Proces kosten.
- Montage gemak.

Hieronder volgt een overzicht van geschikte verbindingstechnieken voor het polsgewricht.

- Inbedden

Hierbij wordt een onderdeel in de gietvorm van een ander onderdeel geplaatst. Deze methode kan toegepast worden om verschillende materialen met elkaar te verbinden.

- Klemmen

Door middel van klemming kunnen twee onderdelen star aan elkaar gemonteerd worden door de onderlinge wrijving. Deze wrijving wordt opgewekt door het aandraaien van een bout.

- Krimpen

Deze verbinding ontstaat als gevolg van de wrijvingskracht in een constructie met een negatieve onderlinge speling. Bij krimpen wordt een onderdeel verwarmt waardoor het materiaal uitzet en er een positieve speling ontstaat. Deze speling neemt weer terug af naarmate het onderdeel afkoelt.

- Lassen

Hierbij worden materialen tot hun smeltpunt verhit en met elkaar verbonden. Zodra de materialen gesmolten zijn kunnen deze mengen. Wanneer de materialen afkoelen ontstaat er een permanente verbinding.

- Lijmen

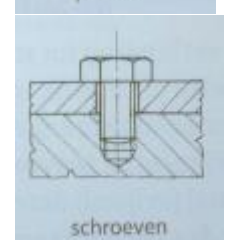
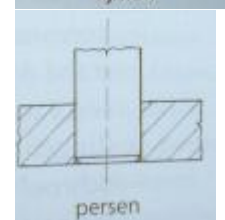
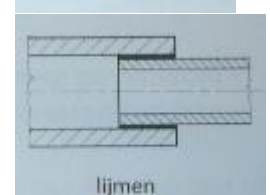
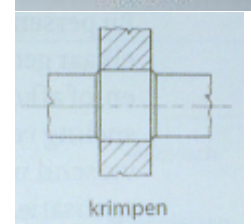
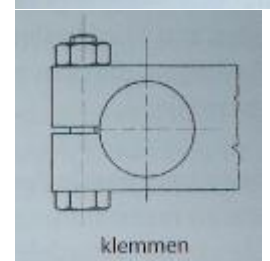
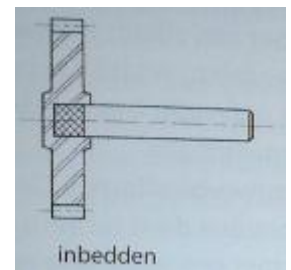
Met lijmen worden verschillende materialen aan elkaar bevestigd middels een bindmiddel.

- Persen

Bij persen wordt een onderdeel met hoge kracht in een ander gedrukt. Hierbij is de tolerantie negatief waardoor het onderdeel alleen met een zeer hoge druk over elkaar geschoven kan worden.

- Schroeven

verbinding waarbij een of meer onderdelen zijn voorzien van schroefdraad.



X.1.4 Mogelijke lagers

Om de roatiemechaniek te kunnen laten draaien dient het systeem uitgevoerd te worden met een lager. Ook dient de kantelmechaniek op de juiste manier gelagerd te worden. Bij het uitzoeken van de lagers dient er met de volgende aspecten rekening gehouden te worden:

- Hoeveelheid beschikbare inbouwruimte.
- Belasting richting.
- Scheefstelling.
- Precisie.
- Toerental.
- Lagergeruis.
- Stijfheid.
- Axiale verschuifbaarheid.
- Montage en demontage.
- Afdichtingen.

Met de gegevens uit hoofdstuk IX wordt het mogelijk een passend lager uit te zoeken. Bij de lagers wordt er onderscheid gemaakt tussen twee type lagers. Deze twee type zijn glijlagers en wentellagers.



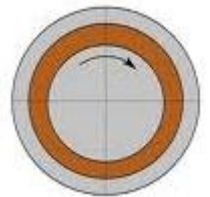
Figuur 49 (glijlager)

X.1.4.1 Glijlager (de as glijdt in het lager)

Glijlagers zijn eenvoudig te monteren en maken indien onbeschadigd en juist gemonteerd geen geluid. Glijlagers zijn goedkoop in aanschaf en onderhoudsvrij. De betrekkelijk kleine radiale afmeting van het lager maakt het gemakkelijk om in te bouwen. Echter hebben glijlagers een kortere levensduur dan wentellagers. Ook dienen de assen in de lagers perfect uitgelijnd te worden om een optimale levensduur te garanderen. De glijlagers zijn te verdelen in twee groepen. Glij- en contactloze lagers.

- Glijlagers

Hierbij draait de as tegen het lager. Het lager is gemaakt van een materiaal dat wrijving tussen de materialen minimaal houdt. Glijlagers zijn niet in staat om axiale krachten op te nemen.



- Contactloze lagers

Bij contactloze lagers zit er een medium tussen het de as en het lager. Dit zorgt ervoor dat de twee elkaar nooit raken. Hierdoor is slijtage na genoeg niet aanwezig. Het medium tussen de as en het lager kan een gas, maar ook een vloeistof zijn. Tegenwoordig is het ook mogelijk om magnetisch te lagers. Hierbij wordt de as middels magnetische velden op de juiste plaats gehouden. Hierbij ontstaat geen wrijving en trillingen.

Figuur 50 (contactloos glijlager)

X.1.4.2 Wentellager (de as rolt in het lager)

Een wentellager heeft een lagere rolweerstand dan het glijlager. De wrijvingsweerstand blijft bij iedere rotatie frequentie gelijk. Veel type wentellagers zijn instaat om zowel axiale als radiale krachten op te nemen. Hoge betrouwbaarheid en smeerintervallen. Verschillende type wentellagers zijn beschikbaar.

- Eenrijig groefkogellager

Deze lagers worden ook wel diepgroefkogellagers genoemd. Dit komt doordat de groeven in de binnen- en buitenring van het lager zijn voorzien van diepe groeven. Door deze groeven loopt de kogel. Dit stelt het lager instaat om zowel radiale als axiale krachten op te nemen.

- Twee rijig zelfstellend kogellager

Dit lager is uitgevoerd met twee rijen kogels. Iedere rij heeft zijn eigen groef in de binnenring. De buitenring is echter één bolvormige groef. Hierdoor beschikt het lager over bewegingsruimte om zich aan te passen bij een veranderende stand van de as. Dit kan van pas komen bij bijvoorbeeld assen die enigszins doorbuigen. Dit lager kan radiale krachten op nemen en slechts zeer beperkt axiaal krachten opnemen.

- Eenrijig hoekcontactkogellager

Bij deze lagers zijn de groeven waarin de kogels lopen onder een hoek geconstrueerd. Dit stelt het lager in staat om radiale krachten op te nemen en axiale krachten in één richting. Er bestaan ook tweerijige hoekcontactlagers. Deze lagers zijn instaat om axiale krachten in beide richtingen op te nemen. Het aantal rijen waarover het lager beschikt bepaald de maximaal op te nemen kracht, de richting en de inbouwmaat.



Figuur 51 (groefkogellager)



Figuur 52 (zelfinstellend kogellager)



Figuur 53 (eenrijig hoekcontact kogellager)

- kegellager

Het kegellager is uitgevoerd met een conische groef in zowel de binnen- als de buitenring. Het lager is in staat om radiale krachten op te nemen en axiale krachten in één richting. Het is ook mogelijk om twee rijen kegels in tegengestelde richting in het zelfde lager te monteren. Dit stelt het lager in staat om krachten in alle richtingen op te nemen.

- Axiaal cilinderlager

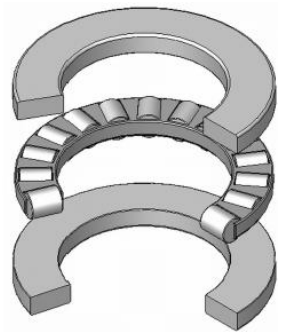
Deze lagers kunnen zeer zware axiale belastingen opnemen. Ook hebben axiaal cilinderlagers een zeer kleine inbouwruimte nodig. Naast cilinders kunnen de lagers ook uitgevoerd zijn met kogels. Hiervoor bestaat een andere groef. Deze lagers zijn zeer goed in staat om axiale krachten in één richting op te nemen. Helaas is het niet mogelijk om radiale krachten op te nemen met deze lagers.

- Axiaal tonlager

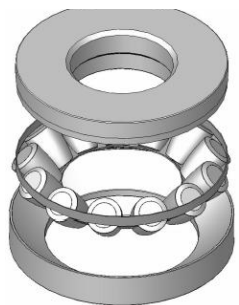
Doordat de ton onder een hoek in de groef gemonteerd zit is het ook mogelijk om radiale krachten op te nemen met deze lagers. Doordat het loopvlak conisch is zijn de lagers zelfinstellend. Dit maakt het lager ongevoelig voor een slechte uitlijning als gevolg van doorbuiging.



Figuur 54
(kegellager)



Figuur 53 (axiaal cilinderlager)

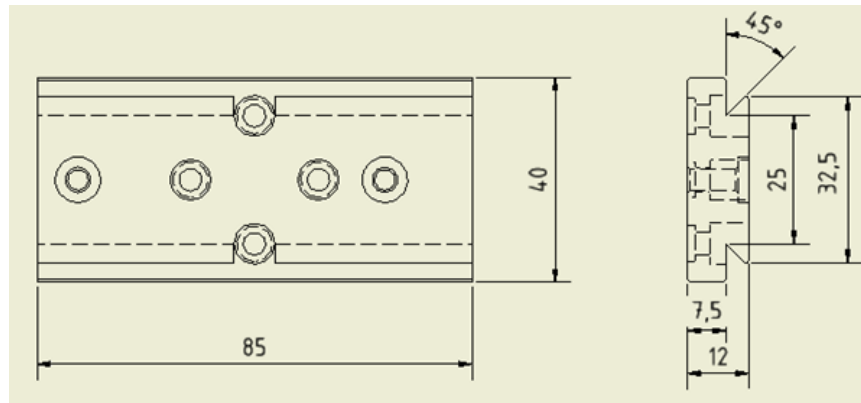


Figuur 55 (axiaal tonlager)

X.1.5 Mogelijke montage platen

- Zwaluwstaart HMSV

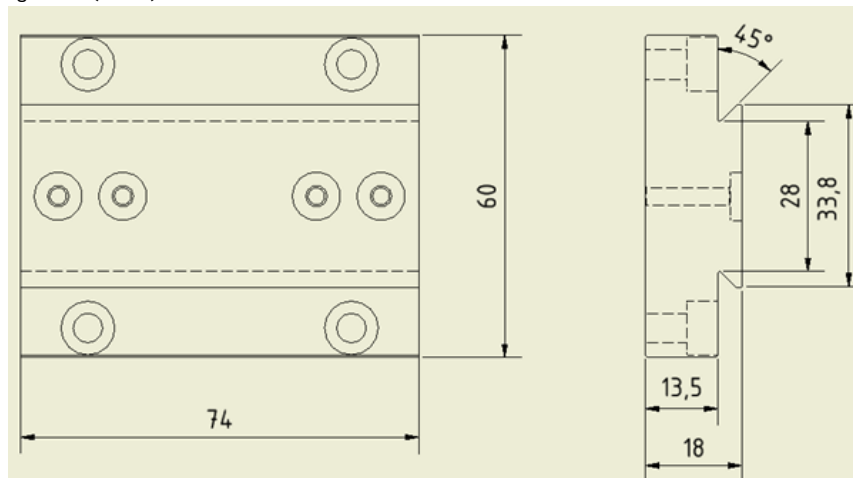
Dit is een standaard onderdeel uit de Festo catalogus. Deze wordt gebruikt om snel en eenvoudig verschillende systemen aan elkaar te monteren. De HMSV-plaat wordt gebruikt om parallelle gripper DHPS en de radiaal gripper DHRS te bevestigen aan een oppervlak. De standaard maatvoering van de HMSV montage plaat is weergegeven in Figuur 56 (HMSV).



Figuur 56 (HMSV)

- Zwaluwstaart HMVA

De driepuntsgripper DHDS wordt gemonteerd op de HMVA montage plaat. Deze gripper is rond en heeft een ander bandenpatroon. De maatvoering van deze plaat wordt in Figuur 57 (HMVA) weergegeven. Bij het uitzoeken van de juiste basisplaat zal vergeleken worden welke gripper het meeste wordt toegepast in de industrie.



Figuur 57 (HMVA)

X.1.6 Mogelijke hoogtecompensatie

- Mechanisch veersysteem

Dit kan zijn middels een mechanische veer. Door het systeem op te hangen aan een veer zal de veer worden ingedrukt wanneer de pols iets raakt als gevolg van doorschot.

- Mechanische voeler

Door aan de onderzijde van de pols een uitschuifbare pin te maken is het mogelijk om een signaal te geven wanneer de pols een object nadert. Hierdoor kan vroegtijdig geremd worden en wordt het fenomeen doorschot verkleind.

- Digitale sensor

Door met een laser of optische sensor de afstand te meten is het mogelijk om vroegtijdig de snelheid aan te passen. Zo kan dynamisch geanticipeerd worden op de afstand tot het object.



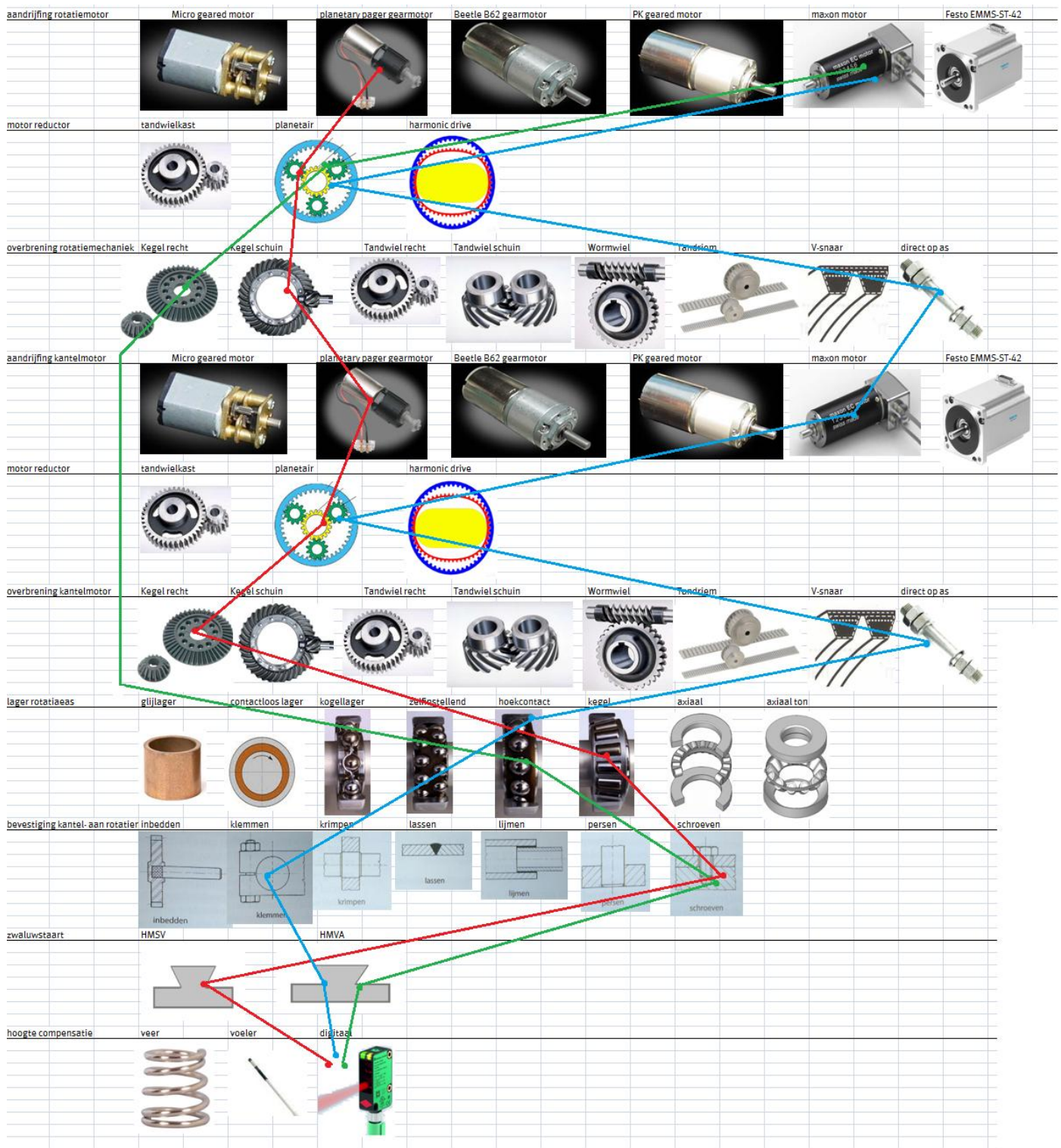
Figuur 58 (mechanische voeler)



Figuur 59 (digitale sensor)

X.1.7 Morfologisch keuze overzicht

In de voorgaande hoofdstukken is veel vooronderzoek gedaan. Uit dit onderzoek zijn een zevental basisprincipes gekomen. Hiervan bleek na enige afweging dat basisprincipe groen en oranje het best bij de eisen van de klant aansluiten. Om van een basisprincipe naar een goed concept te gaan zijn nog een aantal keuzes nodig. Het basisprincipe kan op veel verschillende manieren gerealiseerd worden. Echter is men slechts geïnteresseerd in de beste manier. Het basisprincipe is opgedeeld in meerdere functies, het beste onderdeel wordt per functie beoordeeld.



X.2 Concept motor direct (blauw)

Basisprincipe groen is verder uitgewerkt in concept groen-blauw. Hierin zijn de motoren direct aan de uit te voeren functie geschakeld.

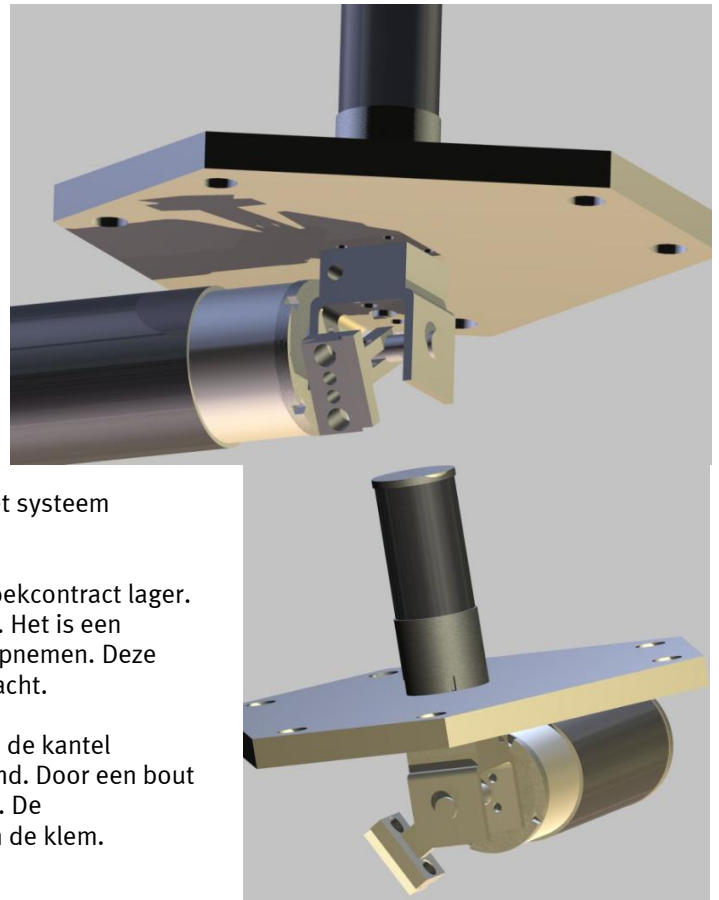
De gekozen motoren hebben een geïntegreerde reductor. Deze reductor is uitgevoerd met een planetair tandwielstelsel. Door de motoren direct aan de as te monteren blijft het systeem licht en compact.

De last en de mechaniek zitten direct aan de motoras gemonteerd. De grote krachten die ontstaan tijdens het accelereren worden door deze as opgenomen.

Voor het aandrijven van de systemen zijn Maxon motoren gekozen. Deze leveren in combinatie met een apart geleverde reductor voldoende koppel om het systeem rechtstreeks aan te drijven.

Het lager waaraan het systeem is opgehangen is een hoekcontract lager. Deze heeft de maat: d10 x D30 x b 9 en weegt 0.025 KG. Het is een enkelrijig lager dat krachten in één axiale richting kan opnemen. Deze richting zal in de zelfde richting liggen als de zwaartekracht.

De mechaniek bestaat uit een klemverbinding waarmee de kantel mechaniek aan de as van de rotatie motor wordt geklemd. Door een bout in de klem aan te draaien wordt de klem aangespannen. De kantelmechaniek zit middels een schroefverbinding aan de klem.



X.2.1 Concept motor direct (blauw)

Dit concept bestaat uit een motor die direct op de basisplaat van de Tripod gemonteerd zit. Aan de uitgaande as van deze motor zit een andere motor gemonteerd die zorgt voor de kantelende beweging van het polsgewricht. Samen zorgen deze motoren ervoor dat het polsgewricht alle over alle bewegingsvrijheden beschikt. Beide motoren zullen compact en licht zijn. Deze motoren leveren vaak een laag koppel. Daarom zal de motor uitgerust moeten worden met een reductor, ook wel gearbox genoemd. Met de reductor is het mogelijk om tegen een verlaging van het toerental een verhoogd koppel te leveren.

X.2.2 Krachtverloop in het systeem

Om de berekening goed overzichtelijk te houden wordt deze uitgevoerd in meerdere stappen. Dit is gedaan door een complexe situatie af te breken naar simpelere kleine systemen. Bij de eerste stap wordt er gekeken welke invloeden van buitenaf werkzaam zijn op het systeem.

X.2.2.1 Zwaartekracht

De kracht die altijd op aarde werkzaam zal zijn op het systeem komt voort uit de gravitatieversnelling. Voor het berekenen van de krachten die de zwaartekracht produceert is de gravitatieversnelling genomen op $9,81 \text{ m/s}^2$.

Het systeem wordt verdeeld in twee subsystemen. De rotatiemechaniek en de kantelmechaniek. Eerst zal de rotatiemechaniek uitgewerkt worden.

De kracht van de mechaniek en de last werken direct op de uitgaande as van de reductor. Dit is een axiale belasting. Voor het uitzoeken van het juiste systeem is het nodig precies te weten hoe hoog deze kracht is.

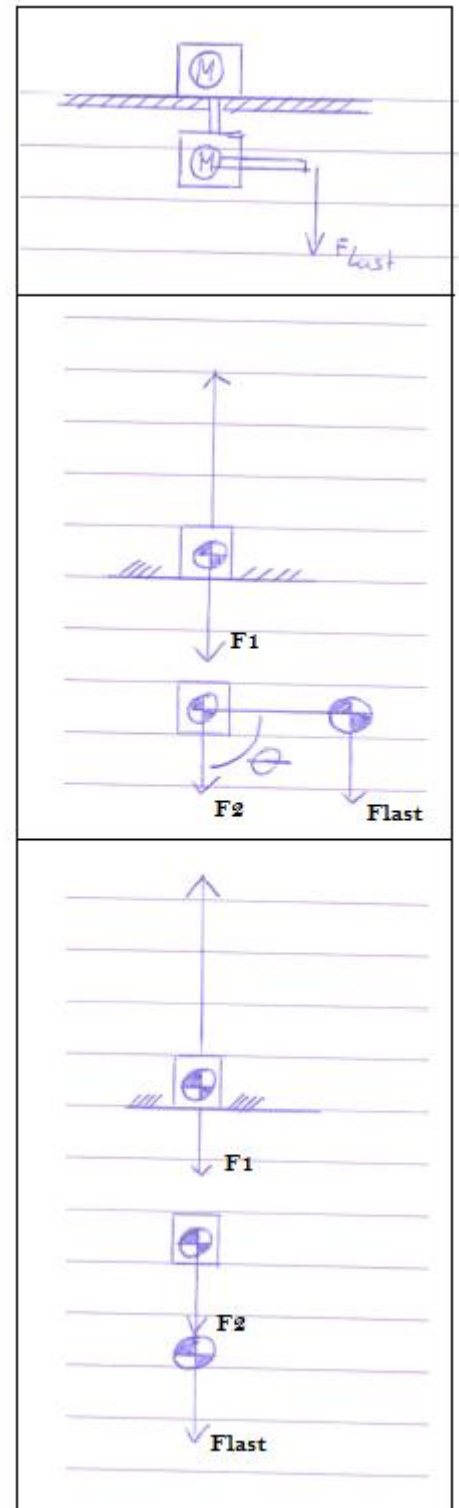
Uit de het marktonderzoek* is gebleken dat de grootste afzetmarkt ligt in het verplaatsen van producten van 100 gram tot 500 gram. Daarom wordt het systeem berekend voor deze gewichten.

Het systeem geeft bij de zwaartekracht een axiale belasting in het lager van de rotatiemotor van:

- 26.5 [N] bij een last van 0.5 [KG]
- 25.5 [N] bij een last van 0.4 [KG]
- 24.5 [N] bij een last van 0.3 [KG]
- 23.5 [N] bij een last van 0.2 [KG]
- 22.5 [N] bij een last van 0.1 [KG]

Hierbij is aangenomen dat het polsgewricht een gewicht heeft van 2.2 KG

**



Figuur 60 (VLS Concept groen)

* Marktonderzoek bijlage VI

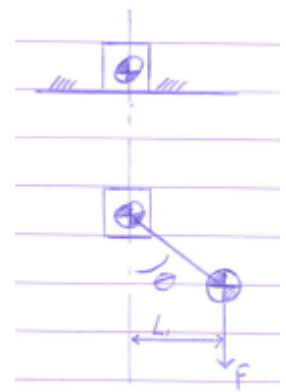
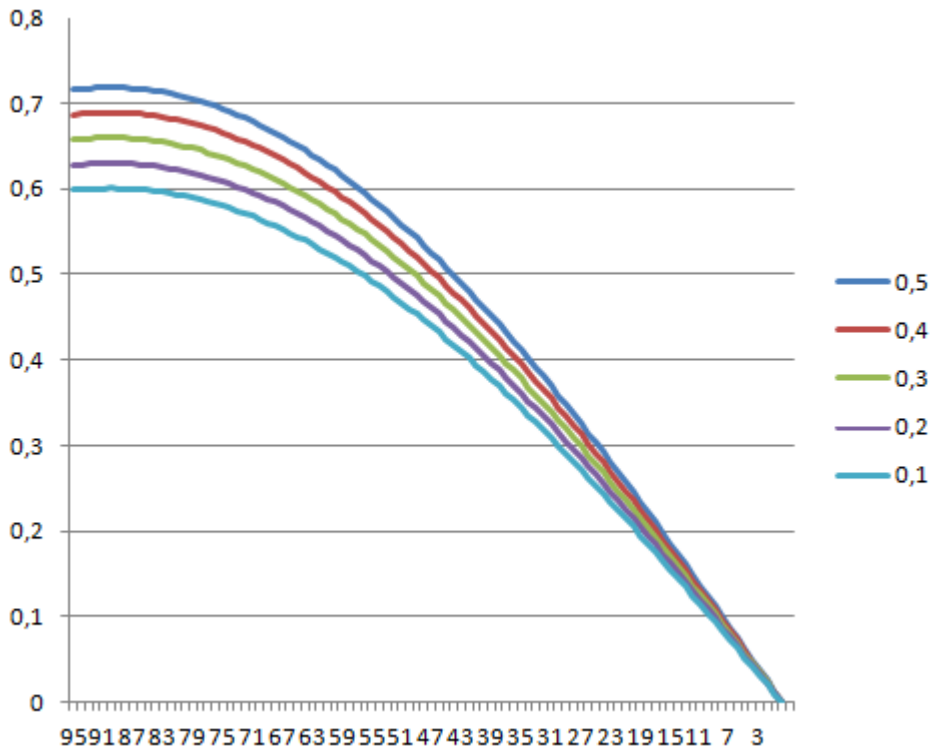
** conclusie bijlage motor direct X.2.7

De grootte van het moment op de kantelmotor is afhankelijk van de hoek θ . Deze hoek bepaald samen met de lengte van de gripper de lengte van de arm L1 zie Figuur 61. Het moment op de kantelmotor kan berekend worden met de volgende formule:

$$\Sigma M_{poelie} = 0$$

$$(m_{last} * G) * (L_{gripper} * \sin(\theta)) = 0$$

Dit resulteert in de volgende grafiek:



Figuur 61

In de verticale as staat het moment in newtonmeter dat werkt op de uitgaande as van de kantelmotor. In de horizontale as staat de hoek θ in graden. Bij een hoek van 90 graden is de arm L1 het grootst. Wanneer de arm naar 0 graden draait neemt het moment dat veroorzaakt wordt door de zwaartekracht af.

De reden dat de berekening is uitgevoerd met een hoek van 0 tot 95 graden en niet een hoek van 0 tot 190 graden is omdat de beweging aan beide kanten hetzelfde werkt. Er mag dus worden aangenomen dat het systeem aan beide kanten hetzelfde reageert.

Naast een moment levert de gravitatieversnelling ook een kracht. Deze kracht staat radiaal op de uitgaande as van de kantelmotor. Deze kracht wordt veroorzaakt door de massa van de last x de zwaartekracht. Dit levert de volgende kracht:

- 17.6 [N] bij een last van 0.5 [KG]
- 16.6 [N] bij een last van 0.4 [KG]
- 15.6 [N] bij een last van 0.3 [KG]
- 14.6 [N] bij een last van 0.2 [KG]
- 13.6 [N] bij een last van 0.1 [KG]

Hierbij is aangenomen dat de kantelmechaniek een gewicht heeft van 1.3 KG*

* conclusie bijlage motor direct X.2.7

X.2.3 Externe acceleratie in de Z-richting

De volgende stap is het berekenen van de krachten op het systeem die voort komen uit externe acceleratie. Aangezien het polsgewricht onder de basisplaat van de Tripod gemonteerd zit is het onderhevig aan de krachten die ontstaan bij de accelererende bewegingen die de Tripod maakt.

Bij het berekenen van rechtlijnige acceleraties wordt het systeem beschouwd als een aantal puntmassa's. Wanneer de basisplaat van de Tripod recht omhoog accelereert in de Z-richting ontstaan er krachten in het systeem. Deze krachten zijn het grootst wanneer de grijper in de 90 graden stand staat.

Wanneer de grijper in een hoek van 90 graden staat en de Tripod accelereert omhoog in de Z-richting zal de kantelmechaniek naar de 0 graden positie willen. Dit genereert een moment in de poelie. Dit moment wordt opgevangen door de kabels.

Deze kracht kan uitgerekend worden met de formule:

$$F = m * A$$

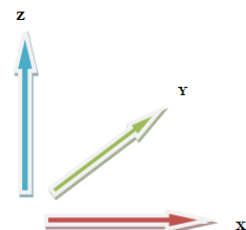
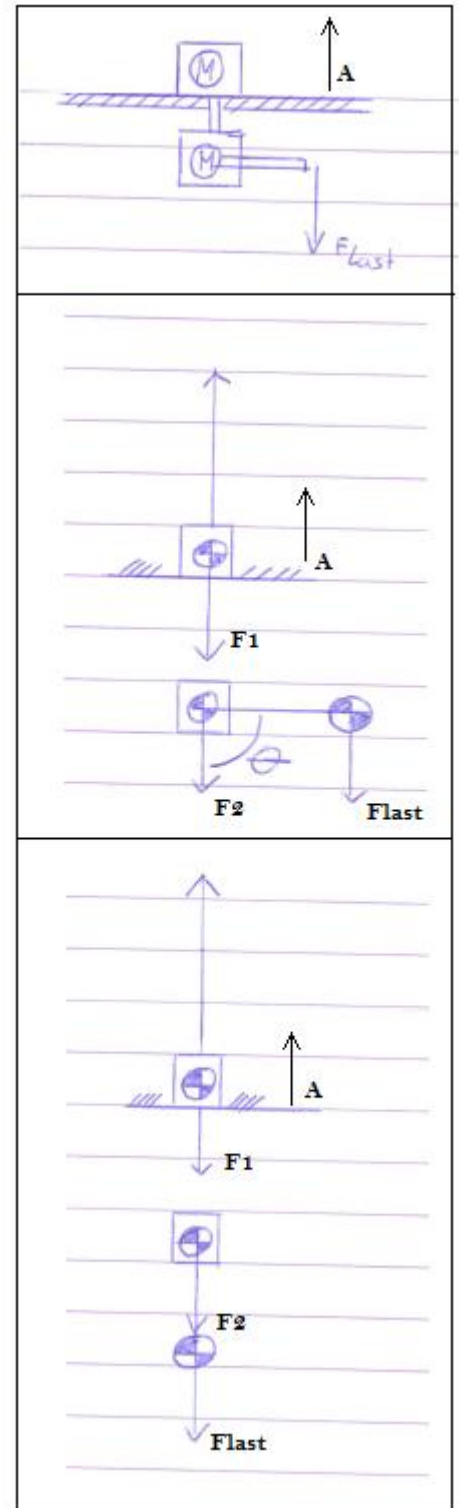
Hierbij staat de A voor acceleratie van de Tripod in de Z-richting. De acceleratie is afhankelijk van het gewicht dat de Tripod moet verplaatsen. Hoe lichter de last onder de Tripod hoe lager de massa traagheid van het systeem en dus hoe harder de Tripod kan accelereren. In de documentatie van de Tripod is te vinden dat de maximale acceleratie van de Tripod 100 m/s^2 is bij een belasting van 0.1 t/m 0.5 KG. Echter komt hier nog het gewicht van het polsgewricht bij. Dit betekent dat het gewicht met nog 2 kilo toeneemt. De maximum acceleratie van de Tripod is bij 2 t/m 3 KG maximaal 40 m/s^2

De axiale belasting van de rotatiemotor komt uit op:

- 112 [N] bij een last van 0.5 [KG]
- 108 [N] bij een last van 0.4 [KG]
- 104 [N] bij een last van 0.3 [KG]
- 100 [N] bij een last van 0.2 [KG]
- 96 [N] bij een last van 0.1 [KG]

Hierbij is aangenomen dat het polsgewricht een gewicht heeft van 2.2 KG

De excentrisch gemonteerde motor die de kantelmechaniek aandrijft zorgt ook voor een moment tijdens het accelereren in de Z-richting. De hoogte van dit moment wordt bepaald door de massa van de gekozen motor en de afstand tussen het zwaartepunt van de motor en het hart van de rotatieas waaraan de motor is opgehangen.

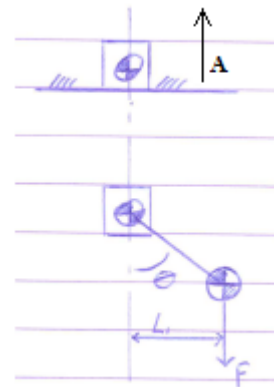
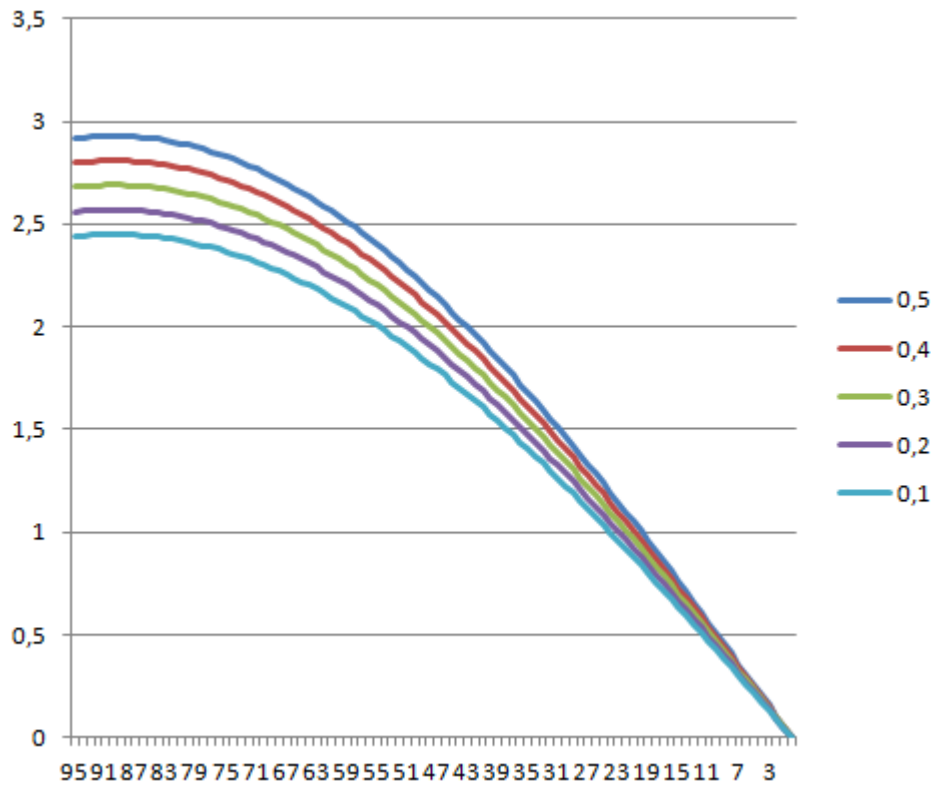


De grootte van het moment op de kantelmotor is afhankelijk van de hoek θ . Deze hoek bepaald samen met de lengte van de gripper de lengte van de arm L1 zie Figuur 61. Het moment op de kantelmotor kan berekend worden met de volgende formule:

$$\Sigma M_{poelie} = 0$$

$$(m_{last} * G) * (L_{gripper} * \sin(\theta)) = 0$$

Dit resulteert in de volgende grafiek:



In de horizontale as staat het moment in newtonmeter dat werkt op de uitgaande as van de kantelmotor. In de horizontale as staat de hoek θ in graden. Bij een hoek van 90 graden is de arm L1 het grootst. Wanneer de arm naar 0 graden draait neemt het moment dat veroorzaakt wordt door de acceleratie van de Tripod in de Z-richting af.

Naast een moment levert de Tripod ook een kracht. Deze kracht staat radiaal op de uitgaande as van de kantelmotor. Deze kracht wordt veroorzaakt door de massa van de last X de maximale acceleratie van de Tripod. Dit levert de volgende kracht:

- 52.5 [N] bij een last van 0.5 [KG]
- 45.5 [N] bij een last van 0.4 [KG]
- 38.5 [N] bij een last van 0.3 [KG]
- 31.5 [N] bij een last van 0.2 [KG]
- 24.5 [N] bij een last van 0.1 [KG]

Hierbij is aangenomen dat het polsgewricht een gewicht heeft van 1.3 KG

X.2.4 Externe acceleratie in de X- en Y-richting

De Tripod accelereert niet alleen in de Z-richting maar doet dit ook in de X en Y richting. Hiervoor dient ook de kracht uitgerekend te worden. Aangezien de X en de Y-richting allebei in hetzelfde platte vlak liggen is het niet nodig om beide apart uit te rekenen. De antwoorden voor de X-richting gelden ook voor de Y-richting.

Tijdens het accelereren in de X-richting zal er een moment ontstaan in de rotatiemotor. Bij het uitzoeken van de rotatiemotor is het noodzakelijk om de krachten in het systeem te kennen.

De acceleratie van de Tripod is in de Z en X richting het zelfde. Deze is bij een belasting tussen de 2 en 3 KG 40 m/s²

De massa's zijn als volgt:

Onderdeel	Massa [KG]
Rotatiemotor	0.850
Rotatielager	0.125
Rotatiemechaniek	0.055
Kantelmotor	0.850
Kantelmechaniek	0.032
Zwaluwstaart	0.029
Grijper	0.4
Last	0.5
totaal	2.841

Lengte grijper: 0.03 mm

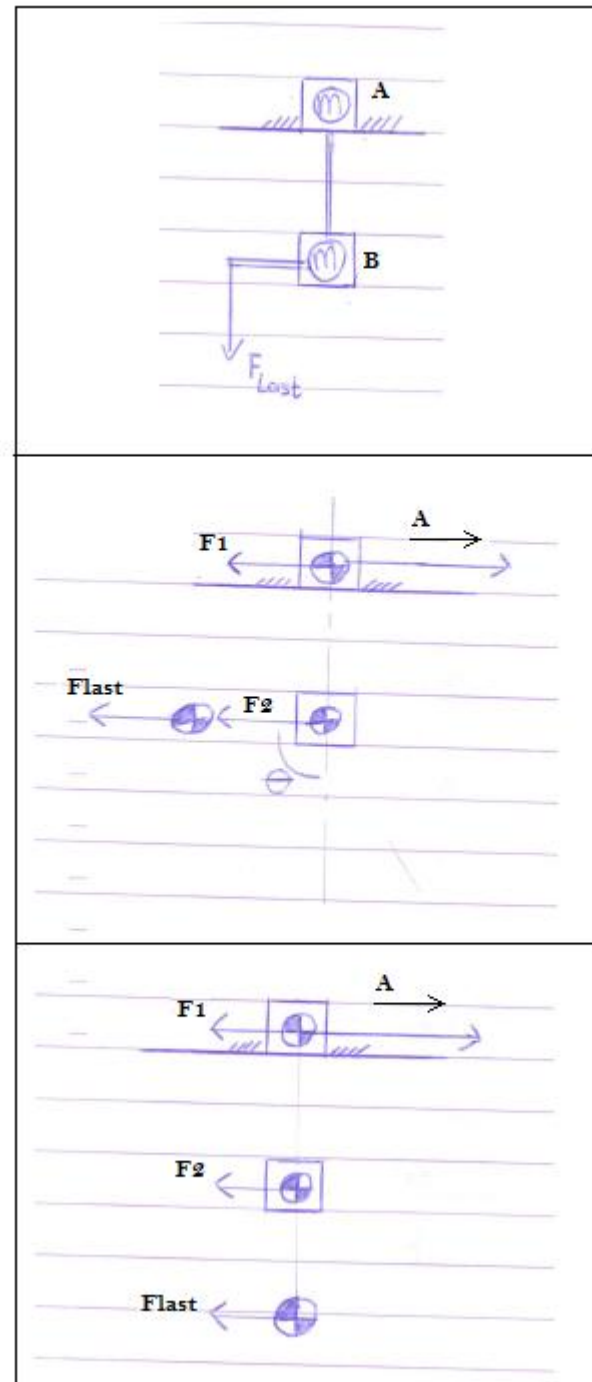
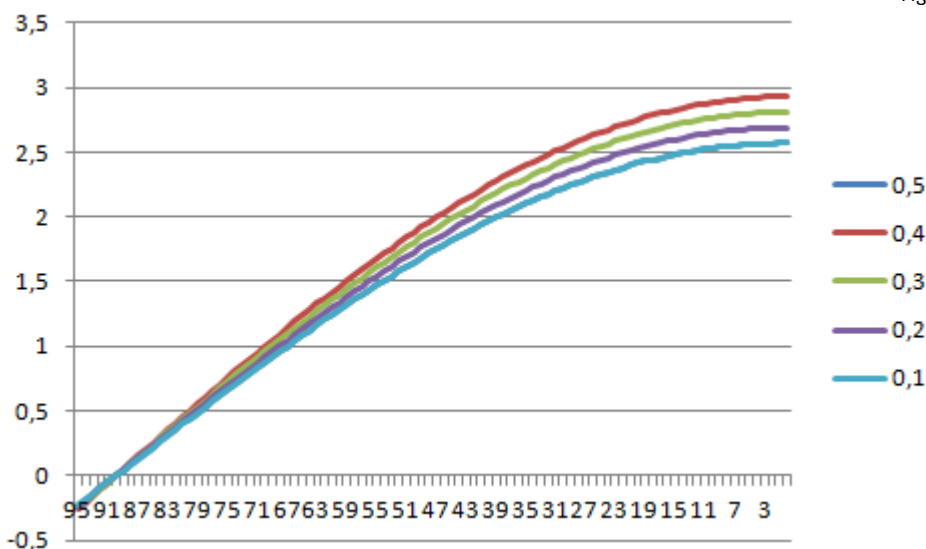
Met de formule $F=m \cdot A$ kunnen de krachten F1, F2 en Flast uitgerekend worden.

Nu zal het met deze gegevens het moment op de kantelas berekend worden. Dit moment zal het kleinst zijn wanneer de grijper in de 90 graden stand staat en haaks op de acceleratie richting van de de Tripod mee beweegt.

In onderstaande grafiek kan precies het moment worden uitgelezen dat wordt opgewekt t.g.v. de acceleratie van de Tripod in de X-richting. Dit is berekend met de volgende formule:

$$\sum \tilde{M}_B = 0$$

$$(F_{last} * (\sin(\theta) * L_{gripper})) = 0$$

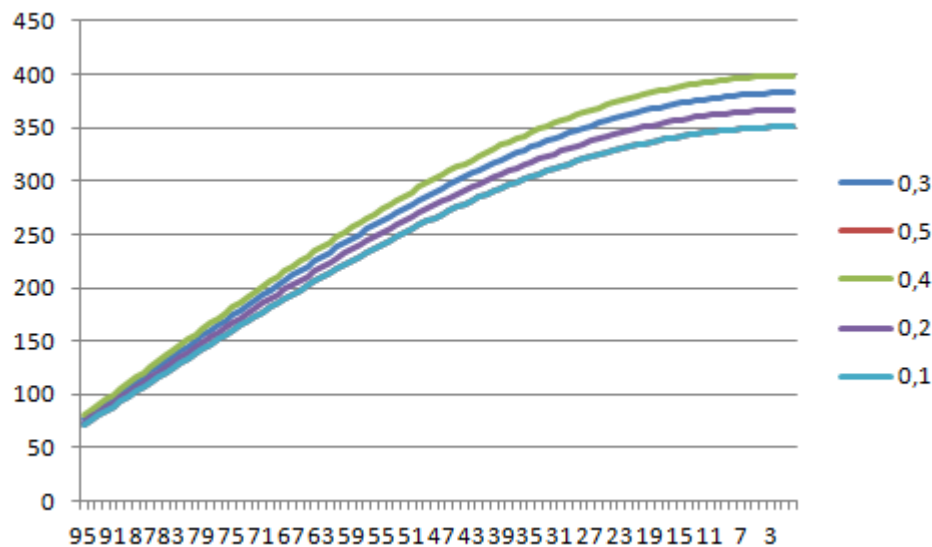


Figuur 62 (VLS)

Wanneer de kantelmotor zijn positie vast houdt zal er een reactiekracht ontstaan op het punt waar de kantelmechaniek aangrijpt op de rotatiemechaniek. Deze reactiekracht is afhankelijk van de afstand tussen de last en het punt waar het moment opgenomen wordt. Het moment op de rotatieas kan in de positie van Figuur 62 (VLS) berekend worden met de volgende formule:

$$\Sigma \hat{M}_A = 0$$

$$(F_{last} * ((\sin(\theta) * L_{gripper}) + L_{motoras})) + (F_2 * L_{motoras}) = 0$$



Bovenstaande grafiek geeft het verloop van de reactiekracht in de rotatiemechaniek weer. De hoogte van de reactiekracht is afhankelijk van de hoek waarin de kantelmechaniek staat. Deze hoek bepaald de afstand tussen de last en de afstand tot de bewegingsvector.

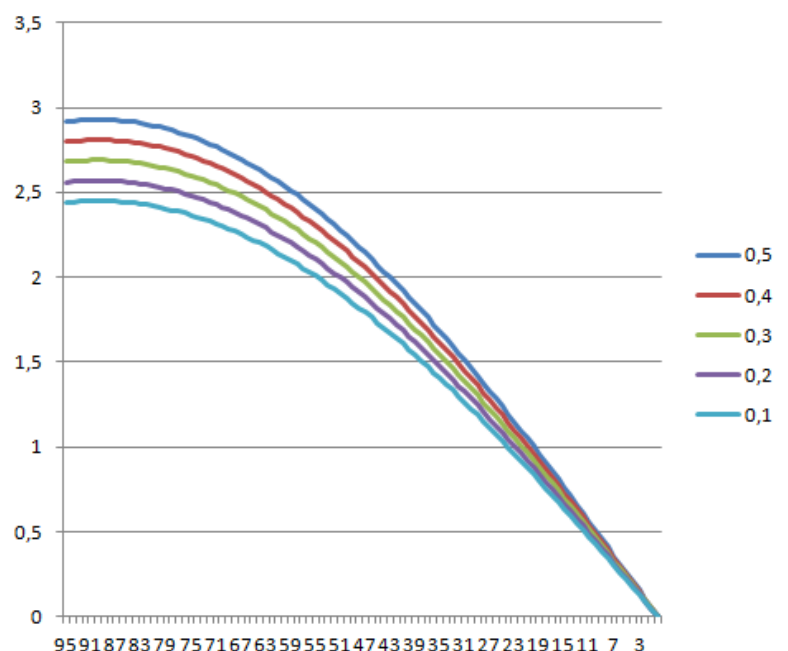
Wanneer de gripper in de 0 graden positie staat is de arm tussen de last en de bewegingsvector het langst. Zodra de Tripod met maximale acceleratie in de X richting verplaatst ontstaat er dan ook het grootste moment op de rotatie motor. Dit moment kan niet opgenomen worden door de as om dat het niet in de draairichting van de as ligt. Daarom zal het moment door de lagering van de as opgevangen moeten worden. Bij het uitzoeken van de aandrijving is het zeer belangrijk te weten of de aandrijving hiertegen bestand is.

Door de beweging in de X-richting ontstaat er ook een moment in de rotatiemechaniek. Dit moment is het grootst wanneer er de arm van de kantelmechaniek haaks op de bewegingsrichting staat. Deze stand wordt de 90 graden positie genoemd. Wanneer de gripper in de 0 graden stand staat, bevindt de arm met de last zich in de zelfde richting als de bewegingsrichting van de Tripod.

De formule voor het bereken van dit moment luidt:

$$\Sigma \hat{M}_A = 0$$

$$(F_{last} * (\sin(\theta) * L_{gripper})) = 0$$



X.2.5 Hoekversnelling kantelmechaniek

Nu de externe krachten op het systeem duidelijk in kaart zijn gebracht kan de volgende stap gemaakt worden. Hierbij wordt er gekeken naar de actiekrachten die intern ontstaan. Dit kan verdeelt worden in twee berekeningen. Bij beide berekeningen worden de krachten voortgebracht uit acceleraties. De eerste berekening zal zijn van de acceleratie die de kantelmechaniek maakt. De tweede berekening zal de acceleratie van de rotatiemechaniek behandelen.

Om de interne kracht te berekenen die op de kantelmechaniek werkt is het belangrijk om te weten wat de massa's zijn en wat de versnelling is. De massa's zijn hetzelfde als in het vorige hoofdstuk. Aangezien de kantelmechaniek om een as versnelt is er sprake van een hoekversnelling.

Het moment in de motor kan worden berekend met: $T = I * \alpha$

Waarin: I = samengestelde massatraagheid van het systeem [KG/m²]

α = hoekversnelling [rad/s²]

T = Moment [Nm]

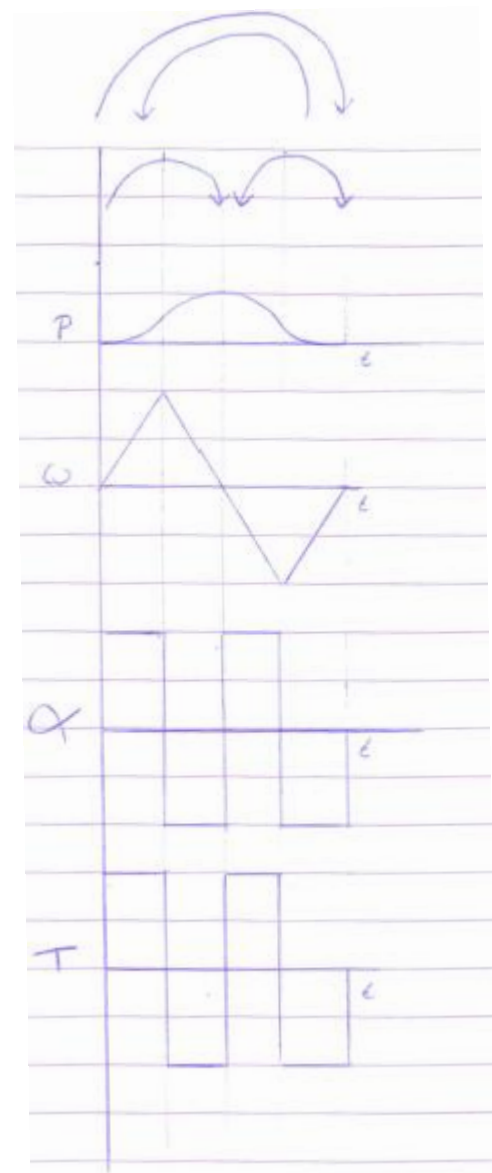
Eerst zal de massatraagheid van het systeem berekend worden hierbij wordt de last als puntlast gezien en de grijper als rechthoekig vlak. Deze kunnen berekend worden met de volgende formules:

$$I_{last} = (m * r^2) - I_{gripper}$$

$$I_{gripper} = \frac{1}{12} m * l^2$$

$$I_{netto} = I_{last} + I_{gripper}$$

Vervolgens wordt de hoekversnelling uitgerekend. Hiervoor wordt het snelheidsprofiel uit Figuur 63 (bewegingsprofiel) toegepast. De werking van het profiel en de bij behorende formules zijn reeds behandeld in hoofdstuk VII.2.4 van de bijlage.



Figuur 63 (bewegingsprofiel)

Het invullen van de formules levert op de kantelmotor:

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG/m ²]	Hoekversnelling [rad/s ²]	Koppel op kantelas [Nm]
0.5	0,000481	113,0973	0,054343
0.4	0,000384	115,6246	0,044446
0.3	0,000288	118,1797	0,034071
0.2	0,000192	123,3738	0,023712
0.1	9,61E-05	128,6796	0,012366

X.2.6 Hoekversnelling rotatiemotor

Het dezelfde formules kunnen gebruikt worden voor het doorrekenen van de rotatiemotor. Het enigste wat anders is, is dat de kantelmotor meegenomen moet worden in de massatraagheid. De formule hiervoor luidt:

$$I_{last} = (m * r^2) - (I_{gripper} + I_{kantelmotor})$$

$$I_{gripper} = \left(\frac{1}{12}m * l^2\right) - I_{kantelmotor}$$

$$I_{kantelmotor} = m * r^2$$

$$I_{netto} = I_{last} + I_{gripper} + I_{kantelmotor}$$

Het invullen van de formules levert op de rotatiemotor:

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG/m^2]	Hoekversnelling [rad/s^2]	Koppel op rotatieas [Nm]
0.5	0,0005005	113,0973	0,067726
0.4	0,0004044	115,6246	0,058128
0.3	0,0003083	118,1797	0,048056
0.2	0,0002122	123,3738	0,038312
0.1	0,0001161	128,6796	0,027593

X.2.7 Conclusie berekening concept motor direct (blauw)

Nu alle krachten en momenten in het systeem bekend zijn mogen deze bij elkaar opgeteld worden. Het zal immers bijna altijd voorkomen dat de Tripod en het polsgewricht tegelijkertijd bewegen. Ook zal de zwaartekracht altijd aanwezig zijn, vandaar dat voorgaande situaties bij elkaar opgeteld mogen worden.

Kantelmotor

- max axiale belasting: 0 [N]
- max radiale belasting: 70 [N]
- max koppel: 6.65 [Nm]

Rotatiemotor

- max axiale belasting: 140 [N]
- max radiale belasting: 400 [N]
- max koppel: 3 [Nm]

Mogelijk aantal picks per minuut: (afhankelijk van gewicht)

Last [KG] *	Picks per minuut
3.0	90
2.9	91
2.8	92
2.7	94
2.6	96

*polsmechaniek + te verplaatsen product

Onderdeel	Massa [KG]
Rotatiemotor	1.230
Rotatielager	0.125
Rotatiemechaniek	0.055
Kantelmotor	1.710
Kantelmechaniek	0.032
Zwaluwstaart	0.029
Grijper	0.4
Last	0.5
totaal	2.971

Voordelen van systeem	Knelpunten
Actuele positie van de last meetbaar	Hoge belasting op de motoras
	Kantelmotor in werkgebied van de Tripod
	Geen doorvoer mogelijkheid van bekabeling grijper door centrale as.

Functie	Uitvoerbaar
Roteerfunctie	360 graden
Kantelfunctie	190 graden
modulair	Ja

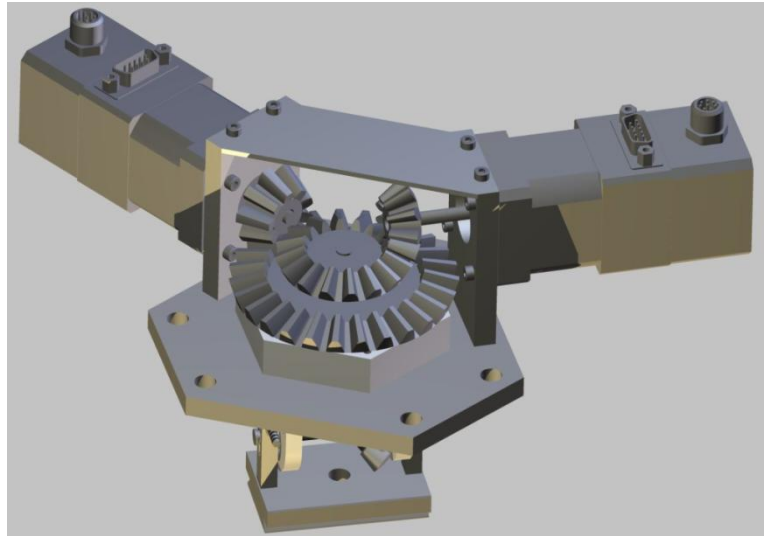
Kantel aandrijving	Specificaties
Motor Merk: Maxon	Maxon 3580356 48V DC 4900 rpm Max axiaal belasting: 30N Max radial belasting: 115N Max koppel: 0.7 Nm Gewicht: 1100 gram
Gearhead	Planetary gearhead 223086 Overbrenging: 21:1 Max axiaal belasting: 200N Max radial belasting: 700N Max koppel: 15 Nm Gewicht: 600 gram
Sensor	Encoder 386053 Gewicht: 10 gram
Totaal	1710 gram 785 euro

Rotatie aandrijving	Specificaties
Motor Merk: Maxon	Maxon EC 90 flat 36V DC 3120 rpm Max axiaal belasting: 12N Max radial belasting: 180N Max koppel: 0.5 Nm Gewicht: 600 gram
Gearhead	Planetary gearhead GP 52C Overbrenging: 19:1 Max axiaal belasting: 200N Max radial belasting: 700N Max koppel: 15 Nm Gewicht: 600 gram
Sensor	Encoder 386053 Gewicht: 10 gram
Totaal	1230 gram 560 euro

X.3 Concept dubbele as (rood)

De rotatiemotor drijft het gewricht aan met een tandwiel overbrenging. Door de overbrenging is het mogelijk om een lichtere, compactere motor uit te kiezen.

De motoren worden horizontaal aan de basisplaat bevestigd. Dit zorgt ervoor de motoren het werkgebied van de Tripod niet verkleinen. De armen van de Tripod komen samen in het midden van de Tripod constructie. Wanneer de motoren rechtop zouden staan ontstaat het gevaar dat de motoren van de pols tegen de armen van de Tripod aangedrukt worden. Middels een haakse overbrenging is het mogelijk om de pols aan te drijven met een optimaal gebruik van het werkgebied van het systeem.



De as van de kantelmotor loopt door de holle rotatie as. Het zijn dus twee assen in één, die onafhankelijk van elkaar kunnen roteren. Hierbij is het belangrijk dat het systeem goed gelagerd is. Er mag geen speling in het systeem zijn.

Onder aan de holle rotatieas komt de aandrijfas van de kantelmechaniek te voorschijn. Aan de kantelas zit een conisch tandwiel gemonteerd. Deze brengt de roterende beweging over naar de kantel as.

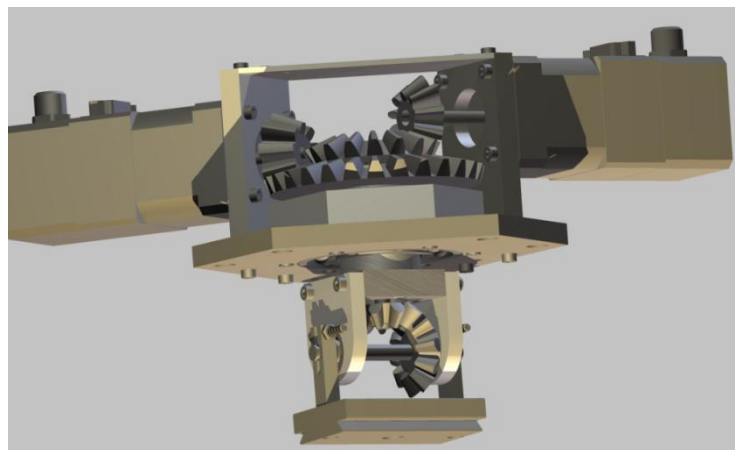
Beide motoren boven de basisplaat zorgen voor een groter werkgebied. Ze zijn horizontaal geplaatst om botsingsgevaar met de ophanging van de Tripod te vermijden.

Door gebruik te maken van de holle rotatieas is het mogelijk om grote krachten op te vangen zonder de aandrijfmotor daarmee te belasten. De as en het lager waaraan deze als aan de basisplaat van de Tripod gemonteerd is vangen de krachten op i.p.v. dat de motor.

De motor voor de rotatiemechaniek is een zeer lichte motor voorzien van planetair stelsel. Deze drijft twee tandwielen aan die de pols laten roteren.

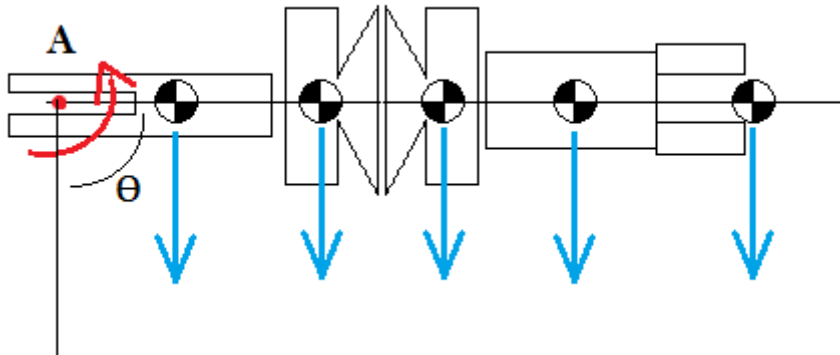
De rotatie as wordt gelagerd door een tweerijig hoekcontactlager. Dit lager kan radiale en axiale krachten opnemen in alle richtingen. Tegen een hoger gewicht dan een enkelrijig lager is de pols nu ook bestand tegen de krachten die ontstaan t.g.v. het accelereren van de Tripod naar beneden in de Z-richting.

De kantel motor wordt bekrachtigd door een lichte elektromotor met planetaire reductor. Deze drijft met een verlengde as de conische tandwielen van de kantelmechaniek aan.



X.3.1 Berekening concept dubbele as (rood)

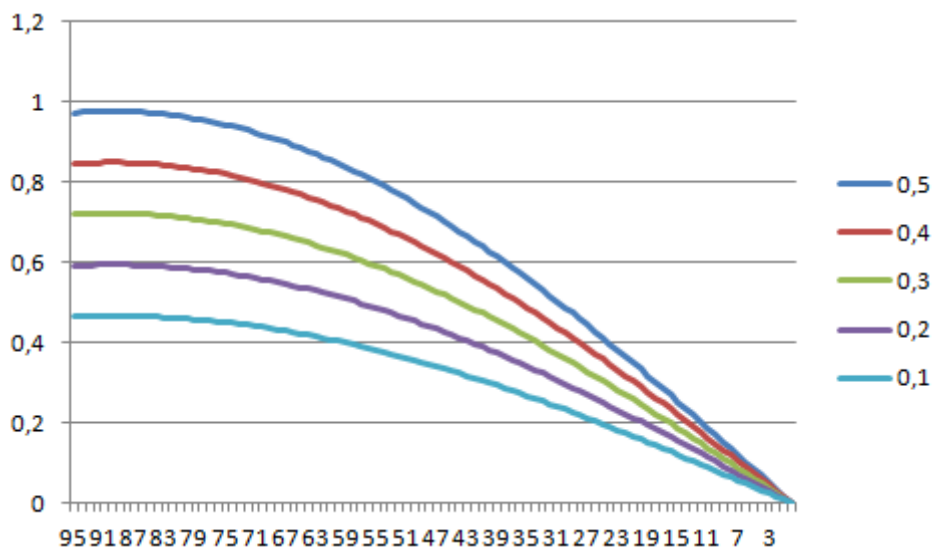
Ook dit concept zal volledig doorgerekend worden. Dit geeft een accurate samenstelling van de motoren en assen. De gebruikte methode hiervoor is het zelfde als in concept motor direct (blauw). Daarom worden nu slechts de resultaten van de berekening weergegeven.



Figuur 64

Door de accurate schetsen in Inventor zijn de lengtes en massa's van de onderdelen bekend. Een sterk vereenvoudigde versie wordt in Figuur 64 weergegeven. Nu het gewicht onder de Tripod bekend zijn kan de maximale acceleratie van het systeem gevonden worden in de documentatie van de Tripod. Nu kan het krachterspel in het systeem weer stapsgewijs worden opgelost.

X.3.1.1 Zwaartekracht

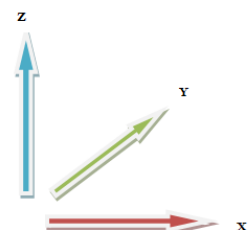


Figuur 65

Figuur 65 laat de kracht op de kantelas zien die nodig is om de zwaartekracht te overwinnen. Hierin staat in de verticale as het moment in newtonmeter en in de horizontale as de hoekverdraaiing in graden.

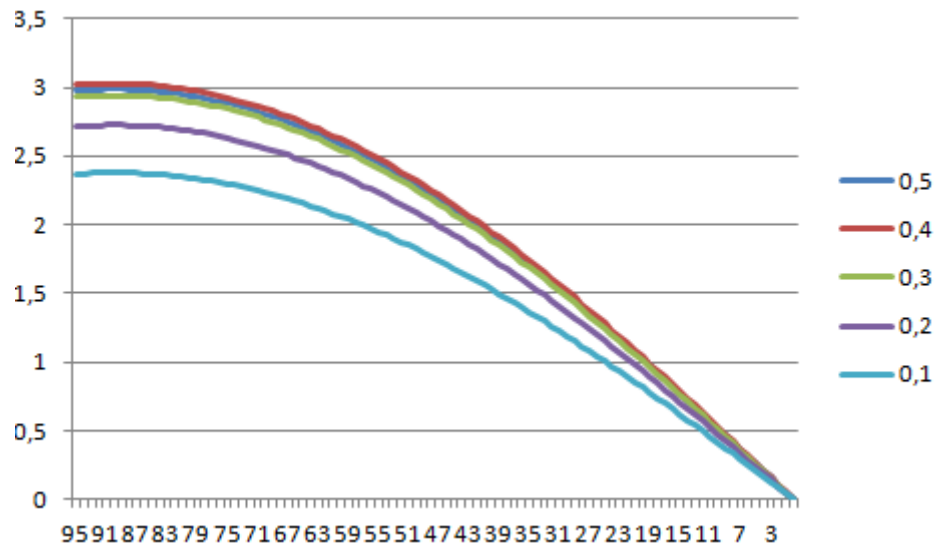
De zwaartekracht zorgt ook voor een axiale kracht in het lager waaraan de pols is opgehangen. Deze kracht is:

Last [KG]	Axiaal kracht op het lager [N]
0,5	13,19445
0,4	12,21345
0,3	11,23245
0,2	10,25145
0,1	9,27045



X.3.1.2 Beweging Tripod in Z-richting

Wanneer de Tripod in de Z-richting accelereert ontstaat er een moment in de kantelmechaniek. Om de mechaniek in de juiste positie te houden bij het accelereren dient de motor een moment te leveren. Dit moment wordt weergegeven in Figuur 66. In de verticale as staat het moment op de kantelas. In de horizontale as staat de hoekverdraaiing in graden.



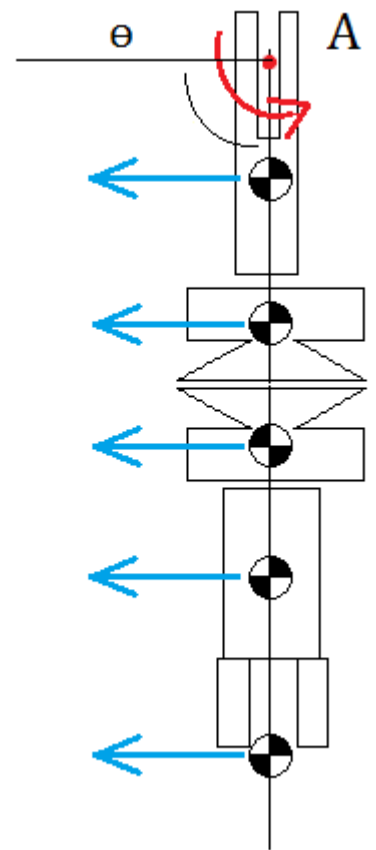
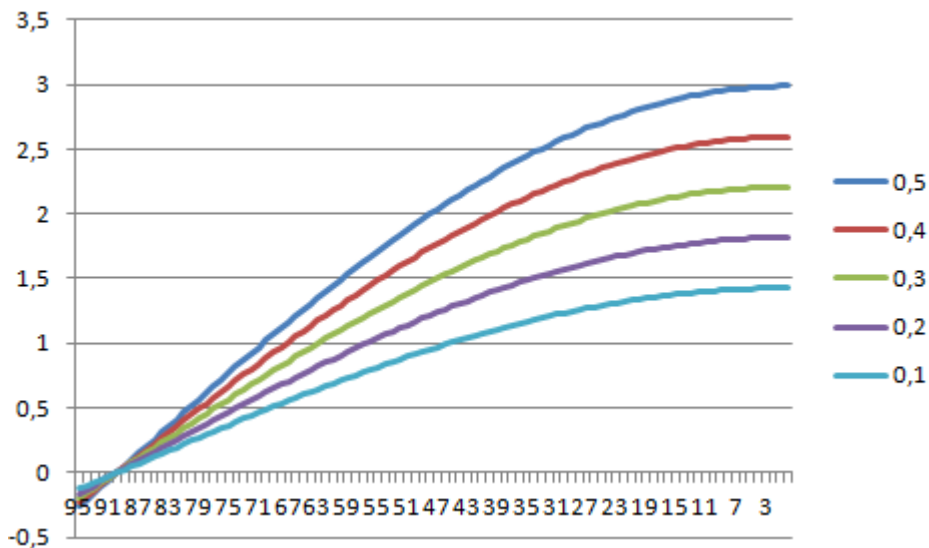
Figuur 66

De acceleratie van de Tripod in de Z-richting veroorzaakt ook een axiale kracht die opgevangen zal worden door het lager waaraan het polsgewricht is opgehangen. Deze kracht wordt weergegeven in onderstaande tabel:

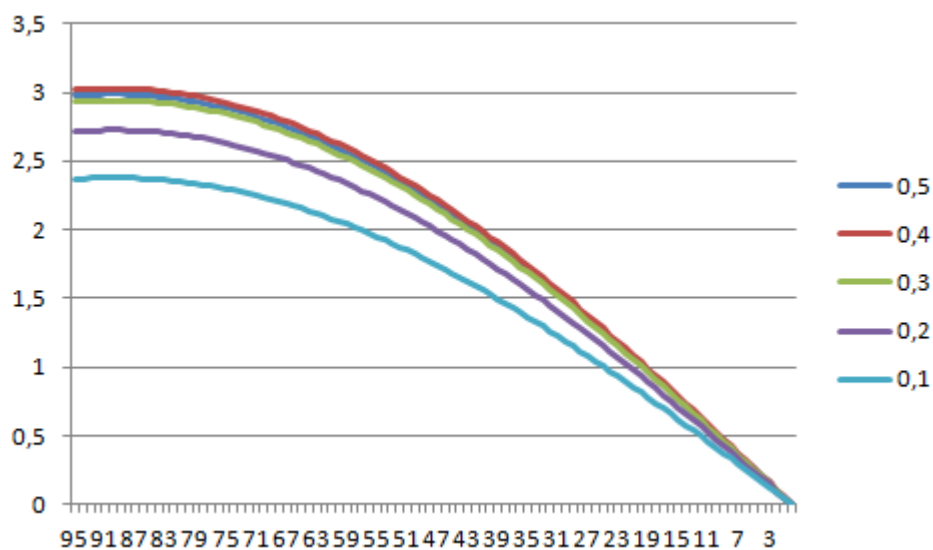
Last [KG]	Axiale kracht op het rotatielager [N]
0,5	40,35
0,4	43,575
0,3	45,8
0,2	47,025
0,1	47,25

X.3.1.3 Beweging Tripod in X-richting

Het accelereren van de Tripod in de X-richting levert een moment in de kantelmechaniek. De kantelmotor zal dit moment moeten leveren om het systeem star te kunnen bewegen. Onderstaande grafiek geeft het moment dat nodig is op de kantelas. In de horizontale as staat de hoekverdraaiing van de grijper in graden

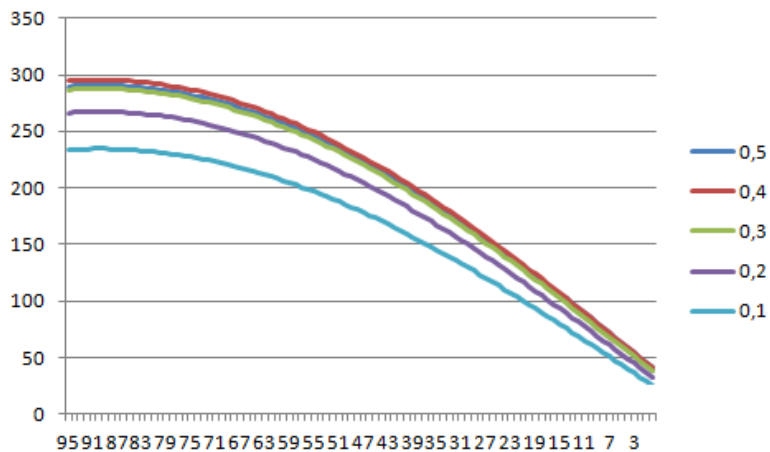


Het zelfde gebeurt in de rotatie mechaniek. Ook hier ontstaat een moment t.g.v. de acceleratie van de Tripod. De stand waarin het opgewekte moment in de rotatiemechaniek het grootst is vindt plaats bij een andere hoekverdraaiing dan de kantelmechaniek. Onderstaande tabel geeft een weergave van het moment.

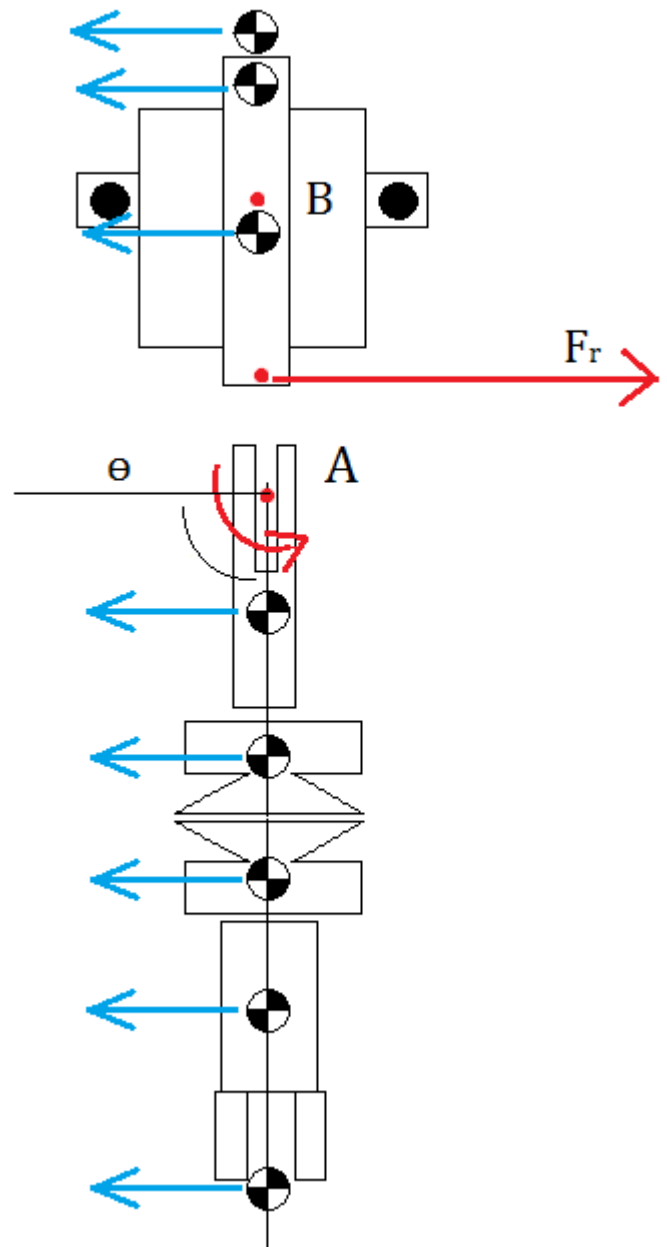


Het accelereren van de Tripod in de X-richting geeft ook een reactie kracht in de mechaniek. Deze reactie kracht wordt met F_r aangeduid in Figuur 67. De kracht F_r zal worden opgevangen door het lager waaraan de pols hangt.

De kracht F_r is een radiale kracht die werkt op het lager. De grafiek in Figuur 68 geeft in de verticale as de radiaal kracht in het lager in Newton. Horizontaal staat de hoekverdraaiing in graden.



Figuur 68



Figuur 67

X.3.1.4 Rotatie polsgewricht

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG*m ²]	Hoekversnelling [rad/s ²]	Moment op de rotatieas [Nm]
0.5	0,067681147	126,0128	8,528689
0.4	0,054681147	128,6796	7,03635
0.3	0,041681147	131,3744	5,475837
0.2	0,028681147	134,0971	3,84606
0.1	0,015681147	136,8478	2,14593

X.3.1.5 Kanteling polsgewricht

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG*m ²]	Hoekversnelling [rad/s ²]	Moment op de rotatieas [Nm]
0.5	0,067679319	126,0128	8,528459
0.4	0,054679319	128,6796	7,036115
0.3	0,041679319	131,3744	5,475597
0.2	0,028679319	134,0971	3,845815
0.1	0,015679319	136,8478	2,14568

X.3.2 Conclusie concept dubbelas (rood)

Maximaal gevraagd koppel kantelmotor: 14.9 [Nm]

Maximaal gevraagd koppel rotatie motor: 11 [Nm]

Maximale axiale belasting rotatielager: 60 [N]

Maximale radiale belasting rotatielager: 300[N]

Mogelijk aantal picks per minuut: (afhankelijk van gewicht)

Last [KG] *	Picks per minuut
2,5	95
2,4	96
2,3	97
2,1	98
2	99

*polsmechaniek + te verplaatsen product

Voordelen van systeem	Knelpunten
Zeer robuust systeem	Zeer zwaar systeem.
Positie van de last meetbaar	Relatief duur systeem
Zeer compact systeem	Geen doorvoer mogelijkheid van bekabeling gripper door centrale as.

Onderdeel	Massa [KG]
last	0,5
gripper	0,4
Zwaluwstaart 2x	0,027
kantel arm 2x	0,001
kantelas	0,002
kantellager 2x	0,008
kantelhuis	0,009
rotatie lager 19 2x	0,008
rotatie lager 30	0,267
rotatie as 6	0,002
rotatieas 30	0,016
kantel overbrenging	0,108
rotatie overbrenging	0,22
kantelmotor	0,045
rotatiemotor	0,045
totaal	1.702

Functie	Uitvoerbaar
Roteerfunctie	Oneindig
Kantelfunctie	190 graden
modulair	Ja

rotatie aandrijving	Specificaties
Motor Merk: Faulhaber	Series 1224 SR 12000 rpm Max koppel 5.31 mNm Gewicht: 13 g Diameter: 8mm Lengte: 25mm
Gearhead	Planetary gearhead Overbrengingsverhouding: 256:1 Max axiaal belasting: 3 N Max radiaal belasting 4N Max koppel 0.3 Nm Gewicht 21 gram
Sensor	Encoder 10 g
Totaal	44 gram - euro

X.4 Concept differentieel (groen)

Dit concept is uniek omdat twee functies aan worden gestuurd met slechts één motor. Voor inspiratie is er voor dit systeem gekeken naar het differentieel van een auto.

De aandrijfmotor van de pols is weer horizontaal geplaatst om het botsgevaar met de Tripod armen te vermijden en het werkgebied optimaal te benutten.

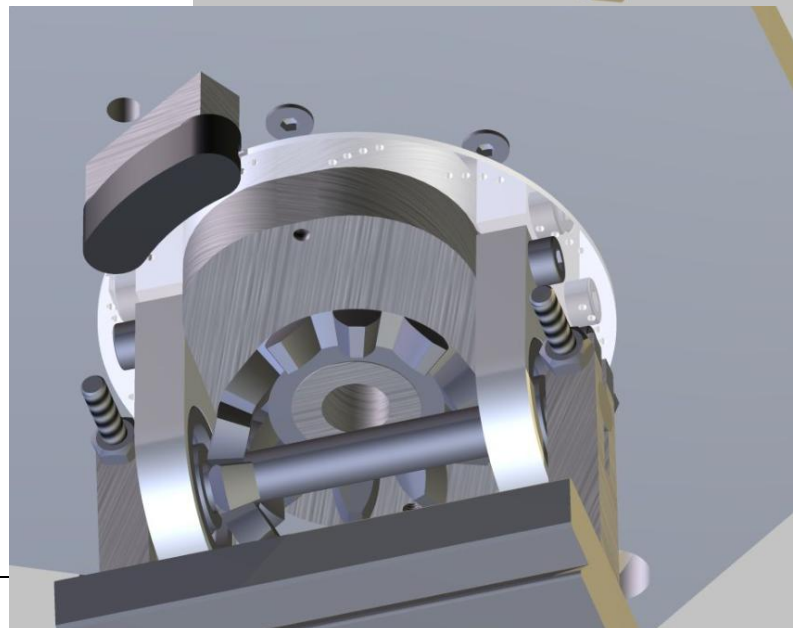
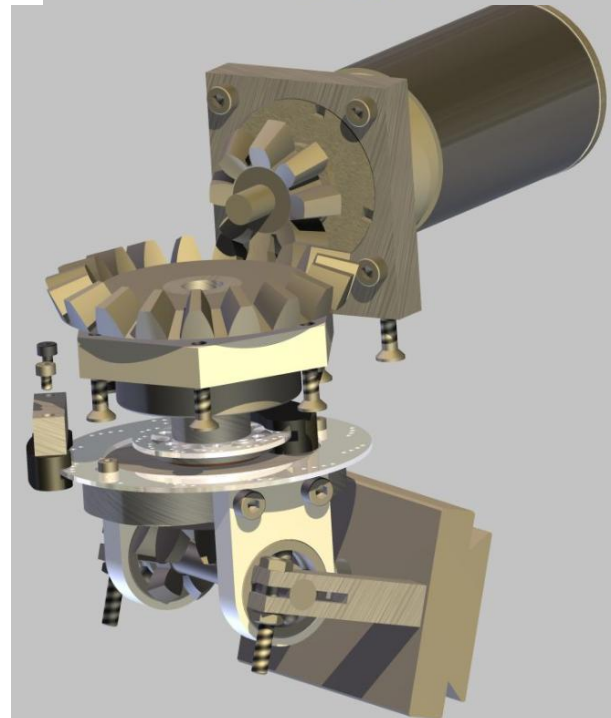
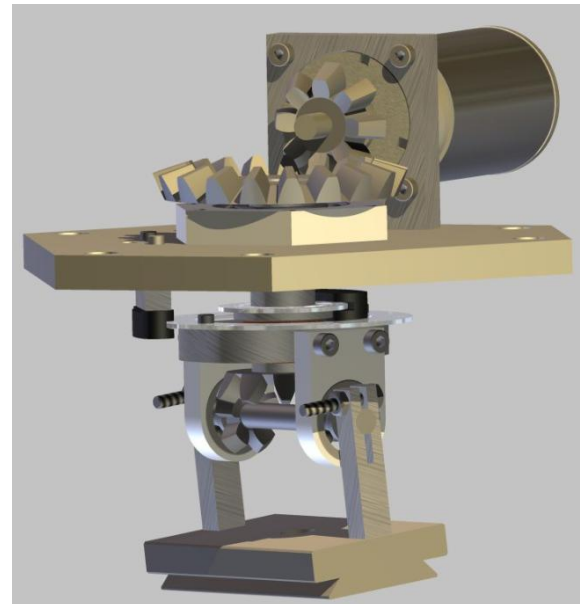
Het concept gebruikt conische tandwielen die zijn opgehangen in een huis. Dit huis beschikt ook over de mogelijkheid om te roteren. Hierbij heeft het tandwielhuis een functie en de tandwielen hebben een functie.

Een lichte elektromotor met reductor drijft middels een haakse overbrenging de rotatieas aan. Aan deze rotatie as zit de differentieel mechaniek. Deze mechaniek werkt als volgt.

Het differentieel bestaat uit twee onderdelen. Het huis en de tandwielen. Wanneer het huis wordt aangedreven roteert het gewricht. Wanneer de tandwielen worden aangedreven kantelt de mechaniek.

Door middel van een remschijf met een elektrische actuator wordt er een functie van het differentieel vast gezet. Door het huis vast te zetten is het mogelijk om de tandwielen aan te drijven. En door de tandwielen vast te zetten is het mogelijk om het huis te laten roteren.

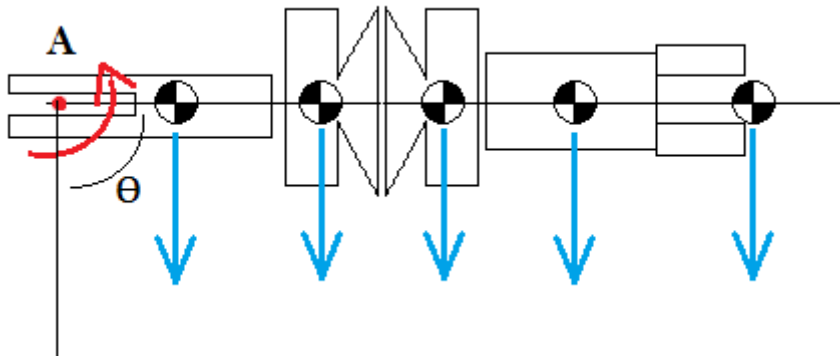
Twee remsystemen zijn lichter dan een aandrijfmotor. Ook is de aanschafprijs veel voordeliger, mede doordat de remsystemen zeer eenvoudig zijn aan te sturen.



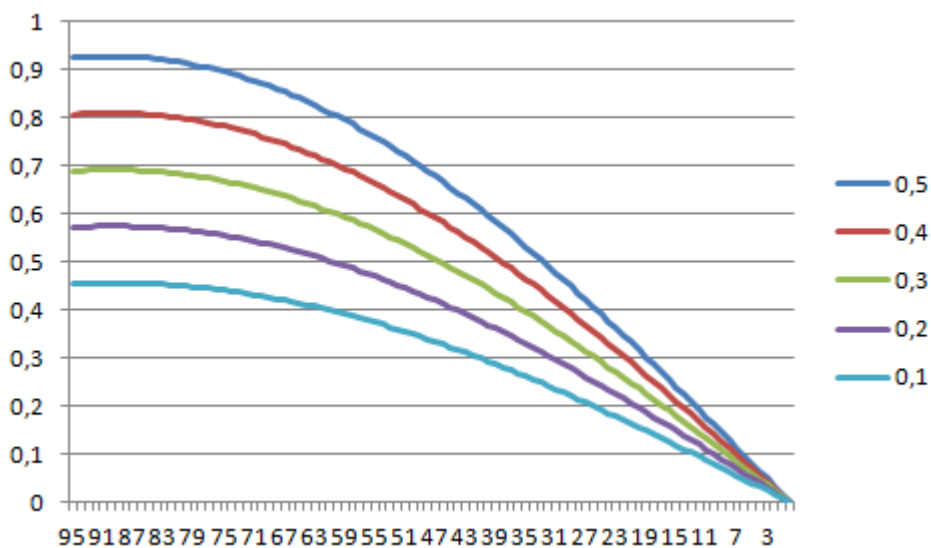
X.4.1 Berekening differentieel (groen)

X.4.1.1 zwaartekracht

Effect van de zwaartekracht op de kantelmechaniek. Hierbij wordt onderstaande vls gebruikt. Er wordt uitgegaan van een lineaire acceleratie op een aantal puntmassa's.

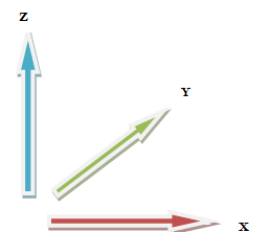


Onderstaande grafiek laat de kracht op de kantelas zien die nodig is om de zwaartekracht te overwinnen. Hierin staat in de verticale as het moment in newtonmeter en in de horizontale as de hoekverdraaiing in graden.



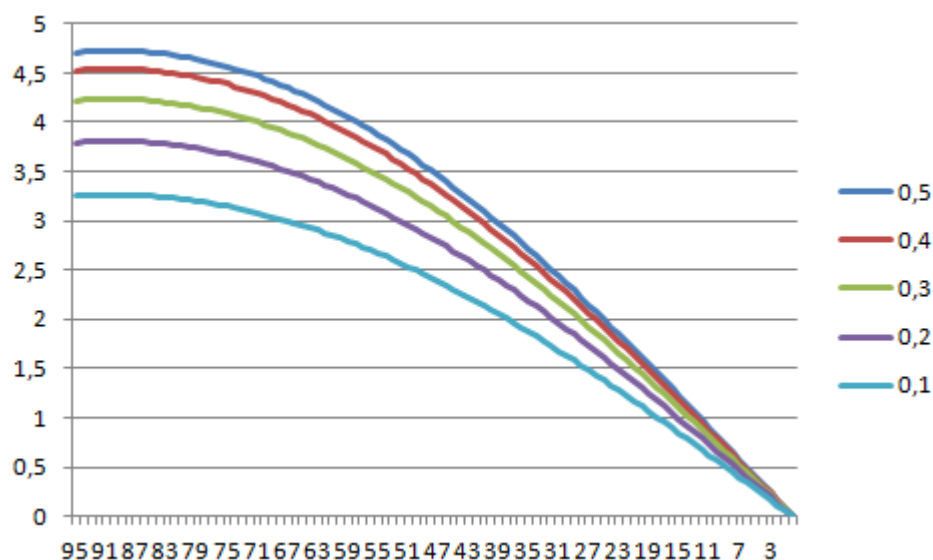
De zwaartekracht zorgt ook voor een axiale kracht in het lager waaraan de pols is opgehangen. Deze kracht is:

Last [KG]	Axiaal kracht op het lager [N]
0,5	11,68371
0,4	10,70271
0,3	9,72171
0,2	8,74071
0,1	7,75971



X.4.1.2 Beweging Tripod in Z-richting

Wanneer de Tripod in de Z-richting accelereert ontstaat er een moment in de kantelmechaniek. Om de mechaniek in de juiste positie te houden bij het accelereren dient de motor een moment te leveren. Dit moment wordt weergegeven in Figuur 69. In de verticale as staat het moment op de kantelas. In de horizontale as staat de hoekverdraaiing in graden.



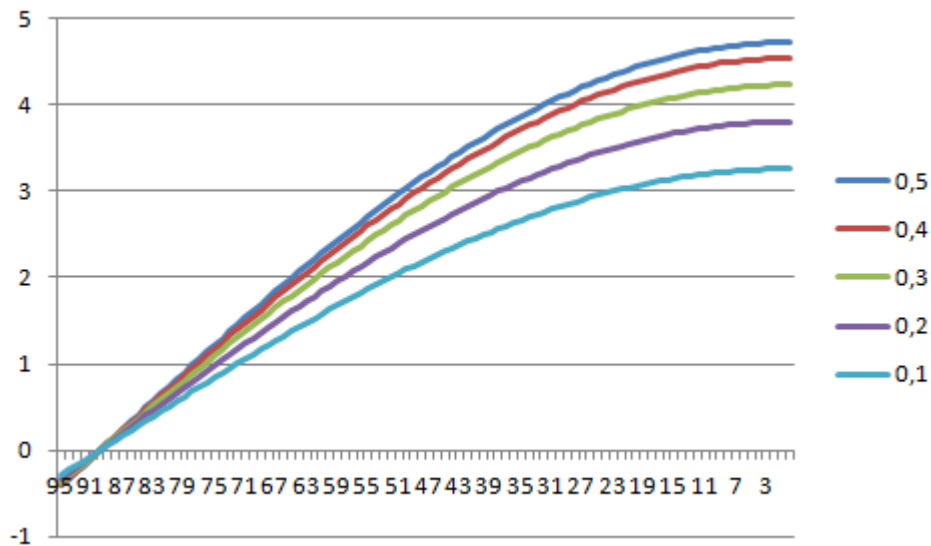
Figuur 69

De acceleratie van de Tripod in de Z-richting veroorzaakt ook een axiale kracht die opgevangen zal worden door het lager waaraan het polsgewricht is opgehangen. Deze kracht wordt weergegeven in onderstaande tabel:

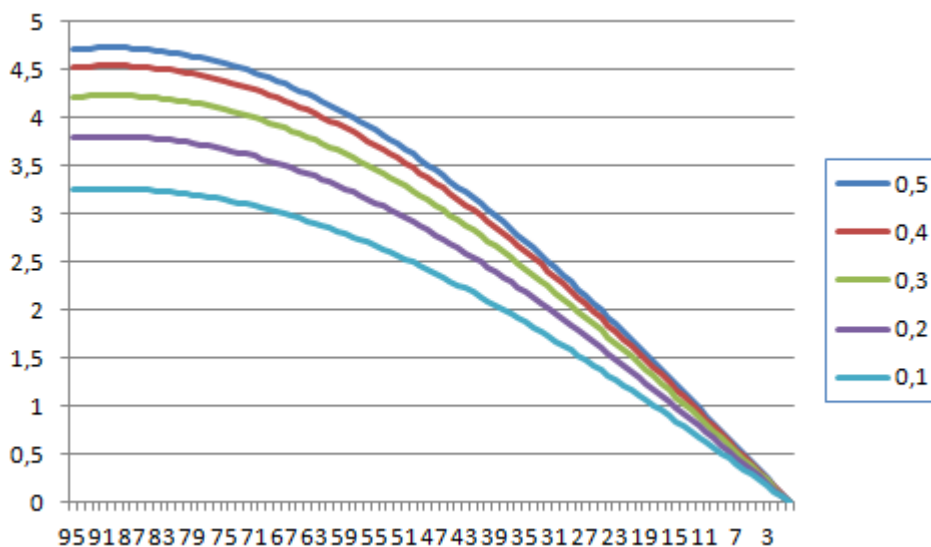
Last [KG]	Axiale kracht op het rotatielager [N]
0,5	56,95
0,4	57,145
0,3	56,34
0,2	54,535
0,1	51,73

X.4.1.3 Beweging Tripod in X-richting

Het accelereren van de Tripod in de X-richting levert een moment in de kantelmechaniek. De kantelmotor zal dit moment moeten leveren om het systeem star te kunnen bewegen. Onderstaande grafiek geeft het moment dat nodig is op de kantelas. In de horizontale as staat de hoekverdraaiing van de grijper in graden

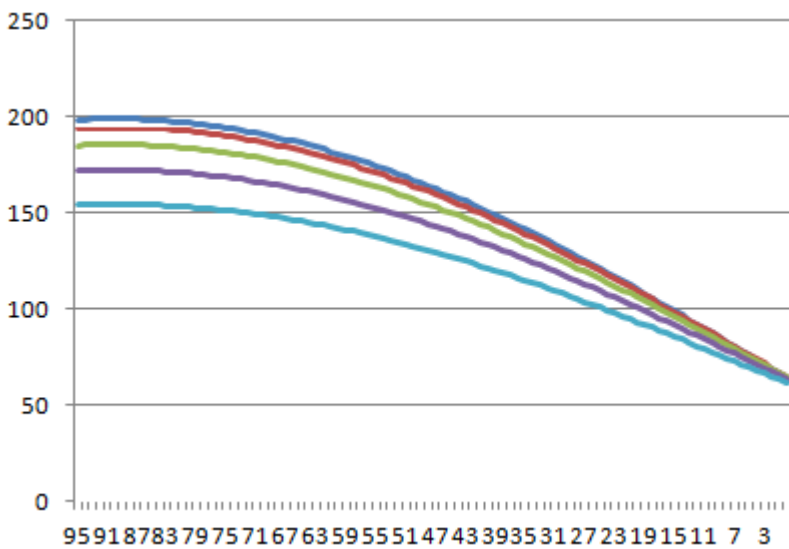


Het zelfde gebeurt in de rotatie mechaniek. Ook hier ontstaat een moment t.g.v. de acceleratie van de Tripod. De stand waarin het opgewekte moment in de rotatiemechaniek het grootst is vindt plaats bij een andere hoekverdraaiing dan de kantelmechaniek. Onderstaande tabel geeft een weergave van het moment.

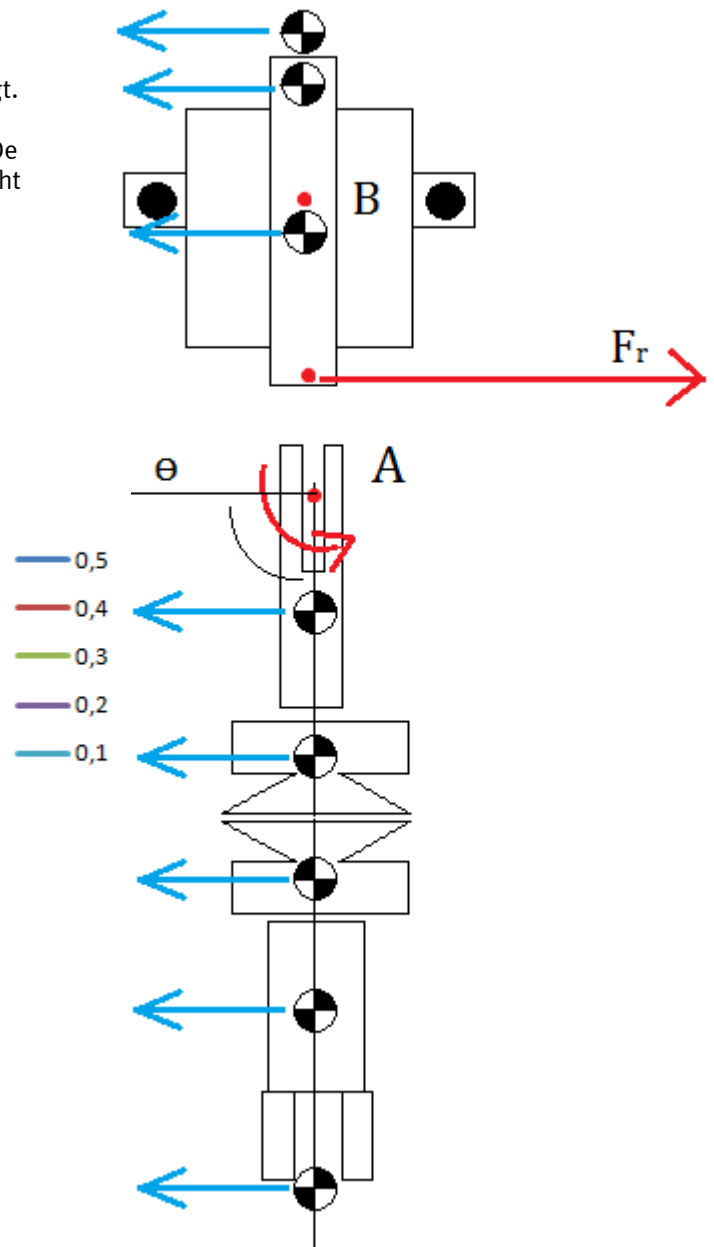


Het accelereren van de Tripod in de X-richting geeft ook een reactie kracht in de mechaniek. Deze reactie kracht wordt met F_r aangeduid in Figuur 70. De kracht F_r zal worden opgevangen door het lager waaraan de pols hangt.

De kracht F_r is een radiale kracht die werkt op het lager. De grafiek in Figuur 71 geeft in de verticale as de radiaal kracht in het lager in Newton. Horizontaal staat de hoekverdraaiing in graden.



Figuur 71



Figuur 70

X.4.1.4 Rotatie polsgewricht

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG*m ²]	Hoekversnelling [rad/s ²]	Moment op de rotatieas [Nm]
0.5	0,009881696	139,6263	1,379745
0.4	0,005241696	148,1296	0,77645
0.3	0,003137996	156,8842	0,492302
0.2	0,003222496	168,9479	0,544434
0.1	0,002721696	184,6558	0,502577

X.4.1.5 Kanteling polsgewricht

Last [KG]	Massatraagheidsmoment [KG*m ²]	Hoekversnelling [rad/s ²]	Moment op de rotatieas [Nm]
0.5	0,0098771	139,6263	1,379097
0.4	0,0052371	148,1296	0,775762
0.3	0,0031334	156,8842	0,491573
0.2	0,0032179	168,9479	0,543649
0.1	0,0027171	184,6558	0,50172

X.4.2 Conclusie concept differentieel (groen)

Maximaal gevraagd koppel kantelmotor: 11.68 [Nm]

Maximaal gevraagd koppel rotatie motor: 6.1 [Nm]

Maximale axiale belasting rotatielager: 70 [N]

Maximale radiale belasting rotatielager: 200 [N]

Mogelijk aantal picks per minuut: (afhankelijk van gewicht)

Last [KG] *	Picks per minuut
1,6	100
1,5	103
1,4	106
1,3	110
1,2	115

*polsmechaniek + te verplaatsen product

Onderdeel	Massa [KG]
last	0,5
grijper	0,4
zwaluwstaart	0,026
kantel arm 2x	0,005
kantelas	0,01
kantel lager 2x	0,002
huis	0,01
glijlager	0,008
rotatie lager 30	0,06
rotatieas 30	0,02
kantel overbrenging	0,017
rotatie overbrenging	0,1
motor	1.23
Totaal	2.388

Voordelen van systeem	Knelpunten
Relatief licht	Kantel en rotatie functie niet tegelijkertijd mogelijk
Relatief lage aanschaf kosten	Geen actuele positie van de last meetbaar
Grijper bekabeling door centrale as doorvoeren is mogelijk	

Functie	Uitvoerbaar
Roteerfunctie	360 graden
Kantelfunctie	190 graden
modulair	Ja

Rotatie aandrijving	Specificaties
Motor Merk: Maxon	Maxon EC 90 flat 36V DC 3120 rpm Max axiaal belasting: 12N Max radial belasting: 180N Max koppel: 0.5 Nm Gewicht: 600 gram
Gearhead	Planetary gearhead GP 52C Overbrenging: 19:1 Max axiaal belasting: 200N Max radial belasting: 700N Max koppel: 15 Nm Gewicht: 600 gram
Sensor	Encoder 386053 Gewicht: 10 gram
Totaal	1230 gram 560 euro

X.5 Concept verbeterde pols (oranje)

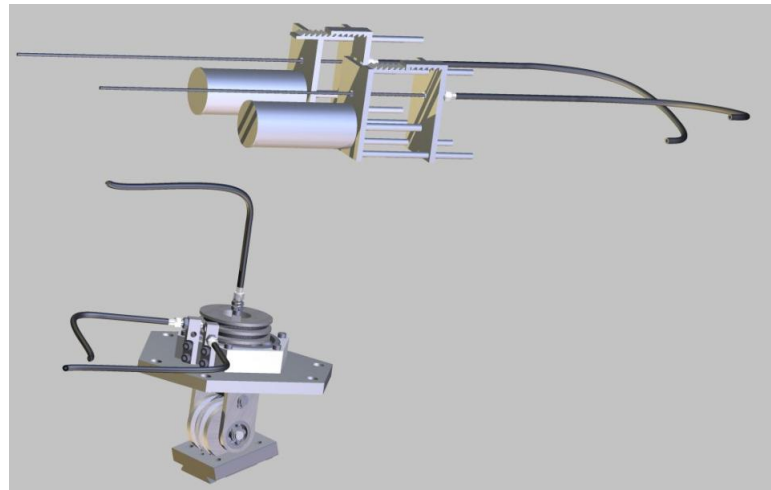
Nu concept groen volledig uitgewerkt is wordt het tijd om concept oranje volledig te onderzoeken. De beste concepten van groen en oranje zullen tegen elkaar getoetst worden en zullen leiden tot een eindconcept.

Concept oranje is een verbeterde versie van het huidige concept. Hierbij zitten de kabels boven op het polsgewricht gemonteerd. De kabels worden middels een as onder de juiste hoek naar de kantelpoelie geleid. Dit zorgt ervoor dat het systeem compacter kan worden uitgevoerd en dat het assembleren makkelijker wordt.

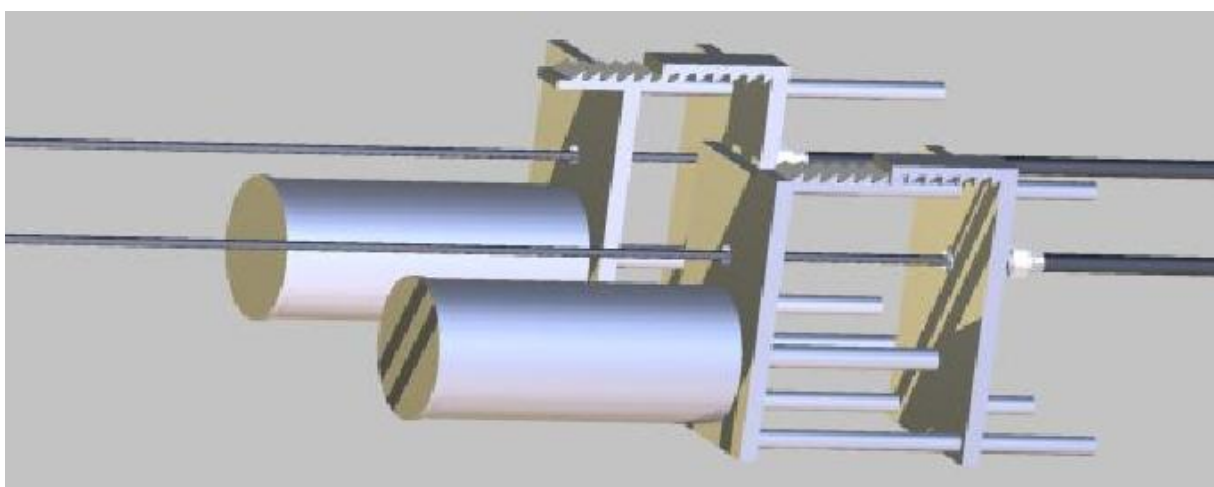
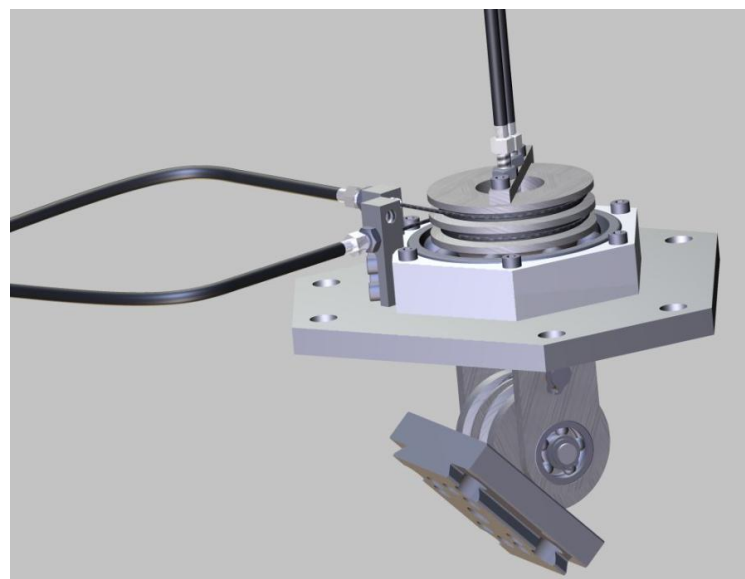
Tevens is de kabel voorzien van een automatische stelmechaniek die zorgt voor de juiste voorspanning in het systeem. De automatische stelmechaniek werkt tevens ook als slijtage compensatie doordat deze de kabel automatisch strakker trekt wanneer dit nodig is.

Het straktrekken van de kabel gebeurt middels een gasveer. De druk in de cilinder bepaald samen met het zuigeroppervlak de kracht waarmee de kabel wordt strakgetrokken. Er is gekozen voor een gasveer i.p.v. een mechanische veer omdat de luchtcilinder per indrukking altijd de zelfde kracht levert.

Om tijdens het dynamisch bewegen van het systeem de veer karakteristiek van de cilinder niet in de kabel te merken is de mechaniek voorzien van een borgsysteem. Het systeem werkt met een vertanding die bij iedere uitdrukking een tand verplaatst. Hierdoor kan de cilinder wel de uitgaande slag maken die nodig is voor het spannen van de kabel. Maar niet de ingaande slag die ontstaat bij het intrekken van de binnenkabel.



Figuur 72 (concept oranje)

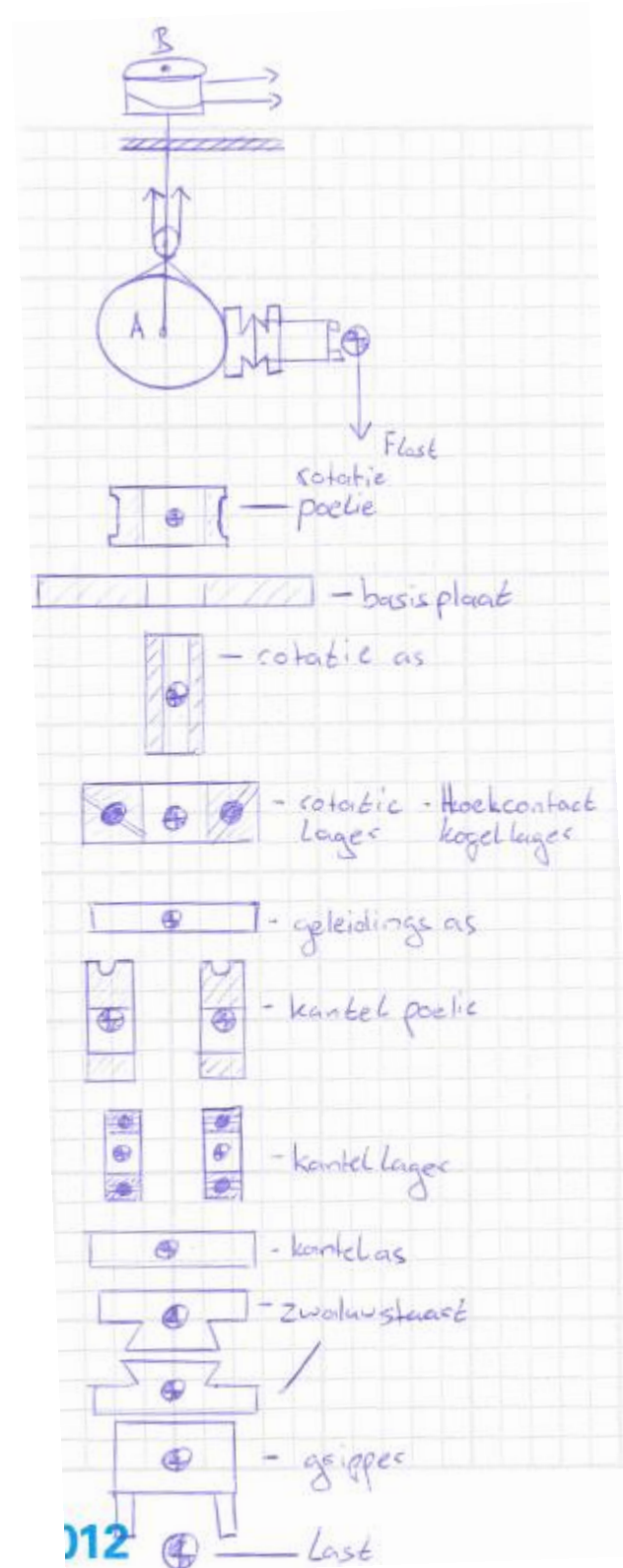


Figuur 73 (spanmechaniek)

X.5.1 Krachtverloop in het systeem

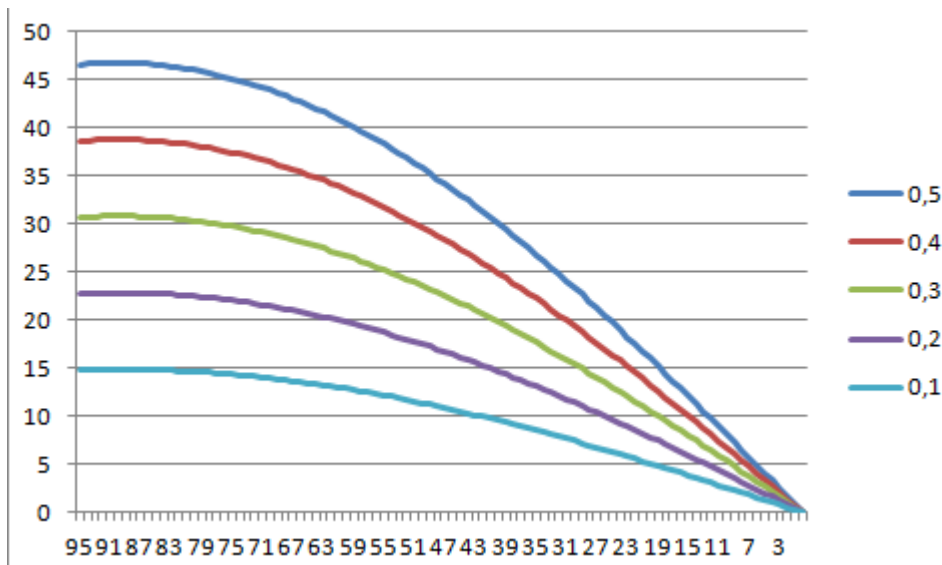
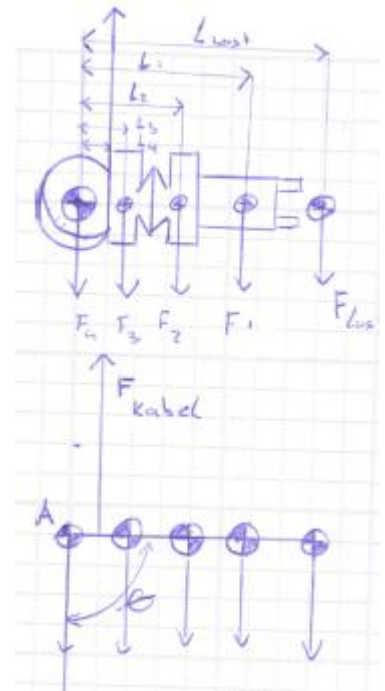
Aangezien concept oranje zeer veel overeenkomsten deelt met het huidige prototype kan het middels de zelfde formules worden berekend. Een groot verschil met het huidige systeem is dat dit systeem berekend zal worden op lasten van 0.1 t/m 0.5 kilo. Ook zullen de armen waaraan de last komt te hangen en waarlangs de kabel geleid wordt anders zijn. Dit is gedaan om een efficiënter en compacter systeem te maken.

Omdat concept oranje tot zo ver hetzelfde is als het huidige systeem zal er slechts een conclusie volgen van het krachterspel in het systeem. Om de methode en de gebruikte formules nogmaals in te zien kan worden terug gevallen op bijlage VII.2



X.5.2 Zwaartekracht

De kracht in de kabel van de kantelmechaniek die ontstaat t.g.v. de gravitatieversnelling wordt weergegeven in onderstaande grafiek. Per verdraaiing van de kantelmechaniek is de kracht in de kabel gegeven die nodig is om het systeem in evenwicht te houden. In de verticale as staat de benodigde kracht in newton. In de horizontale as staat de verdraaiing van de mechaniek in graden.



Figuur 74 (krachtverloop in de kantelkabel)

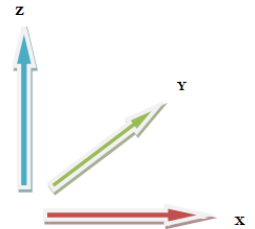
Het polsgewricht is via het tweerijig-hoekcontactlager opgehangen aan de Tripod. Dit lager zal de constructie dan ook dragen. De axiale kracht die het lager opneemt als gevolg van de zwaarte kracht is:

Gewicht van de last [KG]	Axiale belasting lager [N]
0.5	9,97677
0.4	8,99577
0.3	8,01477
0.2	7,03377
0.1	6,05277

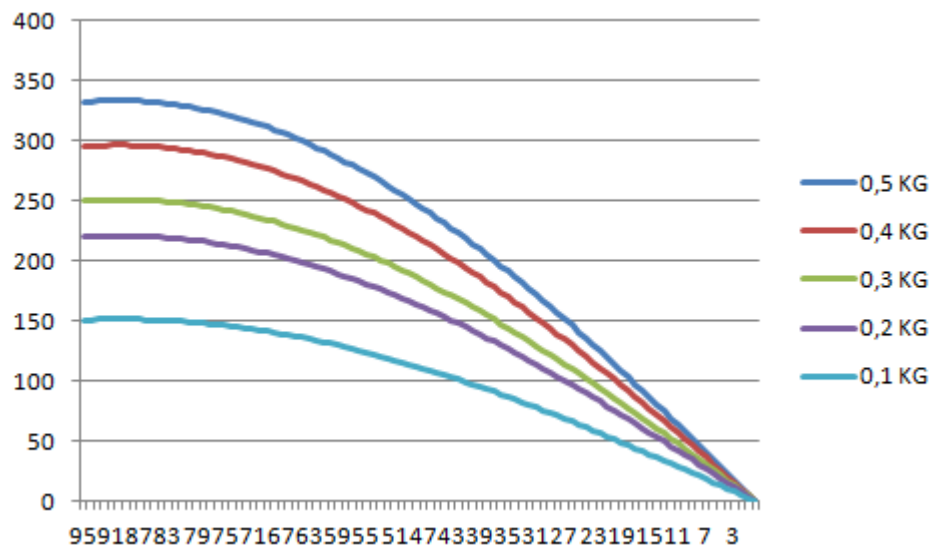
X.5.3 Versnelling Tripod Z-richting

Wanneer de Tripod in de Z richting accelereert zal deze een kracht veroorzaken. De acceleratie die deze kracht veroorzaakt is opgezocht in de documentatie van de Tripod. De maximale acceleratie van de Tripod is afhankelijk van de last die de Tripod moet verplaatsen. Dit is de massa van de last + de massa van het polsgewricht. Bij een polsgewricht dat 0,5 kilo weegt zijn de volgende acceleraties gevonden:

Gewicht last [KG]	Maximale acceleratie Tripod [m/s^2]
0.5	70
0.4	75
0.3	80
0.2	95
0.1	100



Onderstaande grafiek geeft de kracht in de kabel tijdens accelereren in de Z richting weer. Wanneer de grijper recht onder de rotatieas hangt is de belasting in de kabel het laagst. Dit komt doordat de mechaniek de kracht op zal vangen. Bij een hoek van 90 graden is de kracht in de kabel het grootst. Verticaal staat de kracht in newton en horizontaal de hoekverdraaiing van de de kantelmechaniek in graden.



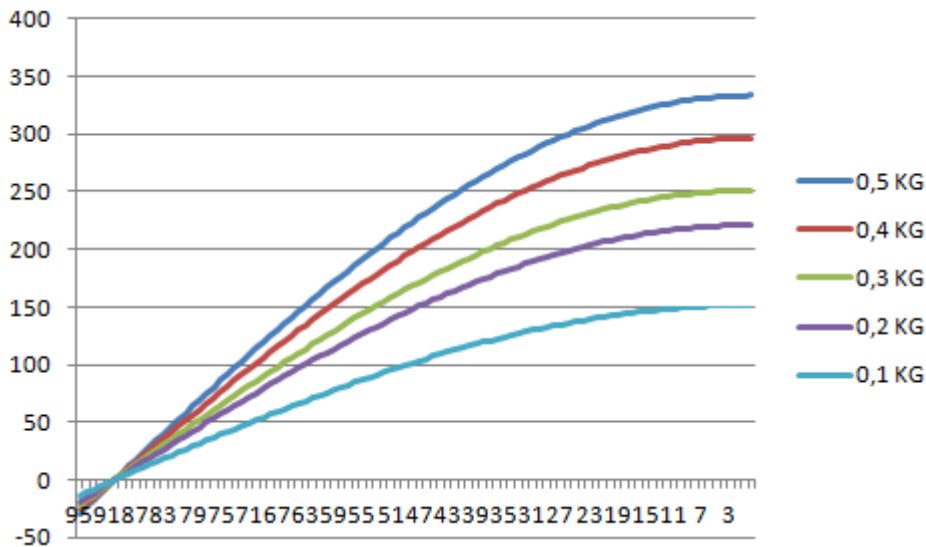
Figuur 75 kracht in de kantelkabel

Wanneer de kantelmechaniek in de 0 graden positie staat wordt het systeem weer gedragen door het hoekcontact lager. In deze situatie is de kracht in het lager als volgt:

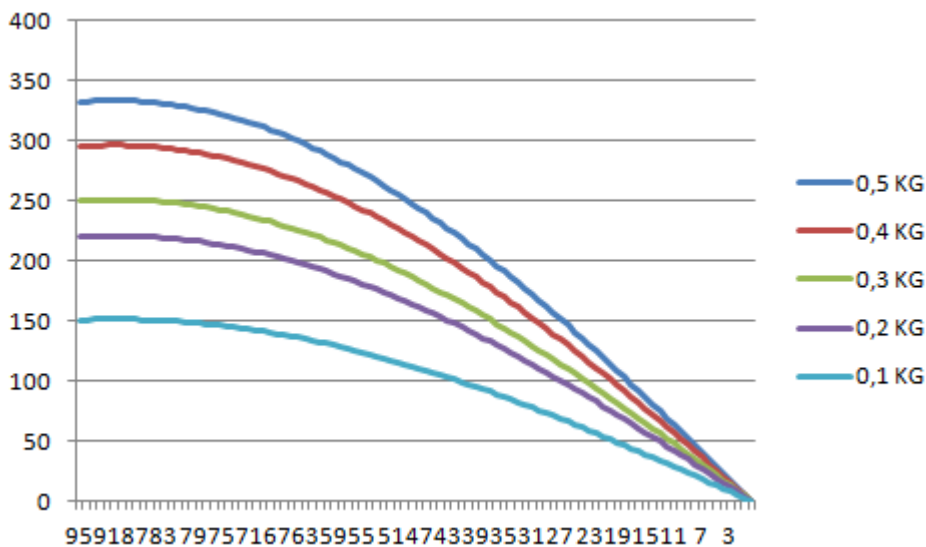
Gewicht van de last [KG]	Axiale belasting lager [N]
0.5	71,19
0.4	68,775
0.3	65,36
0.2	68,115
0.1	61,7

X.5.4 Versnelling Tripod X-richting

Wanneer de kantelmechaniek in de 90 graden stand staat neemt het hoofdlager alle krachten op. Deze krachten staan weergegeven per last in onderstaande tabel. Wanneer de kantelmechaniek van de 90 graden richting de 0 graden verdraaid zal de kabel steeds meer kracht opnemen. Het verloop van de krachten in de kabel is in Figuur 78 weergegeven.

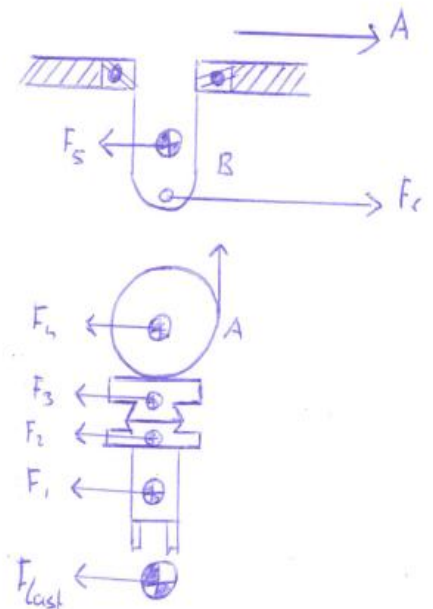


Figuur 78 (kracht in de kantelkabel)

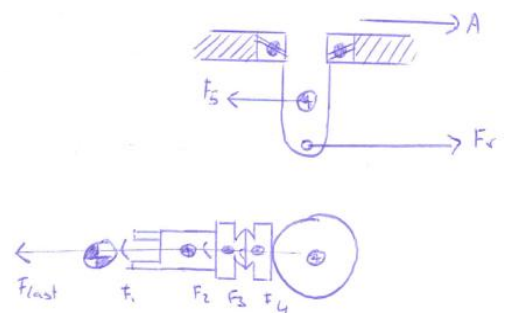


Figuur 77 (kracht in rotatiekabel)

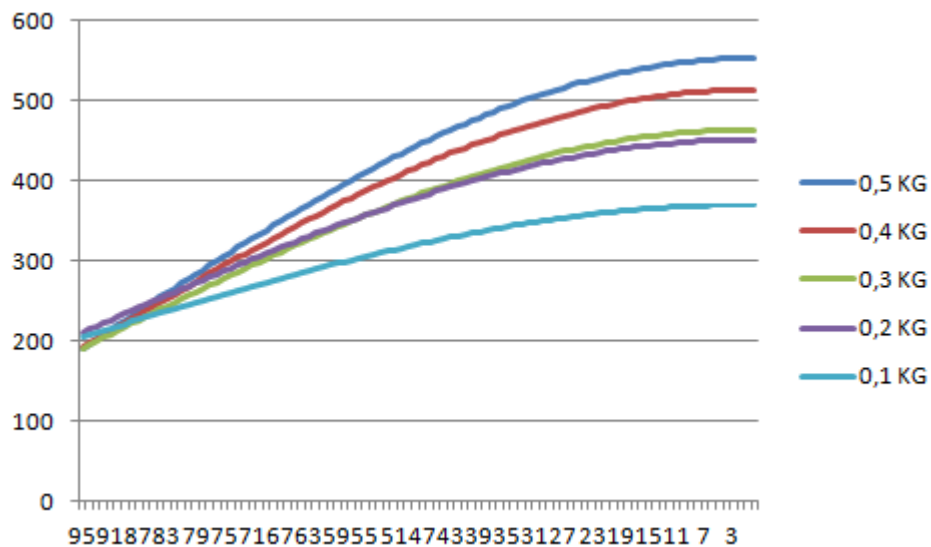
Het krachtverloop in de rotatiekabel is precies het tegenovergestelde van dat van de kantelkabel. De arm die een moment veroorzaakt is het grootst wanneer de kantelmechaniek in de 90 graden stand staat. Dit moment kan middels de poelie worden omgezet in een rechtlijnige kracht in de rotatiekabel. Figuur 77 (kracht in rotatiekabel) laat de in de horizontale as de kracht in de kabel zien. In de verticale as staat de hoekverdraaiing in graden.



Figuur 76



Wanneer de Tripod in de X en Y richting beweegt veroorzaakt deze een reactiekracht in de mechaniek. Deze reactiekracht komt voort uit de acceleratie en deceleratie van de Tripod. Deze reactie kracht wordt Fr genoemd en grijpt aan in de bevestiging van de kantelmechaniek. Zie Figuur 79 krachtverloop Fr. Deze reactiekracht zorgt voor een radiale belasting van het hoekcontactlager. De hoogte van deze belasting is afhankelijk van de afstand tussen de last en de roterende as. De hoogte van Fr kan worden uitgelezen in Figuur 79



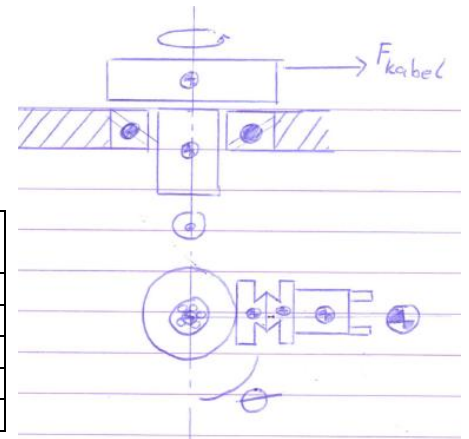
Figuur 79 krachtverloop Fr

X.5.5 Versnelling polsgewricht

Wanneer de rotatiemechaniek wordt bekrachtigd ontstaat er een versnelling in de mechaniek. Dit brengt een krachterspel met zich mee. De krachten worden per last in Tabel 4 weergegeven.

Tabel 4

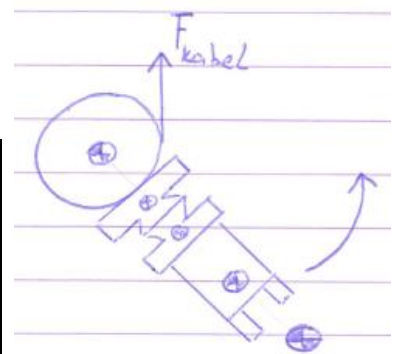
Last [KG]	Kracht in rotatiekabel [N]	Moment op de rotatiepoelie [Nm]
0.5	38,72361	0,774472
0.4	34,93356	0,698671
0.3	31,32766	0,626553
0.2	27,24472	0,544894
0.1	22,32154	0,446431



Zodra de kantelmechaniek ook bekrachtigd wordt zal er ook een krachten spel in het systeem ontstaan. Deze krachten worden in Tabel 5 weergegeven.

Tabel 5

Last [KG]	Kracht in kantelkabel [N]	Moment op de kantelpoelie [Nm]
0.5	38,70503	0,774101
0.4	34,91436	0,698287
0.3	31,3075	0,62615
0.2	27,22358	0,544472
0.1	22,29974	0,445995



De tabellen laten zien dat de krachten die nodig zijn bij het bewegen van het polsgewricht op maximale snelheid. Het verschil in krachten op de rotatie en kantelmechaniek is zeer klein. Dit komt doordat het grootste deel van de kracht wordt bepaald door de massa traagheid van de onderdelen.

Bij de massa traagheid is de afstand van het zwaartepunt t.o.v. het draaipunt van kwadratisch belang. Aangezien de last zich het verst van het draaipunt bevindt, is deze verantwoordelijk voor de grootste kracht. Dit resulteert in twee tabellen die zeer dicht bij elkaar liggen. De krachten veroorzaakt door de componenten van het systeem zijn bijna verwaarloosbaar.

X.5.6 Voorspanning

Constructierek ontstaat tijdens de eerste belasting van de kabel. De kabel kan tot 0.25 tot 0.50 procent verlengen tijdens belasting. Er zijn twee verschillende soorten rek die kunnen optreden in de kabel, elastische rek en plastische rek.

Elastische rek is wanneer de kabel binnen zijn elastisch gebied uitrekt. De kabel zal weer terug naar zijn oorspronkelijke stand willen zodra de belasting wordt weggehaald.

Bij plastische rek is het materiaal aan het deformeren. Hierbij kan het na de vervorming niet meer terug naar zijn oorspronkelijke positie.

Middels het voorspannen wordt getracht een star systeem te verkrijgen. Hierbij wordt het systeem opgespannen met een voorspanning waarbij de kabel de grens tussen elastisch en plastisch gebied benadert. De kabel zal echter wel altijd in het elastische gebied blijven. In het plastisch gebied vindt destructieve vervorming in de kabel plaats. Dit leidt tot materiaal moeheid.

De elastische rek van een gevlochten staalkabel hangt af van de kabelconstructie en het belastingspercentage. Na navraag bij verschillende kabel leveranciers is de elastische rek van stalen bedieningskabels geschat op 1 tot 2 procent bij normaal gebruik. Bij een lengte van een meter geeft dit een maximale verlenging van 20 mm.

De overgang van elastische rek naar plastische rek is bij een blanke staalkabel geschat op 55 tot 60 procent van de breeksterkte.

De gekozen kabel voor het polsgewricht is een 7x19 bedieningskabel met een dikte van 1.35 mm. Hiervan is de breeksterkte volgens de documentatie* 1227. 55% van 1227N geeft een kracht van 675N. Wanneer deze kracht van 675N wordt overschreden zal de kabel plastisch gaan vervormen.

De belasting op de kabels zijn:

Maximale kracht op rotatiekabel: 390N

Maximale kracht op kantelkabel: 425N

Dit komt voort uit de optelsom van (zwaartekracht + Tripod versnelling + polsversnelling)

Wanneer de voorspanning op 150N wordt genomen blijft de maximale kracht op de kabel 100N onder de grens van 675N. Dient als veiligheidsfactor.

* Documentatie bijlage VIII.1.1

X.5.7 conclusie concept verbeterde pols (oranje)

Maximale kracht op rotatiekabel: 390N

Maximale kracht op kantelkabel: 425N

Voorspanning rotatiekabel: 150N

Voorspanning kantelkabel: 150N

Maximale radiaal belasting hoekcontactlager: 550N

Maximale axiaal belasting hoekcontactlager: 81N

Maximaal moment op rotatiepoelie: 0.77 Nm

Gewicht concept oranje: 0.496 KG

Gewicht incl. grijper en last: 1.3 KG

Mogelijk aantal picks per minuut: (afhankelijk van gewicht)

Last [KG] *	Picks per minuut
1.3	118
1.2	119
1.1	120
1.0	122
0.9	124

*polsmechaniek + te verplaatsen product

Voordelen	Nadelen
Zeer licht	Max 270 graden rotatie
Relatief lage aanschaf kosten	Minder nauwkeurig dan motor direct op as
Zeer veel verschillende aansturingen mogelijk	
Lage productie kosten	
Grijper bekabeling door centrale as doorvoeren is mogelijk	

Roteerfunctie	270 graden
Kantelfunctie	190 graden
modulair	Ja

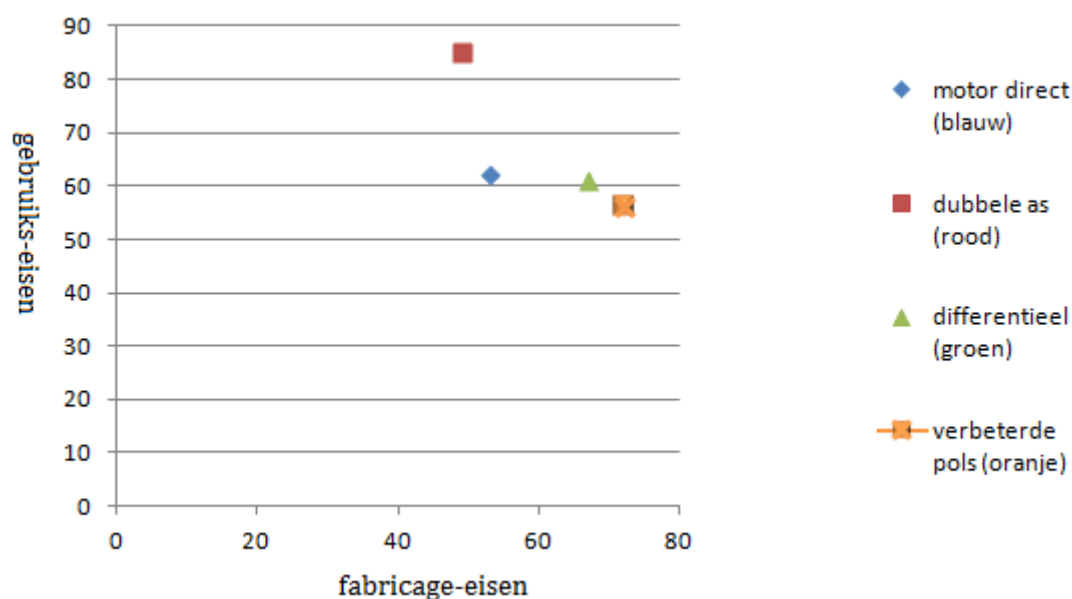
X.6 Concept keuze

Middels de kesselring methode zal het beste systeem worden gekozen. De eisen hiervoor worden in hoofdstuk IX.2.1 verder toegelicht.

Fabricage eisen	Weeg-factor	Groen-blauw	Groen-rood	Groen-groen	oranje
Eenvoud fabricage	3	2	1	3	4
Aantal onderdelen	2	4	2	2	2
Fabricage kosten	4	2	1	3	4
Z-as 360 graden roteerbaar	2	2	2	4	1
Y-as 190 graden kantelbaar	2	2	2	2	2
Herhalingsnauwkeurigheid	3	3	4	2	2
Modulaire opbouw	2	2	2	2	2
Gewicht	4	1	2	3	4
Totaal punten: max 88	22	47	43	59	64
Totaal procenten:	25	53	49	67	72

Gebruikseisen	Weeg-factor	Groen-blauw	Groen-rood	Groen-groen	oranje
Eenvoud assemblage	2	4	3	2	1
Assemblage Kosten	4	3	4	2	1
Verschillende aandrijvingen mogelijk	4	1	2	3	4
Veilige werkomgeving	5	2	4	2	1
Lage geluidsproductie	4	4	5	3	4
Onderhoud	5	3	4	2	1
Universeel toepasbaar	3	4	1	2	3
Levensduur	4	1	4	3	2
werksnelheid	3	1	2	3	4
Totaal punten: max 136	34	84	115	83	77
Totaal procenten:	25	62	85	61	56

X.6.1 Kesselring grafiek



Figuur 80

X.7 Definitieve concept keuze

De scores van de concepten liggen in de kesselring grafiek van Figuur 80 zeer dicht bij elkaar. Voor het kiezen van het definitieve concept is de nadruk gelegd op de gebruiks-eisen. Aangezien het huidige prototype met de kabels zeer veel afstel werk vereist om goed te functioneren en zeer veel onderhoud vraagt om de nauwkeurigheid te behouden, is er van dit ontwerp afgestapt.

Er is gekozen voor Concept dubbele as (rood) hoofdstuk X.3. De keuze is op dit concept gevallen omdat het een zeer onderhoudsvriendelijk en efficiënt ontwerp is. Het systeem kan met zeer lange onderhoudsintervallen functioneren zonder afname van de nauwkeurigheid.

In de volgende hoofdstukken zal het ontwerp verder besproken worden. Hierbij zal dieper ingegaan worden op de materiaal keuze van de verschillende onderdelen, de aandrijving van het systeem en de kosten.

X.7.1 Motoren

Door het invullen van de gemaakte rekentool in Excel wordt het mogelijk om een accurate motorkeuze te maken bij de benodigde werksituatie. Om meer inzicht te geven in beschikbare motoren die het systeem goed zouden kunnen aandrijven worden lichte motoren in dit hoofdstuk behandeld.

X.7.2 Lichtgewicht hoog rpm motor

De motoren met het minste gewicht op de markt zijn van "Faulhaber". Dit Duitse bedrijf levert motoren van 25 mm lang met een diameter van 8 mm. Deze motoren wegen 13 gram en zouden qua gewicht een zeer geschikte keuzen zijn voor de aandrijving van het polsgewricht.

Helaas leveren deze motoren slechts 5mNm. Faulhaber levert ook reductoren waaronder de spurgearhead reductor met een overbrengingsverhouding van 880:1. Hiermee komt het koppel van de motor op 4.4Nm. helaas daalt door de reductie het toerental van de motor van 12.000 RPM naar 14 RPM. Het koppel van deze combinatie is te laag en het toerental van de motor is niet toereikend om de snelheid van de Tripod bij te benen.

X.7.3 hoogkoppel motor

Motoren met een zeer gunstige gewicht/koppel verhouding zijn motoren van "maxon". Deze motoren zijn een stuk zwaarder dan de motoren van Faulhaber, maar leveren ook aanzienlijk meer koppel. Voor de aandrijving van de polsgewricht zijn de volgende motoren mogelijk:

Motor kantelmechaniek	Specificatie
Merk	Maxon
Type nr.	EC 90 flat
Gelijkstroom	36 V DC
RPM	3100
Koppel	560 mNm
Diameter	40 mm
Lengte	
Gewicht	600 g
Reductor kantelmechaniek	Specificatie
Merk	Maxon
Type nr.	GP 52 C verhouding 21:1
Max. axiaal belasting	200 N
Max. radiaal belasting	700 N (12mm vanaf de flens)
Max. koppel	30 Nm
Lengte	
Diameter	40 mm
Gewicht	620 g

Motor rotatiemechaniek	Specificatie
Merk	Maxon
Type nr.	EC-4pole brushless 200W
Gelijkstroom	48 V AC
RPM	15000
Koppel	135 mNm
Diameter	30 mm
Lengte	
Gewicht	300 g
Reductor kantelmechaniek	Specificatie
Merk	Maxon
Type nr.	GP 32 HP verhouding 66:1
Max. axiaal belasting	120N
Max. radiaal belasting	200 N (10mm vanaf de flens)
Max. koppel	8 Nm
Lengte	
Diameter	32 mm
Gewicht	620 g

XI. Rekentool

Bij het ontwikkelen van het polsgewricht zijn er zeer veel variabelen waar rekening mee gehouden moet worden. Deze variabelen bepalen samen de belasting op het systeem en de motoren die nodig zijn voor de aandrijving. Deze variabelen zijn:

- Gewicht van de last
- Afstand van het zwaartepunt van de last t.o.v. de bek van de grijper
- Gewicht van de grijper
- Lengte van de grijper
- Afstand van het zwaartepunt van de grijper t.o.v. de zwaluwstaart
- Gewicht van de zwaluwstaart
- Dikte van de zwaluwstaart
- Gewenste werksnelheid
- Gewenste draaihoek van de kantelmechaniek
- Gewenste draaihoek van de rotatiemechaniek

Bij iedere klant kan een ander systeem gewenst zijn. Klanten kunnen specifieke producten hebben die met een specifieke grijper opgepakt moeten worden. Bij de accessoires van de grijper zit een specifieke montageplaat (zwaluwstaart). De beweging die het systeem moet maken en de snelheid van deze beweging zijn afhankelijk van de productie proces van de klant. Zeer veel variabelen dus.

Van het dubbelassig polsgewricht concept zijn de motoren het zwaarste. Het is dus essentieel dat de juiste motoren uitgekozen worden voor het systeem. Te sterke motoren kunnen bijvoorbeeld onnodig zwaar zijn. Om iedere keer de juiste aandrijving te kunnen kiezen uit al deze variabelen is er een rekentool opgesteld. Door de variabelen in te vullen rekent het systeem direct uit welke motor specificaties nodig zijn om het systeem aan te drijven. Ook geeft de tool direct de belasting op het buitenste lager.

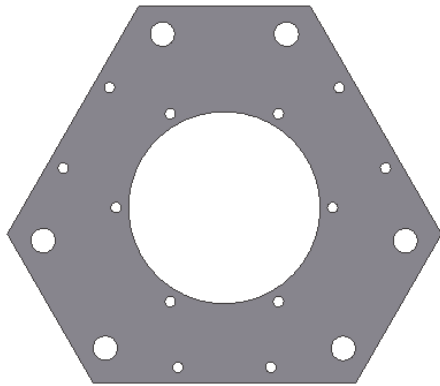
Waar bij voorgaande concepten de kracht in het systeem statisch per hoek is bekeken, rekent de tool de versnelling uit als functie van de tijd. Hiermee kan direct dynamisch het benodigde koppel per situatie worden uitgerekend. De tool is geschreven in Excel en is te vinden in de digitale bijlage.

De tool gaat uit van de meest belastende situatie. Voor de kantelmechaniek is de meest belastende situatie wanneer de Tripod omhoog accelereert en de pols omhoog kantelt. Hierbij werkt de zwaarte kracht ook tegen. Voor de rotatiemechaniek is de meest belastende situatie wanneer de Tripod accelereert in horizontale richting terwijl de polsmechaniek roteert in de bewegingsrichting. De krachten die tijdens deze bewegingen ontstaan mogen bij elkaar opgeteld worden en leveren samen de maximale belasting in het systeem.

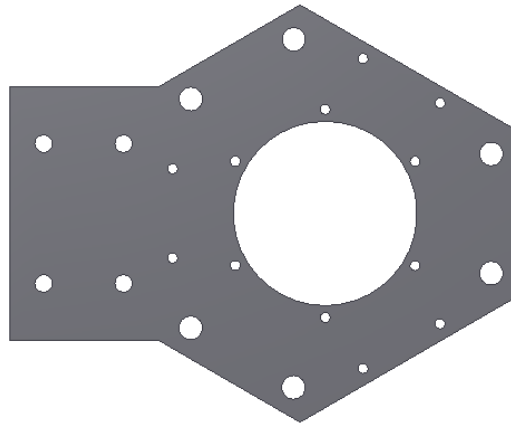
XII. Implementatie bij verschillende high speed handelingssystemen

Aangezien de EXPT Tripod van Festo nog niet veel verkocht wordt is het belangrijk om het polsgewricht ook inzetbaar te maken bij andere systemen. Dit uit het marktonderzoek* is gebleken dat de T en H gantry units** een goede basis voor het gewricht zouden vormen.

Om het systeem van de Tripod over te kunnen zetten naar een gantry is er een adapterplaat nodig. Door de basisplaat op Figuur 81 (basisplaat T) te vervangen door de basisplaat van Figuur 82 (basisplaat G) is het mogelijk om het systeem één op één over te zetten.



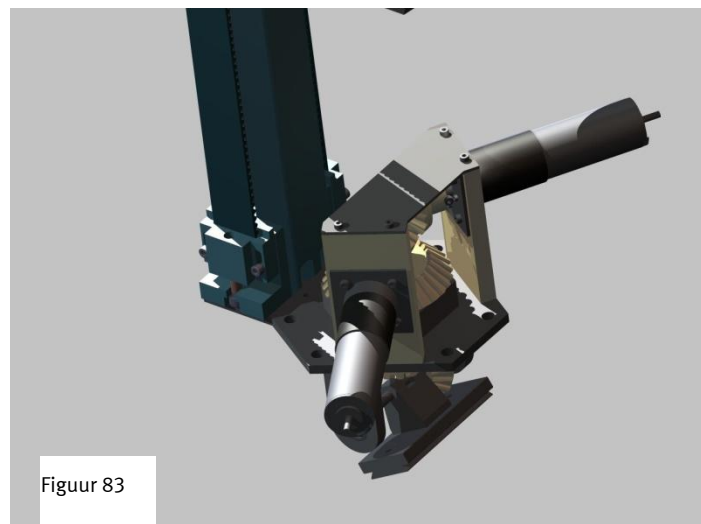
Figuur 81 (basisplaat T)



Figuur 82 (basisplaat G)

Bij de Tripod is het polsgewricht recht in lijn met het hart van de constructie geplaatst. Dit is handig doordat hiermee excentrische belastingen vermeden worden. Bij de Gantry systemen is het fysiek niet mogelijk om het gewricht in lijn met de installatie te monteren. Daarom wordt er gewerkt met een adapterplaat die het polsgewricht voor de unit bevestigt. Zie Figuur 83 ter illustratie

Deze excentrische belasting zorgt voor buiging van het materiaal. Bij de keuze van constructie materiaal en vormgeving is het belangrijk om hier rekening mee te houden. Knik en materiaalmoetheid vormen het grootste gevaar wanneer de constructie excentrisch wordt opgehangen.



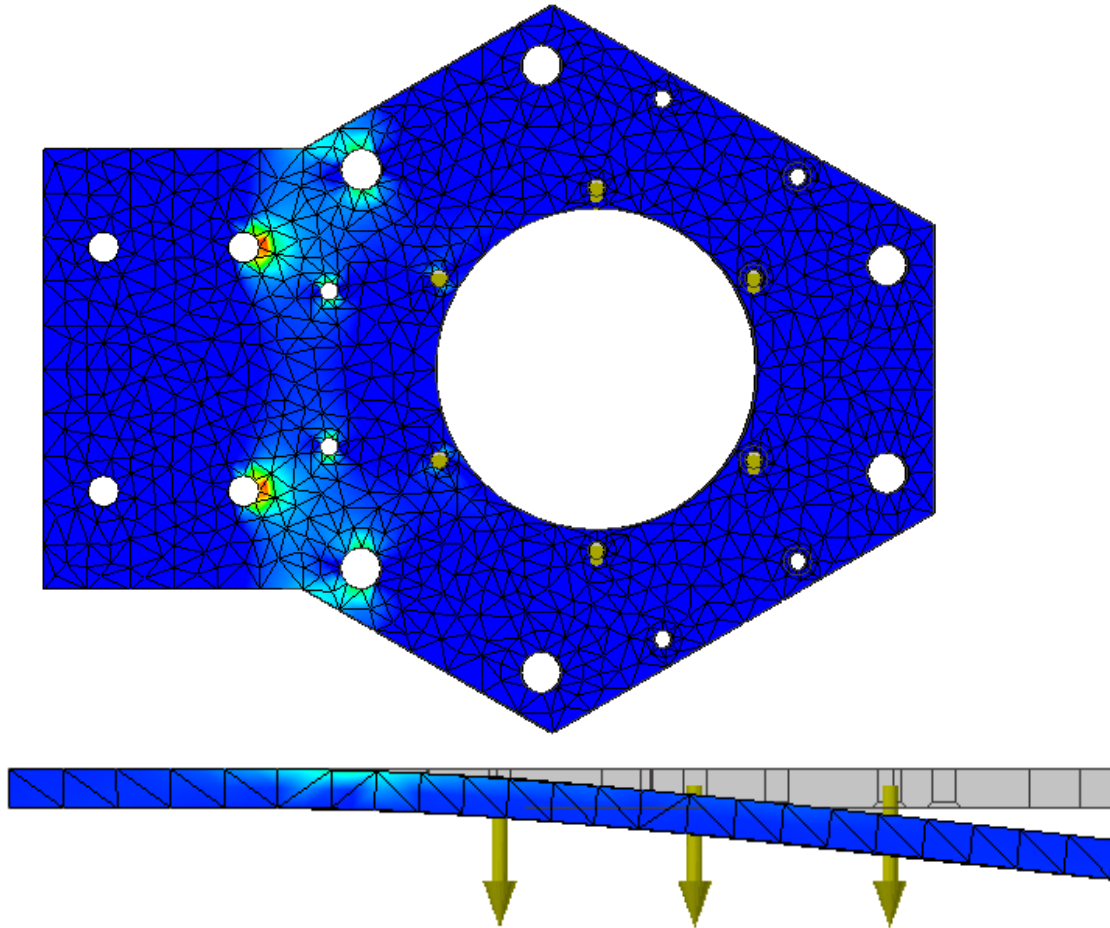
Figuur 83

* marktonderzoek bijlage hoofdstuk VI

** Gantry bijlage hoofdstuk IV

XII.1 Femap simulatie

Om een zuivere inschatting te kunnen doen van de belasting op het systeem is er een simulatie uitgevoerd. De simulatie kan worden gebruikt om inzicht te geven waar de knelpunten in het ontwerp liggen. Het resultaat van de simulatie wordt weergegeven in Figuur 84.



Figuur 84

Uit Figuur 84 kan worden afgelezen dat de boutgaten waarmee de basisplaat aan de gantry gemonteerd wordt een kritisch punt is. De kans dat het materiaal faalt is in dit gebied het grootst. Uit de analyse is gebleken dat de spanning in het materiaal bij het rode gebied onder de vloeigrens van staal zit. Dit betekent dat het materiaal slechts elastisch zal vervormen.

De doorbuiging van de plaat is bij aluminium 0.58mm en bij staal 0.19 mm.

Helaas is het mogelijk dat de simulatie een net iets anders beeld schetst dan de werkelijkheid. Daarom is er naast de simulatie ook een controle berekening nodig.

XII.2 Controle berekening

Als controle is er een handberekening uitgevoerd om te zien hoever het materiaal doorbuigt. Dit is gedaan voor twee materialen. Een basisplaat van staal en aluminium. De gebruikte formule hiervoor luidt:

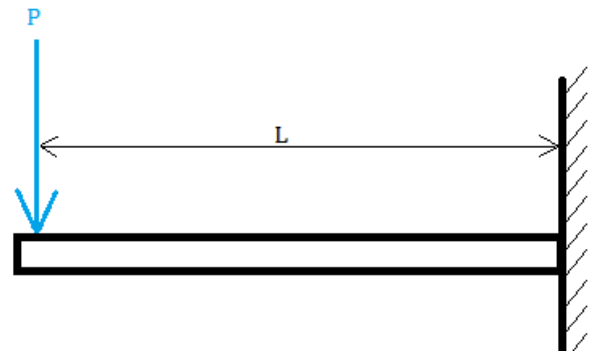
$$\theta = \frac{P}{2EI} * (L^2 - X^2)$$
$$V = \frac{P}{6EI} * (-x^3 + 3L^2 - 2L^2)$$

Hierbij zijn de volgende randvoorwaarde genomen:

$$\theta_{(L)} = 0 \text{ en } V_{(L)} = 0$$

Voor θ en V wordt de hoogste waarde gevonden wanneer $X=0$

Figuur 85



De berekening is uitgevoerd voor zowel een aluminium als een stalen basisplaat. De doorbuiging dient maximaal 0,5 mm te zijn om een goede nauwkeurigheid te kunnen garanderen. De plaat buigt maximaal bij:

- aluminium 0,61 mm
- staal 0,22 mm

Uit de controle berekening is gebleken dat de simulatie iets te optimistisch is. De doorbuiging van de plaat zal groter zijn dan in de simulatie is aangegeven. Zelfs met de vereenvoudigde weergave van Figuur 85 waarbij de plaat niet voorzien is van gaten.

Er is gekozen om de basisplaat van staal te maken. Bij staal is de doorbuiging minder dan een halve millimeter en blijft de nauwkeurigheid goed te waarborgen. Aangezien slechts elastische vervorming in het materiaal zal optreden is er geen sprake van vermoeiing van het materiaal. Dit maakt staal de beste keuze voor een adapterplaat voor de T- en H-gantry systemen.

XIII. Competentieset

In dit hoofdstuk worden de verworven competenties van de auteur besproken. Hierdoor is het mogelijk om het leerproces in kaart te brengen. Tijdens het uitvoeren van de afstudeeropdracht zijn is gehandeld vanuit verschillende beroepsrollen.

XIII.1 Toelichting competentie tabel

In onderstaande tabel wordt inzicht gegeven in de opbouw van de competenties. Hoe hoger het toegekende getal des meer moeite het heeft gekost om de competentie te vergaren. In de tabel wordt horizontaal de zelfstandigheid uitgezet tegen verticaal de lastigheid van de opdracht. Door de competentie aan deze twee te wegen is het mogelijk om er een getal aan toe te kennen.

Overzicht competentie niveaus				
		Taakrol		
		Geleid	Zelfstandig	Sturend
Context	Simpel	1	2	3
	Lastig	2	3	4
	complex	3	4	5

Tabel 6 (competentie niveaus)

Het invullen van de competentie tabel is in overleg gebeurt met de bedrijfsmentor. Doordat de bedrijfsmentor het proces objectief kan beoordelen is het mogelijk een accurate beoordeling van het proces te garanderen.

XIII.2 Ingevulde competentietabel

	taakrollen	O n d e r z o e k e r	O n t w e r p e r	A d v i s e r	B e h e r	P r o j e c t l e i d e r	O n d e r n e m e r
	Competentieset werktuigbouwkunde & HBO Algemeen						
Nr.	Competenties werktuigbouwkunde						
1	Project management uitvoeren (organiseren, uitvoeren, verslag opstellen)	3	3				
2	Een onderzoeksoopdracht uitvoeren	3	3				
3	Het kunnen opstellen van een productdefinitie, PVA en PVE voor een duurzaam product of voortbrengingsproces	3				3	
4	Het realiseren van een functioneel duurzaam product of voortbrengingsproces	3	3				
5	Het realiseren van een detailontwerp voor een duurzaam product of voortbrengingsproces	3	4				
6	Het realiseren van een prototype/model van een duurzaam product of voortbrengingsproces	3					
7	Het voorbereiden van een voortbrengingsproces	3		3			
8	Het produceren van een duurzaam product	3					
9	Het beheren of onderhouden van een product of proces	3	3	2			
Nr.	Algemene HBO competenties						
10	Kritisch handelen (analytisch en probleemoplossend vermogen en het onderbouwen van keuzen, oordeelsvorming)	3	3				
11	Systematisch een probleem aanpakken (creatieve, plan- en projectmatige werkhouding)	3	3				
12	Samenwerken (sociaal communicatieve vaardigheden)	3	3				
13	Persoonlijke en professionele ontwikkeling	3	4				
14	Zelfverantwoordelijk werken	3	3				
15	Kunnen functioneren in een internationale en/of multiculturele context	3	3				

Tabel 7 (competentie tabel)

Handtekening bedrijfsbegeleider

handtekening afstudeerder

datum

XIII.3 Persoonlijke ontwikkelingspunten

Door voorafgaand aan het project en na afloop van het project de competentietabel in te vullen en deze met elkaar te vergelijken is te zien op welke punten de persoonlijke ontwikkeling het grootst is. De meest relevante competenties die zijn ontwikkeld worden in de volgende hoofdstukken besproken.

XIII.3.1.1 Het kunnen opstellen van een productdefinitie, PVA en PVE voor een duurzaam product of voortbrengingsproces

Deze competentie is ingevoerd als projectleider. Deze competentie is verworven voor deze taakrol omdat er met veel verschillende partijen is gesproken en onderhandeld. Veel verschillende partijen hebben invloed op de loop van het project. Door deze partijen allemaal bij het project te betrekken kan het project naar een hoger niveau worden getrokken. Het gevaar is echter dat door de input van alle partijen dat er te veel tijd verloren gaat bij het opstellen van de eisen en er te weinig tijd overblijft voor het uitvoeren van het project. Het feit dat het project zonder vertraging is uitgevoerd betekend dat deze competenties met goed gevolg behaald is.

XIII.3.1.2 Het realiseren van een detailontwerp voor een duurzaam product of voortbrengingsproces

Deze competentie is voor de beroepsrol ontwerper invult op niveau 4. Dit is gedaan omdat het ontwerp zeer goed aansluit op het gestelde pakket van eisen en wensen. Door het ontwerp modulair te maken en flexibel op te bouwen middels de mee geleverde rekentool sluit het ontwerp goed aan op alle eisen en een groot deel van de wensen.

XIII.3.1.3 Het beheren of onderhouden van een product of proces

Deze competentie is uitgevoerd vanuit het oogpunt van drie verschillende taakrollen.

- Er is onderzoek gepleegd naar de onderhoudsintervallen van verschillende slijtende componenten. Van deze componenten is een onderhoudsinterval voorgeschreven.
- In het ontwerp is rekening gehouden met het vervangen van deze componenten. Door de onderdelen gemakkelijk toegankelijk te houden en eenvoudig demonteerbaar te maken is het mogelijk onderhoud efficiënt uit te voeren.
- Er is een advies gegeven om het onderhoudsinterval gelijk te laten lopen met het onderhoudsinterval van de Tripod. Dit zorgt voor minimale stilstand tijden. Eens per jaar worden de aandrijfriemen van de Tripod vervangen. Het advies is om, om het jaar de glijlagers van het polsgewricht mee te vervangen.

XIII.3.1.4 Persoonlijke en professionele ontwikkeling

Tijdens dit project heeft de afstudeerder met zeer veel nieuwe uitdagingen te maken gehad.

- Vergaderen met verschillende partijen
- Opzetten en uitvoeren van praktijktesten
- Inventariseren, aanvragen en inkopen van onderdelen
- Enkelstuks produceren in de werkplaats
- Uitvoeren van complexe berekeningen
- Maken van werktekeningen volgens de normen die gelden binnen het bedrijf

Deze punten zijn samengevat in het ontwerp dat middels dit rapport wordt opgeleverd.

XIII.4 Conclusie

Er kan worden terug gekeken op een zeer leerzame ervaring waarbij veel nieuwe indrukken zijn opgedaan. Door zelfstandig te functioneren en nieuwe uitdagingen aan te gaan zijn zeer veel nieuwe competenties verworven. De belangrijkste competenties zijn verworven in de beroepsrol van ontwerper.

XIV. Bronnen

Boeken

Titel	Isbn
Industriële productie	9789039525296
Mechanica voor technici dynamica	9789043010788
Sterkteleer	9789043010795
Statica	9789043017367
Roloff / matek Machine onderdelen	9789039523216
Tabellenboek machine onderdelen	9789039523223
TransferW construeren kern boek 2	9789042515291
Skf Leerboek wentellagers	Bnl 300
Brunhamij eriks Industriële kunststoffen	
Machine onderdelen constructie elementen 1981	22 ^e druk

Festo documentatie

Titel	Isbn
Advanced handling systems	STU 37
Tripod EXPT info map	

Internet Festo

- http://www.festo.com/cat/nl_nl/products
- http://www.festo.com/cat/nl_nl/data/doc_engb/PDF/EN/ELGL-LAS_EN.PDF
-

Internet algemeen

- <http://www.sullivanproducts.com/GoldnRodMainFrame.htm>
- <http://www.detechnoshop.nl/frameset800.html>
- <http://www.doco-international.nl/nl/products/catalogue.html>
- http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/M-3iA%20Series_168.pdf
- <http://www.jimmygreen.co.uk/item/608/micro-clamcleats>
- <http://www.robotmarketplace.com/products/0-GM19.html>
- <http://www.mechanismen.be/mechanismen/lagers/lagertechnologie.pdf>
- <http://www.eurocable.nl/staalkabels/inspectie-en-onderhoud-van-de-staalkabel/uitrekking-van-staalkabel>
- http://www.kobo.nl/Tandwielen_heugels/PV.html
- <http://www.industrialproducts.be/nl/files/conische-tandwielen.pdf>
- <http://www.kobo.nl/catalogus1.html>
- <http://www.tribologie.nl/abc/cof.htm>

HHS blackboard

- Minor FPA2 literatuur ppt aur01