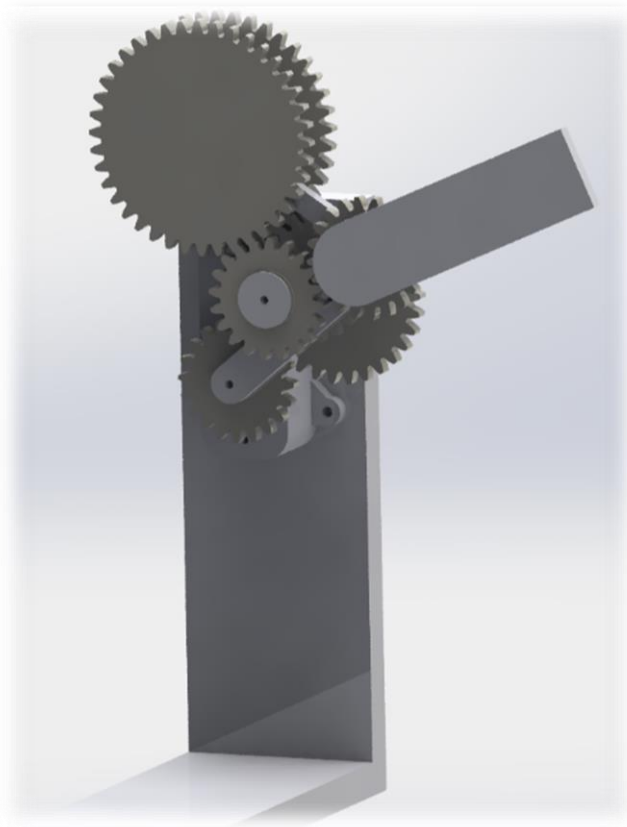


7-6-2013

Uitbreidingen Modulaire Knikkerbaan

Van ontwerp tot prototype



N.S.Schoen

SERIOUS MARBLES B.V.

10084495

V1.0

Uitbreidingen modulaire knikkerbaan

Van ontwerp tot prototype

Nick Silvester Schoen

Opleiding Werktuigbouwkunde, de Haagse Hogeschool te Delft 2013

Studentnummer: 10084495

Bedrijfsbegeleider: A. Winters

Docentcoach: Ing. L.J.M. Koeleman

Docentassessor: Ir. T. Brilleman

Afstudeerperiode: 11-2-2013 t/m 7-6-2013

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van de afstudeerstage voor de opleiding Werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool te Delft. Als student Werktuigbouwkunde aan deze school is het de bedoeling om alle competenties die tijdens de studieloopbaan behaald zijn te laten zien. Dit doet men aan de hand van een afsluitende stage. De stageopdracht wordt uitgevoerd naar aanleiding van de vraag naar mogelijke uitbreidingen voor de modulaire knikkerbaan. Ook bevat deze een extra opdracht zoals het promoten van de knikkers door het maken van een knikkerwand.

Het rapport is hoofdzakelijk geschreven voor het bedrijf Serious Marbles B.V. Maar ook is het gericht aan de betrokkenen binnen de Haagse Hogeschool, waaronder de docentcoach, de docentassessor en de gecommitteerde. Ook zij zullen mijn afstudeerstage beoordelen. Dit rapport beschrijft alle belangrijke beslissingen met betrekking tot de uitbreidingen voor de modulaire knikkerbaan en de ontwikkeling van de knikkerwand.

Als laatste wil ik Serious Marbles B.V. bedanken voor het beschikbaar stellen van een afstudeerplek en de ondersteuning die ik daarbij ontving. Vooral Kymo van Blokland en Chris de Haan wil ik in het speciaal bedanken voor hun ondersteuning bij de modulaire knikkerbaan. Ook de heer Menno Kenter en mevrouw Anniek Winters dank ik zeer voor de ondersteuning en de belangrijke beslissingen welke genomen moesten worden.

Amsterdam, juni 2013

Samenvatting

In dit rapport staat beschreven welke stappen en beslissingen er zijn genomen om tot de ontwerpen en prototypes te komen voor uitbreidingen van de modulaire knikkerbaan. De vraag naar de modulaire knikkerbaan is ontstaan naar aanleiding van de promotie van de Serious Marbles knikkers. Het vervolg van de modulaire knikkerbaan is het starten van een traject om er ook uitbreidingen bij te leveren.

De stage is afgebakend in een Plan van Aanpak. Er is gekozen om tijdens de hoofdopdracht een extra Plan van Aanpak te maken waarin onder andere de wensen en eisen naar voren kwamen. Deze waren specifiek gericht op de hoofdopdracht. Voor de knikkerwand is niet voor deze aanpak gekozen en is er naar aanleiding van de conceptfase direct naar het ontwerp overgegaan.

Na het Plan van Aanpak is er gezocht naar alle mogelijke uitbreidingen voor de modulaire knikkerbaan en is er een schema gemaakt hoeveel tijd elke uitbreiding kost om te ontwikkelen tot een werkend prototype. Dit plan is gepresenteerd. De presentatie werd afgesloten met de beslissing om niet één maar zeven uitbreidingen te ontwikkelen (later acht). Deze werd genomen zodat iemand hierover de verantwoordelijkheid kreeg. Van de acht uitbreidingen lagen er al modellen voor vier uitbreidingen gedeeltelijk klaar.

Hierna is er een plan¹ gemaakt waarin de uitbreidingen beschreven worden en waarin weergegeven wordt hoeveel tijd en geïnvesteerd werd per uitbreiding. Het plan omvatte de oplevering van de uitbreidingen in drie batches: de eerste batch was een oplevering van de looping, schans, heuvel en spiraal (de naam van de spiraal is later veranderd in cycloon, zie H4.4.3). Bij de schans werd een extra uitbreiding (de 8^e uitbreiding) toegevoegd, de opvangbak.

De tweede batch bestond uit de stopper (de naam is later veranderd in Vertrager, zie H4.4.3) en de Switch.

De laatste batch bestond uit het volledig ontwikkelen van een speciale liftconstructie: De lift met een cardan-gear mechanisme en een dwell mechanisme².

Vooraf de lift vergde een zeer uitgebreide analyse en ontwikkeling vanwege de gebruikte mechanismen. De ontwikkelingen de meeste uitbreidingen zijn voltooid tot een werkend prototype. Enkel de lift en switch zullen verder ontwikkeld moeten worden. De voornaamste reden was het gebrek aan tijd om 8 projecten uit te voeren.

De belangrijkste beslissingen die genomen waren, bestonden uit voornamelijk het uitvoeren van een basis die geschikt is voor zowel de cycloon als de opvangbak, De lift is een doorontwikkeling van 2 verschillende mechanismen (Cardan-gear mechanisme gecombineerd met een dwell-mechanisme). Verder zijn op de volgende pagina nog een aantal beslissingen opgesomd:

¹ Het plan staat beschreven in de CD in de bijlage 'Mogelijkheden Concepten v1.1.pdf'

² Zie H4.6.7 voor een uitgebreide uitleg over dit mechanisme

- De schans, heuvel en vertrager zijn klaar voor massaproductie.
- De cycloon en opvangbak zullen nog enige aanpassingen nodig hebben, dit is afhankelijk van de beslissingen in de toekomst en de keuzes om dit verder te ontwikkelen.
- De switch zit nog in de conceptfase. Voor het ontwikkelen tot een werkend prototype is er een lijst met aanbevelingen beschikbaar.
- De lift wordt een technisch complex product, wat een uitdaging kan zijn voor de doelgroep en een marktonderzoek kan uitwijzen of er vraag is naar een technisch complex (bouwpakket) in de vorm van een lift. Dit zal ook moeten bepalen of de kostprijs gerechtvaardigd kan worden.

De kostprijzen van de uitbreidingen liggen tussen de €0,73 - €1,72 met uitzondering van de lift die een kostprijs heeft van €7,58.

Het ontwerp van de knikkerwand verliep echter niet zonder complicaties. Na de conceptfase is er begonnen met de bouw. Er is een begroting gemaakt die later op een cruciaal onderdeel toch zeer erg bleek af te wijken. Dit bleek een voordeel te zijn vanwege de keuze voor ophanghaken welke een factor 50 goedkoper bleken te zijn (designhaken t.o.v. constructiehaken €0,09 t.o.v. €4,00). De planning bij de baan was onderschat evenals de moeilijkheid bij het ophangen van de bocht delen. Er is geleerd om grotere buffers op te bouwen in de tijdsplanning en om een betere schatting te maken van de tijd en benodigde mankracht. Het eindresultaat was echter een geslaagde show-off van alle mogelijkheden binnen de 'vaste' gelaste banen (RBS, Rolling Ball Sculpture banen³).

De afrondende fase bestond uit het documenteren van alle uitbreidingen en de stand van zaken op dat moment. Er was tevens de tijd genomen om alle stappen te bespreken en aanbevelingen te geven om toch een succesvolle lancering van de uitbreidingen te garanderen⁴.

³ Zie H1.2 voor een uitgebreide uitleg over de RBS banen

⁴ Deze uitgebreide documentatie is terug te vinden in de CD van bijlage I

Verklarende woordenlijst

<i>Spacers</i>	Spacers zijn de benamingen voor de trackdelen welke de tracks op de juiste afstand houden (spacer = ruimte/of tussenlaag in het Engels). Vergelijkbaar met dwarsliggers of bielzen bij treinen.
<i>Cardan-gear Mechanisme</i>	Een mechanisme om een roterende beweging om te zetten in een translatie. Zie hoofdstuk 4.6.7.1 voor een uitgebreide beschrijving over dit mechanisme.
<i>Dwell Mechanisme</i>	Een mechanisme om bij een roterende beweging een intermitterende beweging van de volgers te veroorzaken (denk aan de kleppen van een nokkenas bij een motor). Zie hoofdstuk 4.6.7.2 voor een uitgebreide beschrijving.
<i>RBS</i>	Afkorting voor Rolling Ball Sculptures, deze afdeling binnen het bedrijf houdt zich bezig met gelaste RVS knikkerbanen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Verklarende woordenlijst	5
Inleiding.....	8
1. Serious Marbles Holding	9
1.1 Serious Marbles Bedrijfsinformatie.	9
1.2 Serious Marbles Holding	9
2. Opdrachtschrijving.....	10
3. Vooronderzoek	11
3.1 Huidige situatie	11
3.2 Standaarden modulaire knikkerbaan.....	12
3.3 Doelgroep.....	12
3.4 Toekomst	12
4. Uitbreidingen modulaire knikkerbaan	13
4.1 Doelstelling uitbreidingen.....	13
4.2 (Deel)Opdrachten	14
4.3 Pakket van eisen en wensen	14
4.4 Concepten/Conceptkeuze.....	15
4.4.1 Mogelijkheden uitbreidingen.....	15
4.4.2 Keuzeverantwoording mogelijkheden	16
4.4.3 Toevoegingen en wijzigingen uitbreidingen	16
4.5 Analyse/Aanpak Prototyping	17
4.5.1 Prototyping methodiek	17
4.5.2 Stuks lijst	18
4.5.3 Materialen.....	18
4.6 Ontwerpstappen	19
4.6.1 Looping (A016_P001)	19
4.6.2 Heuvel (A016_P002)	20
4.6.3 Schans (A016_P003).....	21
4.6.4 Cycloon (A016_P004)	23
4.6.5 Vertrager (A016_P005)	24

4.6.6	Switch (A016_P006)	26
4.6.7	Lift (A016_P007).....	27
4.6.8	Schans Opvangbak (A016_P008)	34
4.7	Kosten	36
4.8	Overzicht aanbevelingen uitbreidingen	37
4.8.1	Looping, Heuvel, Schans	37
4.8.2	Cycloon.....	37
4.8.3	Vertrager	37
4.8.4	Switch.....	37
4.8.5	Lift	38
4.8.6	Opvangbak	38
5.	Knikkerwand	39
5.1	Conceptkeuze.....	39
5.2	Kosten Concept.....	40
5.2.1	Begroting.....	40
5.2.2	Verantwoording Budget.....	41
5.3	Bouw/Prototyping Knikkerwand.....	42
5.4	Motorkeuze en controle	43
	Conclusie	45
	Evaluatie Opdrachttuitvoering	46
	Bronnen/links.....	47
	Bijlage I: Hoofdopdracht documentatie.....	48
	Bijlage II: Knikkerwand documentatie	49
	CD.....	49

Inleiding

Het doel van dit document is het weergeven van alle ontwerpstappen, beslissingen en de te verwachten kosten voor het maken van de prototypes. Dit geldt voor zowel de uitbreidingen van de modulaire knikkerbaan als de knikkerwand.

In het kader van de ontwikkeling van de modulaire knikkerbaan is er besloten om parallel van deze ontwikkeling een traject te starten. Daarin worden de uitbreidingen voor de modulaire knikkerbaan ontwikkeld. Deze uitbreidingen zorgen voor het verlengen van de levensduur van de modulaire knikkerbaan (als product in de winkel) en zijn tevens een verlenging van de speelduur.

Ter promotie van de 3D-knikker op het pand aan de Asterweg en ter show-off van de mogelijkheden voor de RBS banen is er besloten om een automatische knikkerwand te maken in de vergaderruimte.

De visie van het bedrijf en het doel van de modulaire knikkerbaan worden besproken.

De uitbreidingen worden eerst algemeen besproken. Tijdens deze bespreking worden de aanpak en analyse per uitbreiding duidelijk en ook de keuze om van één naar acht uitbreidingen te gaan komt aan bod.

Daarnaast wordt er per uitbreiding duidelijk gemaakt waarom een uitbreiding op die manier ontworpen wordt en welk eindproduct het oplevert. De kostprijs per uitbreiding wordt berekend op basis van een aantal offertes voor het maken van matrijzen en kunststofkosten. De prijzen van onderdelen uit de modulaire knikkerbaan die gebruikt worden voor de uitbreidingen zijn ook meegenomen. Deze bestaan uit RVS trackdelen en kunststofonderdelen (zoals spacers).

De uiteindelijke prototypes worden gepresenteerd als een 3D-geprint model mits dat mogelijk is in de tijd van de afstudeerstage. Voor enkele uitbreidingen zijn er uitgebreide 3D-modellen beschikbaar (Lift en Switch).

Allereerst gaat Hoofdstuk 1 in op het bedrijf, op welke markten zij actief zijn, wat de toekomstvisie van het bedrijf is en wat de achterliggende gedachte van de producten zijn. Vervolgens geeft Hoofdstuk 2 inzicht in alle opdrachten die worden uitgevoerd tijdens de afstudeerstage. Hoofdstuk 3 geeft het vooronderzoek daarna weer een inventarisatie van de huidige situatie, hier worden de uitgangspunten voor de uitbreidingen duidelijk. Hoofdstuk 4 gaat dan nog in op de hoofdp opdracht, hier worden alle belangrijke beslissingen en stappen besproken. Als laatste geeft Hoofdstuk 5 de keuzes weer voor de opdracht van de knikkerwand.

Na de conclusie is er nog ruimte om alle aanbevelingen op te sommen zodat de uitbreidingen succesvol op de markt kunnen worden gebracht.

1. Serious Marbles Holding

In dit hoofdstuk wordt er beschreven wat Serious Marbles B.V. voor een bedrijf is (1.1), in welke sectoren Serious Marbles B.V. actief is en bevat een korte beschrijving van de bedrijfsstructuur/organisatie van Serious Marbles B.V.(1.2).

1.1 Serious Marbles Bedrijfsinformatie.

Serious Marbles is het eerste bedrijf ter wereld dat op geautomatiseerde wijze glazen knikkers kan maken met een 2D of 3D object erin. Dit worden 2D en 3D knikkers genoemd.

Serious Marbles fabriceert en produceert deze knikkers voor promotionele doeleinden en voor de detailhandel. Deze bijzondere knikker is een zeer innovatief product voor zowel kinderen als volwassenen om mee te spelen en om te sparen.

In de volledig geautomatiseerde knikkerfabriek gebruikt Serious Marbles de –in house- ontwikkelde gepatenteerde technologie om een zo efficiënt mogelijke productie te bewerkstelligen. Hierdoor kan Serious Marbles ook bij kleine volumes lage prijzen garanderen.

1.2 Serious Marbles Holding

Het bedrijf Serious Marbles B.V. bestaat uit een aantal onderdelen die elk een eigen gebied verzorgen. De holding is opgedeeld in de volgende onderdelen:

- Serious Marbles
- Serious Kinetics
- RBS (Rolling Ball Sculptures)
- Serious Toys⁵
- Serious Licensing⁵

Serious Marbles houdt zich bezig met de promotie en verkoop van de 2D en 3D knikkers, hier bevinden zich ook de marketing en sales afdelingen van de Serious Marbles Holding.

Serious Kinetics richt zich volledig op de modulaire knikkerbaan. Ontwerp, productie en zelfs distributie wordt hier gedaan. Het eindproduct zal een speelgoed knikkerbaan zijn die te koop is in de winkel.

RBS (Rolling Ball Sculptures) is de afdeling welke de metalen banen uitdenkt en bouwt. De banen dienen ter promotie van de 2D en 3D knikkers.

Serious Toys is een toekomstig project om speelgoed vanuit het buitenland (intercontinentaal) te distribueren naar Nederland en Europa.

Serious Licensing houdt zich bezig met de branding en licentieverstreking van merken.

⁵ Op dit moment is het nog geen onderdeel van de Holding, er wordt verwacht dat dit eind 2013 groen licht krijgt

2. Opdrachtomschrijving

Dit hoofdstuk beschrijft uitgebreid welke opdrachten er gedaan dienen te worden en wat voor producten het moet opleveren.

Tijdens de start-up fase van Serious Marbles wordt er gezocht naar mogelijkheden om de 2D en 3D knikkers te verkopen. Een middel hiervoor is het ontwerpen van een speelgoed modulaire knikkerbaan, wat een bouw pakket zal worden, staat in de kinderschoenen. Er zijn veel vragen over het concept en het prototyping. Onder andere de vraag hoe de huidige prototypes verbeterd dienen te worden.

Het uitbreiden van de functionaliteit van de knikkerbanen is een belangrijke stap nadat het uiteindelijke model van de knikkerbanen er ligt (bijvoorbeeld met uitbreidingen).

Hieruit zijn de volgende opdrachten ontstaan:

Hoofdopdracht Uitbreidingen:

- Er zal gekeken moeten worden naar de uitbreiding van de functionaliteit door bijvoorbeeld een spelelement aan de baan toe te voegen. Deze opdracht bestaat uit het ontwerpen, prototypen en daadwerkelijk maken en testen. Voor voldoende diepgang wordt gezorgd door de uitbreidingen voldoende uitdagend te maken. Een voorbeeld zou zijn om een knikker af te schieten of gebruik te maken van middelpuntvliedende krachten in een komvorm (en dus het krachtenspel uitwerken)
- De uitbreidingen worden gemodelleerd en voorgelegd, vanuit deze concepten wordt er verder gewerkt naar meerdere ontwerpen en prototypes

Opdracht Knikkerwand:

- Ter promotie van de 2D en 3D knikkers in het pand
- Verantwoordelijk voor het ontwerp tot het uiteindelijk bouwen in de vergaderruimte
- Ruimte voor 20 soorten knikkers en 50 knikkers per soort
- Belastbaar met maximaal 1000 knikkers
- Knikkers zijn gemakkelijk van de baan te pakken (zodat klanten de knikkers kunnen inspecteren)

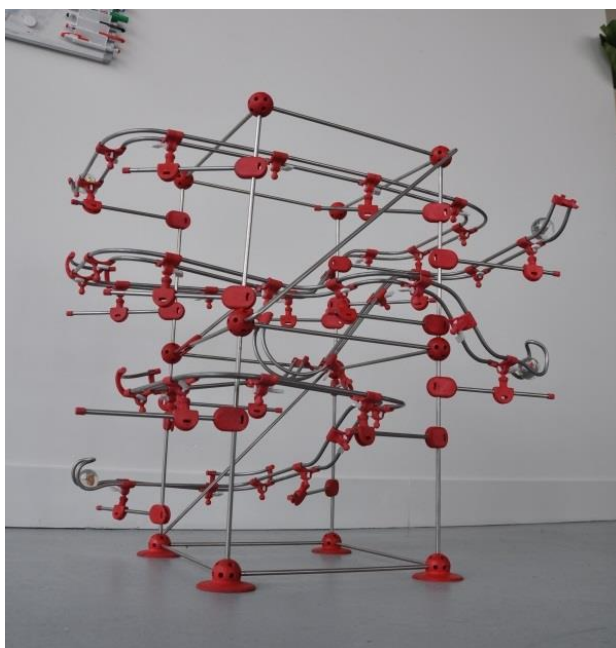
3. Vooronderzoek

Tijdens het afstuderen worden er een aantal opdrachten uitgevoerd naar aanleiding van de modulaire knikkerbaan. Voordat deze opdrachten plaats kunnen vinden is het nodig een vooronderzoek te starten waarin de huidige situatie duidelijk wordt. Dit document kan vervolgens als basis dienen voor de opdrachten. De opdracht waar dit vooronderzoek betrekking op heeft is:

3.1 Huidige situatie

De huidige situatie van de modulaire knikkerbaan bevindt zich in de prototype fase. Het doel van de modulaire knikkerbaan is om de Serious Marbles knikkers te promoten. Door middel van het koppelen van de Serious Marbles knikkers aan een (modulaire) knikkerbaan ontstaat een soort van koppelverkoop (De Serious Marbles knikker kan alleen op de Serious Marbles baan, de knikkerbaan wordt tevens geleverd met een aantal Serious Marbles knikkers). De modulariteit vergroot de mogelijkheden van een 'statische' knikkerbaan. Door middel van de modulariteit kan de creatieve geest van de doelgroep zorgen voor oneindig lange, snelle en hoge banen. Een impressie van versie 1.0 is te vinden in figuur 1.

Het huidige prototype bestaat uit een onderdelen waar de consument een eigen baan mee kan bouwen. Het huidige prototype kan in 3 sets worden uitgevoerd, namelijk: Basis, Standaard en Deluxe⁶.



Figuur 1: Modulaire knikkerbaan v1.0 (Prototype)

⁶ Deze namen zullen marketingtechnisch veranderen wanneer dit product op de markt wordt gebracht.

3.2 Standaarden modulaire knikkerbaan

De prototypes hebben allemaal een aantal uitgangspunten. Dit zijn punten waaraan de uitbreidingen ook dienen te voldoen. Deze standaarden zijn:

- Trackbreedte is 30mm
- Knikkers 35mm diameter
- Gebruik maken van de uiteindelijke spacers, zo veel mogelijk up-to-date blijven bij het huidige proces
- Het gebruik van RVS voor de metalen delen van de track
- Het gebruik van dezelfde soort kunststof, dit is echter ten tijde van het schrijven van dit rapport nog niet bekend (23-5-2013)

3.3 Doelgroep

De doelgroep voor de knikkerbanen zijn kinderen van 6-14 jaar. Dit heeft uiteraard een grote invloed op de complexiteit van de banen, maar ook het 'interessant' en 'spannend' houden van de modulaire knikkerbaan. Het combineren met thema's bij deze banen valt buiten het spectrum van de opdracht en hoort bij Marketing (met thema's wordt bijvoorbeeld een 'Looney Tunes ©' of 'Hello Kitty ©' thema bedoeld met knikkers, grondplaten en onderdelen uitgevoerd in de betreffende figuren en/of kleuren).

3.4 Toekomst

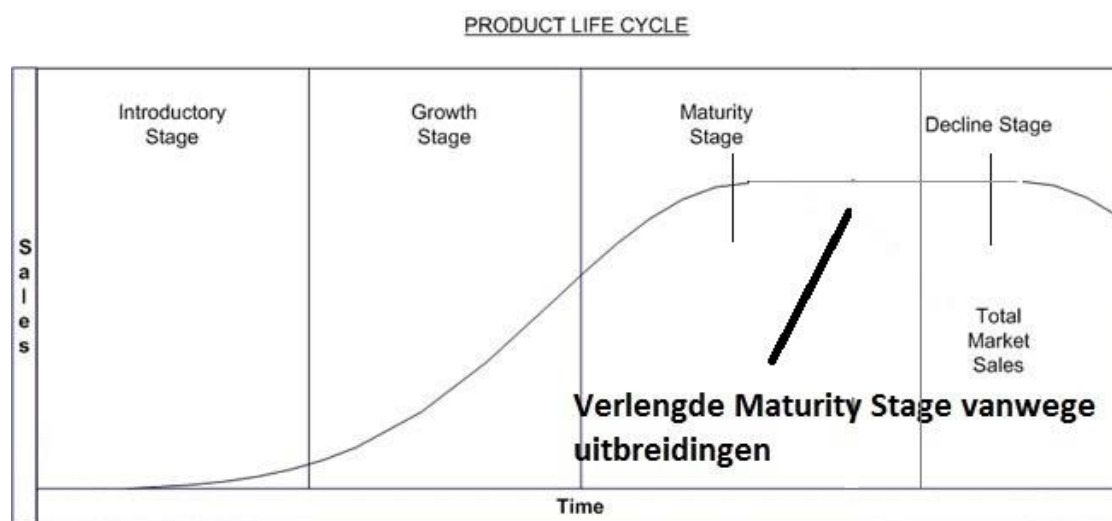
De toekomst van deze baan zal liggen in de 'Final' versie en hoe deze wordt ontvangen bij de winkeliers. Zodra de winkeliers een Go geven en alle aanpassingen daarvan zijn doorgevoerd, kunnen de ontwerpen van de uitbreidingen ook aangepast worden naar de laatste versies. Aangezien er parallel wordt gewerkt aan de uitbreidingen kan bij een Go een enorme voorsprong worden gemaakt. Immers, er is hier reeds mee begonnen.

4. Uitbreidingen modulaire knikkerbaan

Het maken van de modulaire knikkerbaan is de eerste stap om een nieuw product op te markt te brengen. Dit zorgt voor de introductie van een 'nieuw' soort speelgoed op de markt.

Als er naar de toekomst van een product wordt gekeken valt op dat een product in leven wordt gehouden doordat er telkens, tijdens de verschillende 'levensfasen' van een product (de Product Life Cycle, Product Levens Cyclus), vernieuwingen worden doorgevoerd of een nieuw product op de markt wordt gezet. Als dit niet gebeurt wordt een productgroep niet meer interessant ervaren en komt het in de zogenaamde 'decline-' of 'afwijzings-' fase.

Een van de mogelijkheden om de PLC te verlengen is door het introduceren van nieuwe producten (lees: uitbreidingen). Het resultaat van een verlengde PLC is te vinden in figuur 2 hieronder⁷



Figuur 2: Verlengde Product Levens Cyclus

4.1 Doelstelling uitbreidingen

Het doel van deze opdracht is het doorrekenen en ontwerpen van aantrekkelijke uitbreidingen op de modulaire knikkerbaan. Dit hoofddoel kan worden opgesplitst in een aantal kleinere doelen:

- Onderbouwde keuze over het soort uitbreiding
- Onderbouwde keuzes voor de gekozen uitbreiding
- Prototype maken van de uitbreiding⁸
- Volledig 3D model in SolidWorks
- Volledige rapportage van alle keuzes en verzamelde gegevens van dit project

⁷ Voor meer informatie over de PLC en zie het "Plan van Aanpak v1.1.pdf" behorende bij de uitbreidingen (CD)

⁸ Als de tijd het niet toelaat, dan volstaat een uitgewerkt 3D model met instructies en overdracht van de gegevens tot het einde van de afstudeerstage

4.2 (Deel)Opdrachten

De opdracht voor de uitbreidingen kan omschreven worden in 2 (deel)opdrachten, namelijk:

1. Het bedenken van mogelijke uitbreidingen
2. De keuze van de concepten en de uitwerking hiervan

4.3 Pakket van eisen en wensen

De uitbreidingen moeten voldoen aan de ontwerpseisen van de modulaire knikkerbaan (zie figuur 3 voor een impressie van het prototype v1.0 model) en in dit kader ontworpen worden. Uiteraard moeten de uitbreidingen ook het speelplezier verhogen. De volgende wensen en eisen zijn in overleg bepaald voor de uitbreidingen van de modulaire knikkerbaan:

Eisen

- Metalen 'Sound, Look & Feel'
- Geschikt voor kinderen van 6-14 jaar
- Geen irritatiefactor tijdens het spel en de bouw
- Moet solide aanvoelen (d.w.z. sterke constructie; 'niet wiebelen')
- Geschikt voor Serious Marbles knikkers met een diameter van 35mm
- De trackbreedte bedraagt 30mm
- Verhoogd speelplezier

Wensen

- Kostprijs/betaalbaarheid
- Gebruik maken van huidige oplossingen zoals spacers (het moet aan kunnen sluiten op de huidige spacers)
- Eigen frame, indien niet mogelijk dan gebruik maken van het frame van de baan
- Interessanter/spannender maken van de huidige baan
- Langere levensduur als geheel van de knikkerbaan en uitbreiding
- Het verlengen van de speelduur
- Automatisering (gebruik maken van huidige technologie en het combineren daarvan, voorbeeld het aansturen van elementen met een telefoon)
- Promotie/branding mogelijkheden op de uitbreiding plaatsen

4.4 Concepten/Conceptkeuze

Tijdens de conceptfase wordt er nagedacht over alle mogelijke opties om de modulaire knikkerbaan uit te breiden. In deze fase gaat het om het bedenken van de functionaliteit, een voorbeeld is: 'het verplaatsen van de knikker in verticale richting'.

4.4.1 Mogelijkheden uitbreidingen

Enkele uitbreidingen zijn gebaseerd op de uitbreidingen van de huidige RBS (Rolling Ball Sculptures) banen. De volgende uitbreidingen zijn genoemd als mogelijke opties voor het uitwerken van een prototype toepasbaar op de modulaire knikkerbaan:

- Lift
- Looping
- Switch
- Stopper (Later veranderd naar 'vertrager'⁹)
- Schans (Later aangevuld met een uitbreiding 'opvangbak')
- Heuvel
- Spiraal (Later veranderd naar 'cycloon')

Voor elk van deze uitbreidingen is nagedacht over de voor- en nadelen en de ontwikkeltijd van deze uitbreidingen¹⁰. De ontwikkeltijd is gebaseerd op de complexiteit van het model en de tijd die het kost om een prototype te ontwerpen en bouwen.

Tabel 1 geeft een overzicht weer van alle opties met de te verwachten ontwikkeltijden¹²:

Tabel 1: Overzicht met de ontwikkeltijden per uitbreiding

Positie	Uitbreiding	Ontwikkeltijd	Redenatie
1.	Lift	7 weken	Cardan-gear mechanisme biedt veel uitdaging. Lift essentieel voor langere speelduur
2.	Vertrager (Stopper)	3-7 weken	Stopper met toevoegen kinetische energie zorgt voor een veel langere speelduur
3.	Switch	4,5-7 weken	Meerdere tracks mogelijk
4.	Cycloon (Spiraal)	4-6 weken	Visueel leuk + geeft extra mogelijkheden t.o.v. looping
5.	Looping	4 weken	Leuke toevoeging; knikker beweegt snel
6.	Schans	3,5-4 weken	Wellicht te precies voor gebruiker
7.	Heuvel	3,5-4 weken	Niet zo heel speciaal

⁹ Deze zal in het vervolg Vertrager worden genoemd. De Spiraal wordt in het vervolg Cycloon genoemd, zie H4.4.3

¹⁰ Voor een uitgebreid overzicht met alle ontwikkeltijden, voor- en nadelen, concepten en functionaliteiten wordt er verwezen naar 'Mogelijkheden Uitbreidingen v1.1.pdf' op de CD in de bijlage I

4.4.2 Keuzeverantwoording mogelijkheden

Vanwege de oplevering van de modulaire knikkerbaan naar de winkeliers toe is er gekozen om bij de modulaire knikkerbaan ook direct een aantal uitbreidingen te leveren. Deze keuze heeft een aantal gevolgen voor de ontwikkeltijd. De ontwikkeltijd die geschat wordt per uitbreiding is de ontwikkeltijd welke nodig is om volledig vanaf het begin af aan een compleet nieuw design neer te zetten.

Er is overeengekomen met het bedrijf om een aantal van deze uitbreidingen niet opnieuw te ontwerpen maar deels gebruik te maken van de huidige ontwerpen om het ontwerpproces te versnellen. Dit resulteert in een snellere oplevering van de producten (lees: prototypes).

Dit zal ten koste gaan van de tijd die nodig is om rekening te houden met (alternatieve) materiaalkeuzes, constructies en eventueel 'slim' construeren. Het proces wordt versneld door deze keuzes te laten vallen voor het grootste deel van de uitbreidingen (eerste en tweede batch) en gebruik te maken van de huidige materiaalkeuze en bevestigingspunten aan het prototype van de modulaire knikkerbaan.

De volgende uitbreidingen hebben de hoogste prioriteit en zullen worden opgeleverd met de 'eerste batch'. De ontwikkeltijd van deze batch is maximaal 17% van de beschikbare tijd.

- Looping
- Schans
- Heuvel
- Cycloon (Spiraal)

Daarna volgt in de 2^e batch. De ontwikkeltijd van deze batch bedraagt 33% van de beschikbare tijd:

- Vertrager (Stopper)
- Switch (iets meer ontwikkeltijd dan de stopper)

En als laagste prioriteit en hoogste ontwikkeltijd (maximaal 50% van de beschikbare tijd):

- Lift (cardangear-mechanisme)

4.4.3 Toevoegingen en wijzigingen uitbreidingen

Wijzigingen en toevoegingen op de uitbreidingen tijdens de ontwikkelingsfase zijn er altijd. Zo zijn een aantal namen veranderd van de uitbreidingen zodat direct duidelijk is wat deze uitbreiding inhoudt.

Extra uitbreiding opvangbak

De modulaire knikkerbaan is uitgebreid met een 8^e uitbreiding, de opvangbak. De plaatsing van de schans vereiste veel tijd, een opvangbak is een logische keuze als extra uitbreiding (de plaatsing van de schans neemt dan niet veel tijd in beslag). In de eerste instantie werden deze oplossingen samengevoegd. Er is later besloten vanwege de grootte van de opvangbak en de mogelijkheid om de opvangbak in te zetten voor meerdere uitbreidingen, om de opvangbak als een aparte uitbreiding te beschouwen. De opvangbak zal tussen de 1^e en 2^e batch van op te leveren producten vallen.

Spiraal wordt Cycloon

De spiraal is van naam veranderd naar een Cycloon (vernoemd naar de gelijknamige stormen die een cirkels ronddraaien). De knikker rolt in de bak rond als een Cycloon, vandaar de naamgeving.

Stopper wordt Vertrager

De stopper is technisch gezien geen uitbreiding die de knikker stil doet laten staan (stoppen) maar een element dat de knikker vertraagd. Vandaar dat de naam van Stopper veranderd is in Vertrager.

Oplevering in 'batches'

De oplevering van de producten per batch is een middel om de ontwikkeling van de uitbreidingen goed in te kunnen plannen. De uitbreidingen worden op het einde van de afstudeerstage opgeleverd als zijnde 1 grote batch met uitbreidingen.

4.5 Analyse/Aanpak Prototyping

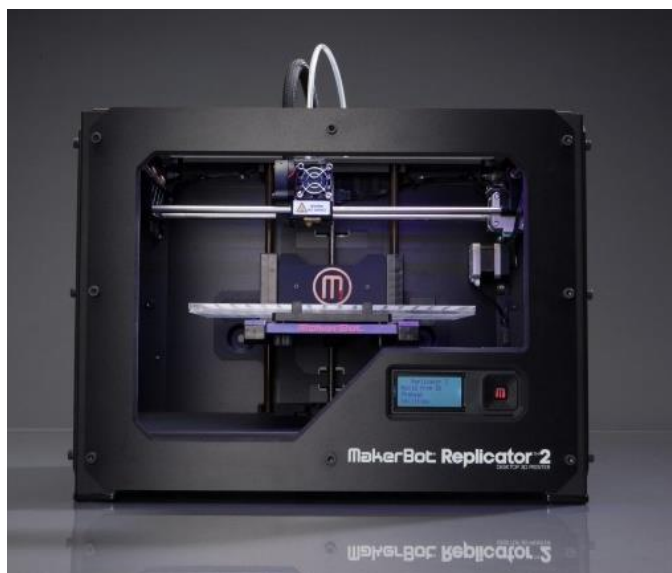
Per uitbreiding wordt er gedocumenteerd wat er ontworpen wordt en hoe dit is afgebakend. Vervolgens worden er een aantal schetsen gemaakt welke overeenkomen met de functies die zijn besproken in de 'mogelijkheden uitbreidingen v1.1.pdf', zie bijlage I. Deze functies zijn na overleg met het team overeengekomen.

4.5.1 Prototyping methodiek

Ten eerste zijn er schetsen gemaakt voordat het 3D modelleren is begonnen. Door het gebruik van SolidWorks wordt het mogelijk om direct het model te assembleren en eventueel na te denken over verbeteringen. Tezamen met de schetsen en de assemblagetekeningen van SolidWorks wordt er gekeken of er genoeg gebruik gemaakt wordt van standaardonderdelen (wat een grote wens is zodat de kosten worden gedrukt, het is goedkoper om bijvoorbeeld 10.000 keer een onderdeel in te kopen dan 2 keer 5.000 keer vanwege kwantumkortingen en het verdelen van de vaste kosten over meer onderdelen) en de ontwerpen voldoen aan alle eisen.

Zodra in SolidWorks een model is ontworpen welke voldoet aan alle eisen, dan wordt er een 3D model geprint met behulp van de Makerbot 3D printer (zie figuur 3 op de volgende pagina). De 3D printer laat direct de voor- en nadelen van het model zien. Een visualisatie van het 3D model in de computer combineren met de 'look-and-feel' van het 'echte' model geven een zeer goede indicatie van het uiteindelijke productiemodel. Nadat het model getest is kan er door worden gewerkt aan verbeteringen van het model. Zodra deze verbeteringen doorgevoerd zijn wordt er weer een nieuwe versie geprint totdat er een productie gereed model ligt.

Dit proces herhaalt zich totdat er een uiteindelijk model ontstaat wat het beste overeenkomt met alle wensen en eisen.



Figuur 3: Makerbot Replicator 2

Deze manier van prototypen is uitermate geschikt voor het vinden van bijvoorbeeld passingen in de spacers waar de RVS trackdelen in worden gestoken. Los-vaste passingen zijn beter te testen met een levensecht prototype en de 'feeling' en hoeveelheid kracht die benodigd is dan een simulatie. Een simulatie in de computer geeft simpelweg een getal weer. Een 3D print geeft het uiterlijk, gevoel en het geluid van het product weer.

4.5.2 Stuks lijst

Voor elke uitbreiding is geïnventariseerd welke onderdelen er benodigd zijn. Ook is er een schatting van de kostprijs gemaakt naar aanleiding van enkele offertes.

4.5.3 Materialen

Het materiaal dat gebruikt wordt voor de metalen onderdelen is RVS304¹¹ (trackdelen). Het materiaal voor de kunststofdelen is afhankelijk van de beslissing welk soort kunststof er gebruikt wordt in de modulaire knikkerbaan. Tijdens het aanvragen van offertes is er uitgegaan van een kunststof welke veel overeenkomsten heeft (sterkte en flexibiliteit) met 'Lego' namelijk ABS (Lego is gemaakt van PS oftewel Polystyreen). ABS is in veelvoud te verkrijgen en heeft daarom ook een relatief lagere kostprijs (waarbij PS iets duurder is)¹².

Alle kunststofdelen zijn van ABS tijdens de offerteaanvragen tenzij anders aangegeven in Hoofdstuk 5. De tandwielen zijn gemaakt van POM. Voor verdere uitleg hierover zie het document 'A016_P007 Lift v1.1.pdf' op de CD in de bijlage I.

¹¹ Dit soort RVS wordt voor de huidige RVS banen en de modulaire knikkerbaan gebruikt. Vandaar dat er voor de uitbreidingen ook deze keuze is gemaakt

¹² http://www.vraagenaanbod.nl/marktprijzen/id9634-Kunststofprijzen_week.html geraadpleegd op 30/05/2013

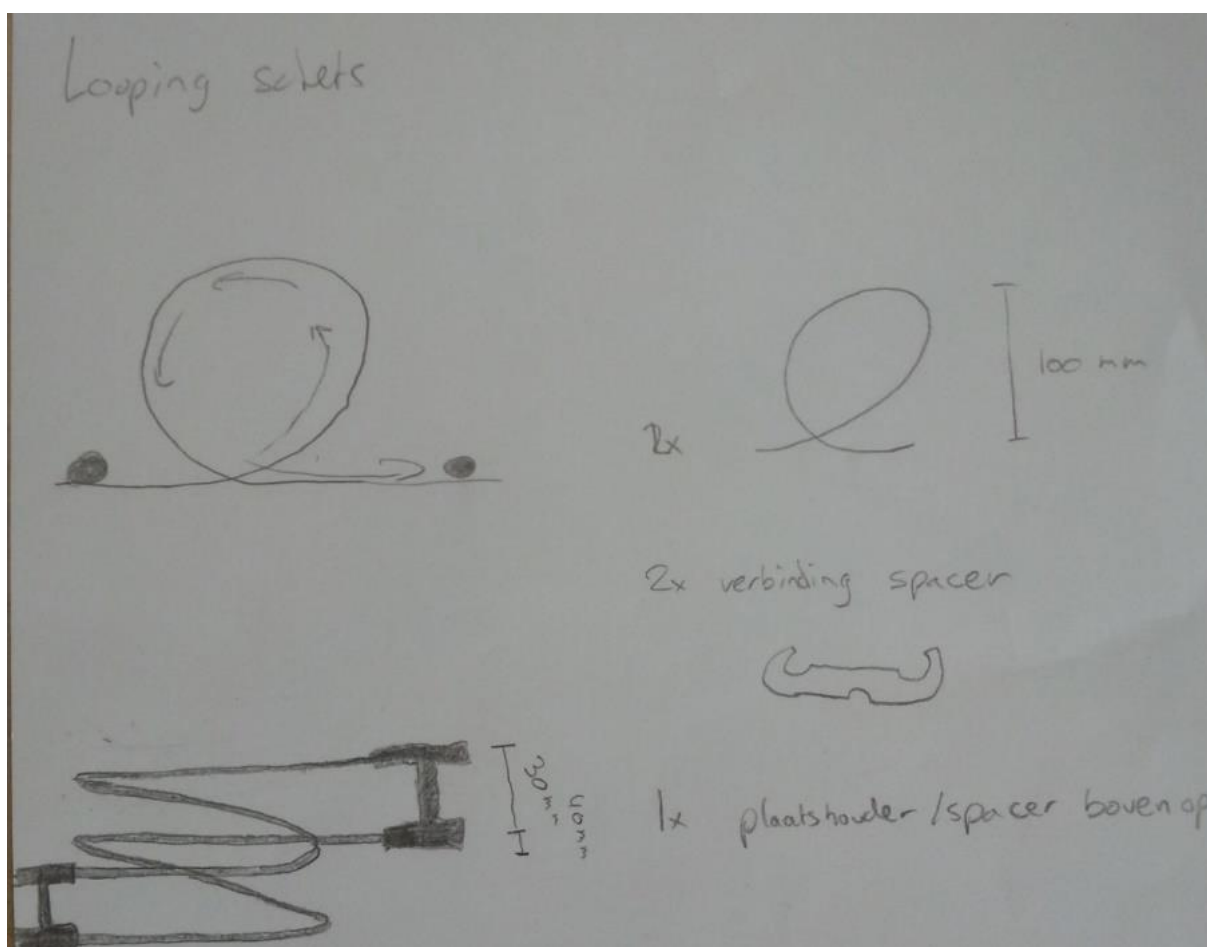
4.6 Ontwerpstappen

In dit hoofdstuk worden de belangrijke beslissingen en ontwerpstappen besproken per uitbreiding. Ook de fase waarin de uitbreiding zich bevindt en welke stappen er nog moeten worden doorlopen voor een succesvolle lancering in de winkel.

De uitbreidingen worden tevens genoemd met de bijbehorende database code (interne naamgeving). De uitbreidingen zijn te vinden onder de A016 assembly codes. De P code achter de assembly geeft aan over welke uitbreiding het gaat.

4.6.1 Looping (A016_P001)

De looping heeft als functie om de knikkers in de modulaire knikkerbaan in een verticale richting een cirkel te laten afleggen. Een conceptschets is te vinden in figuur 4 hieronder:



Figuur 4: Schets opdracht Looping

Van de uitbreiding was al een 3D model beschikbaar. Er is een herontwerp gemaakt met nieuwe maten en een assembly welke de spacers bevat. Voor meer informatie hierover zie: 'A016_P001 Looping v1.0.pdf' op de CD in de bijlage I.

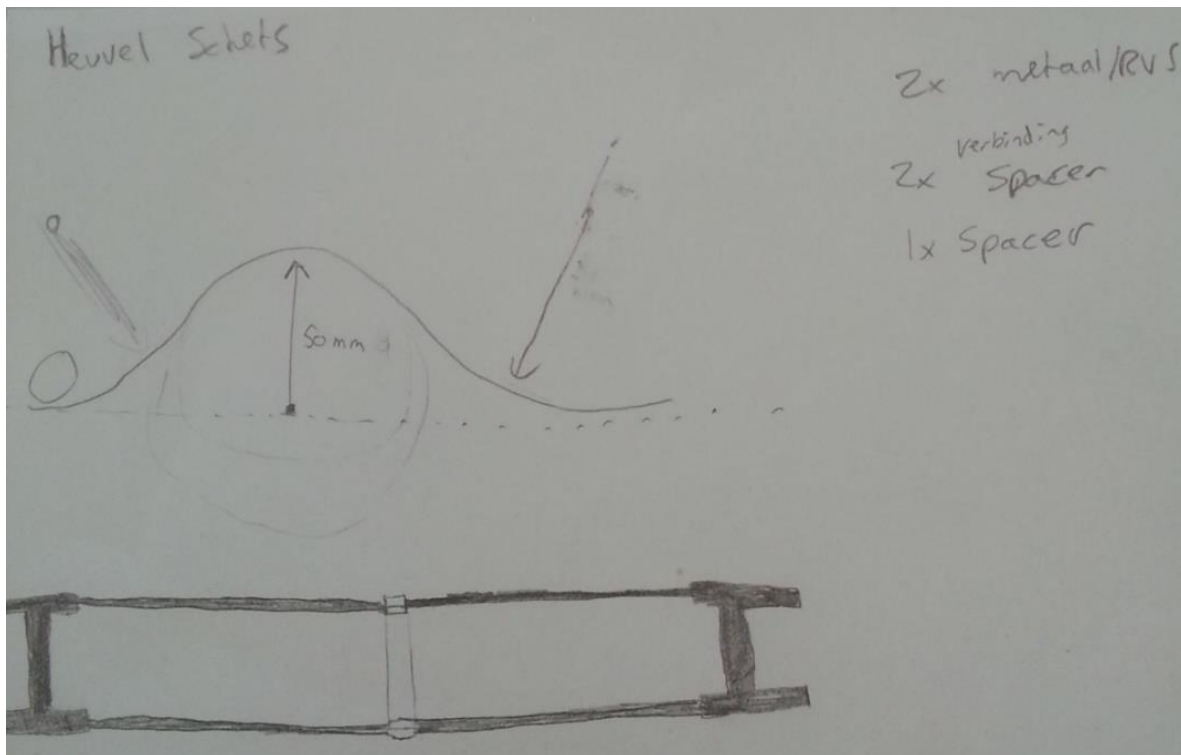
Het werkende prototype ziet er als volgt uit (figuur 5):



Figuur 5: Uitbreiding Looping

4.6.2 Heuvel (A016_P002)

Van de heuvel bestond er al een werktekening. Er is besloten om toch een eigen ontwerp te maken. Dit ontwerp bestaat uit een aparte spacer in het midden. De werktekeningen voor de metalen delen zijn zelf opnieuw getekend met de nieuwe maten. Er is gekozen om de spacers te gebruiken uit de modulaire baan. Een schets van dit concept is te vinden in figuur 6:



Figuur 6: Schets uitbreiding Heuvel

Het prototype welke in de modulaire baan komt is te vinden in figuur 7:

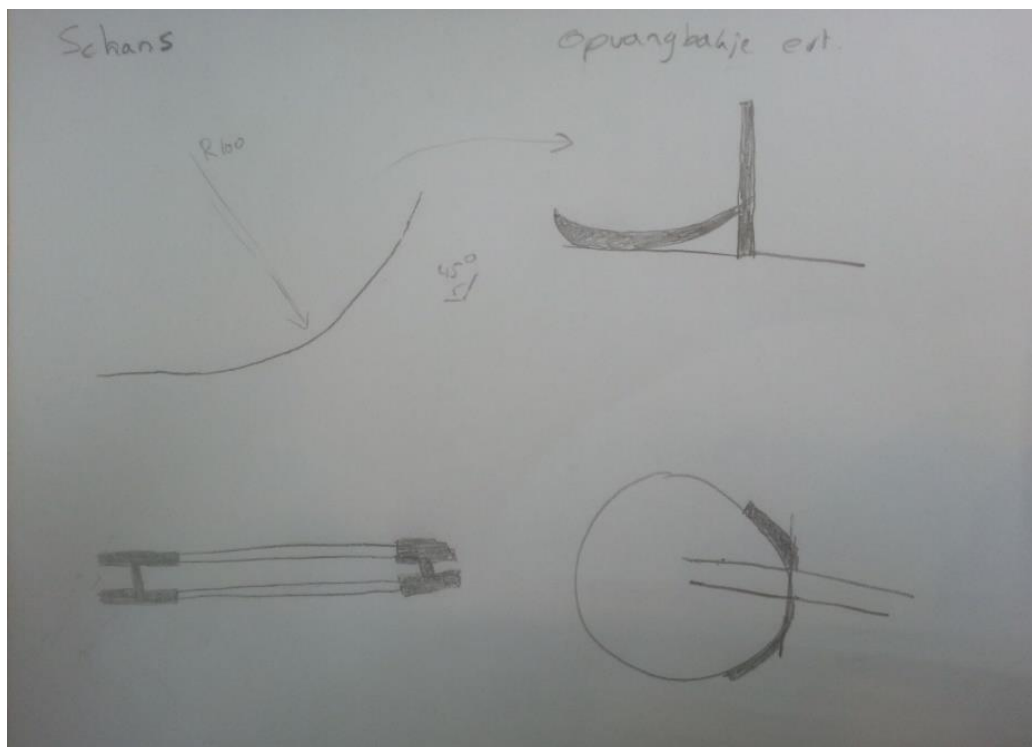


Figuur 7: Prototype uitbreiding Heuvel

Voor meer informatie over het ontwerp van de heuvel zie de documentatie van 'A016_P002 Heuvel v1.0.pdf' op de CD in de bijlage I.

4.6.3 Schans (A016_P003)

De schans is tijdens het ontwerpen uitgebreid met een extra uitbreiding, de opvangbak (A016_P008). Op deze manier zitten de ontwerpen elkaar niet in de weg als deze als een onderdeel/uitbreiding ontworpen moeten worden. De opvangbak kan namelijk voor meerdere doeleinden worden ingezet. De schets echter is nog gebaseerd op beide uitbreidingen, zie figuur 8:



Figuur 8: Schets uitbreidingen Schans (Linker 2 afbeeldingen) en Opvangbak (rechts).

Het eerste concept van de schans ging uit van bochtdelen met 2 spacers. (figuur 9). Dit concept voldeed echter niet aan de esthetische wensen (het ziet er namelijk uit als een uitbreiding welke niet 'af' is). Er is besloten om verder te gaan met een volledig gebogen track zoals in figuur 10 te zien is. Dit idee is direct uitgewerkt en getest als prototype.



Figuur 9: Concept versie 1 Schans



Figuur 10: Concept versie 2 Schans, testversie met extra spacer

Dit model is tevens het enige model waar geen offerte beschikbaar voor is. Er is echter met offertes voor de modulaire baan aan de slag gegaan om alles te analyseren, hieruit zijn de kosten per buiging/bewerking berekend en is de totale lengte van de baan berekend. De kostprijs voor dit concept is een schatting.

Dit model is verder geschikt voor serie en massaproductie; er zijn verder geen stappen meer nodig.

Een uitgebreide uitleg over de opbouw van de kostprijs en de ontwerpen is te vinden in de documentatie 'A016_P003 Schans.pdf' evenals de werktekening voor het metalen trackdeel.

4.6.4 Cycloon (A016_P004)

De cycloon is een model wat enkele versies ondergaan heeft naar aanleiding van concepten van de opvangbak. In de ontwikkelfase is de keuze gemaakt om voor de laatste versie een basisversie te ontwikkelen welke zowel geschikt is voor de Cycloon als voor de Opvangbak. Door een speciaal scherm op de basisversie te klikken wordt de uitbreiding verkregen. De voornaamste keuze voor een basisversie is kostenbesparing in zowel materiaal als ontwikkeltijd.

De eerste versie van de cycloon is te vinden in figuur 11:



Figuur 11: Cycloon basisvorm (Versie 1)

Na het besluit dat dit model te groot is, wordt er verder gewerkt aan een prototype welke bestaat uit een framedeel en een 'klikbaar' komdeel. Dit werd echter onnodig complex waartoe besloten is (tezamen met de ontwikkeling van de Opvangbak) om een basisvorm te maken met als toevoeging een extra scherm. Het resultaat van de basisversie is te vinden in figuur 12, het 3D model met daarin het scherm is te vinden in figuur 13:



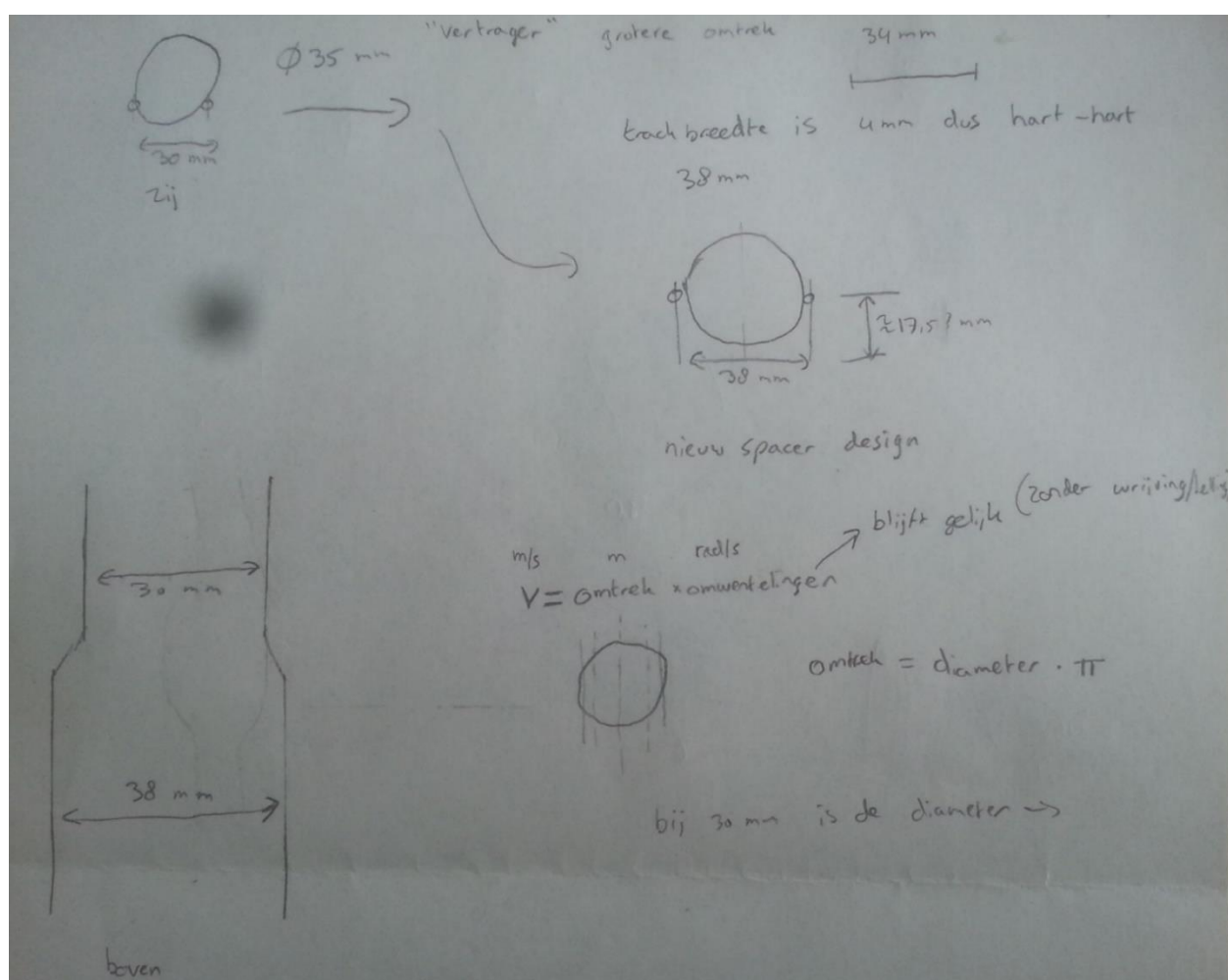
Figuur 12 en 13: Links het prototype Cycloon en rechts een render van het geheel in elkaar gedrukt inclusief bijbehorende glazen knikker

De kostprijs van deze uitbreiding is gebaseerd op de eerste versie. Er is ook een verbeterde versie genoemd in de offerte, echter is het mogelijk om met optimalisaties tot een nog dunner (en goedkoper) model te komen. De prijzen zijn te vinden in hoofdstuk 4.7 (kosten).

Voor een uitgebreide uitleg over de gemaakte stappen wordt er verwezen naar 'A016_P004 Cycloon.pdf' op de CD in de bijlage.

4.6.5 Vertrager (A016_P005)

De vertrager heeft als functie om de relatieve snelheid van de knikker te doen verlagen (de omwentelingssnelheid daarentegen wordt verhoogd). De track waarin de knikker zich bevindt wordt verbreed van de standaard 30mm naar 38mm (de knikker zelf is 35mm breed, de trackdelen zijn 4mm dik, er is bij 38mm nog ruimte voor een raakvlak van 1mm aan beide kanten). Zie figuur 14 voor de schets met enkele berekeningen:



Figuur 14: Schets uitbreiding vertrager

De omtrek bij het raakvlak van de knikker met een trackbreedte van 30mm bedraagt 22,98mm. Bij een trackbreedte van 38mm bedraagt de omtrek van het raakvlak 7,87mm

Dit geeft een vertraging van $22,98/7,87 = \sim 2,92x$

Het initiële ontwerp bestond uit een gebogen trackdeel met een speciaal ontworpen spacer waarin de 38mm track zou vallen. Zie figuur 15:



Figuur 15: Render Versie 1 vertrager met in het midden de speciaal ontworpen spacer

Dit model bleek een zeer breekbare spacer te bevatten, de spacer is aangepast op alle punten waarop deze faalde:

- Breekbaarheid
- Bevestiging (metalen trackdelen)
- Passing (met metalen trackdelen) passing met de metalen delen
- Dikte van het skelet (breekbaarheid).

Bij het doorvoeren van nieuwe oplossingen (versie 2) is gebleken dat het voordeliger zou zijn om de RVS delen niet te buigen en gebruik te maken van 2 standaard rechte delen. Dit betekent echter dat de overgang van smal naar breed plaats moet vinden in de spacer zelf. Door het testen van deze spacer kwam er nog een probleem naar boven met betrekking tot het hoogteverschil. Versie 4.0 van deze spacer heeft dit opgelost. Het uiteindelijke model is een model met twee (dezelfde) speciaal ontworpen spacers en maakt verder gebruik van 2 standaard rechte RVS delen. Dit model is te vinden in figuur 16:



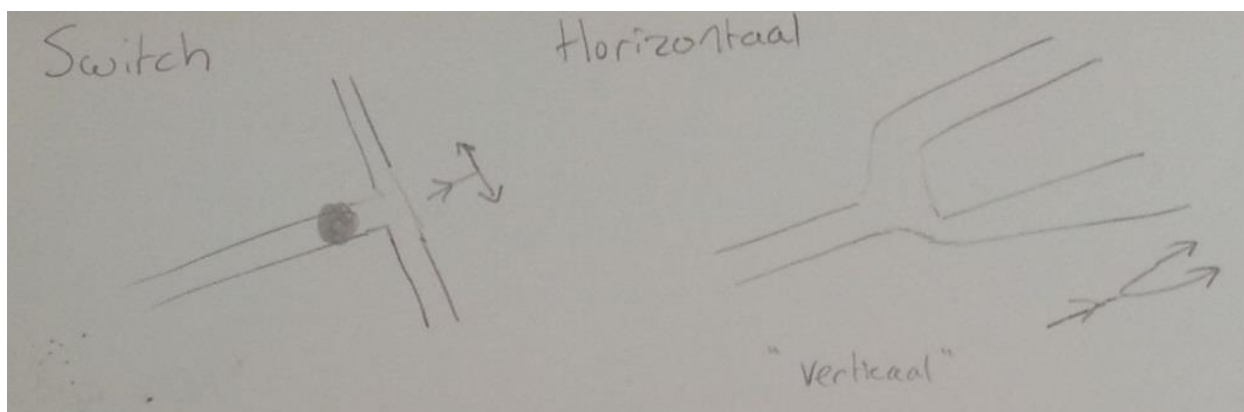
Figuur 16: Uiteindelijke prototype vertrager

Voor meer informatie over de stappen in de verschillende versies zie: 'A016_P005 Vertrager v1.0.pdf'

4.6.6 Switch (A016_P006)

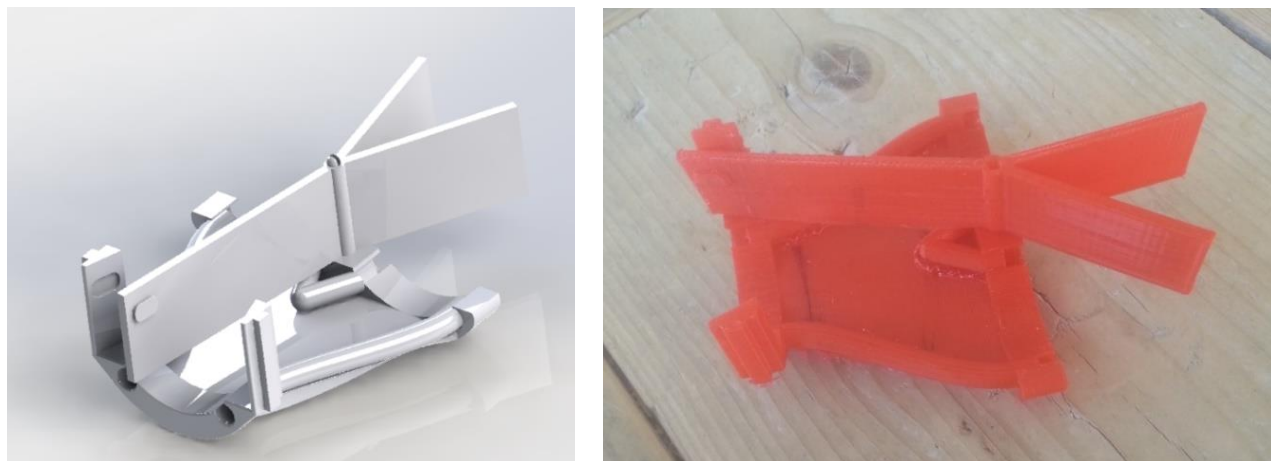
De switch bevindt zich als enige uitbreiding nog volledig in de conceptfase. Er is een model geprint welke voldeed aan de schetsen. Dit model moet echter nog de nodige herontwerp stappen doorlopen. Deze stappen worden later in dit hoofdstuk genoemd.

De ontwerp schetsen zagen er uit zoals in figuur 17 te zien is. Er is gekozen om een horizontale (hogesnelheid) switch te maken.



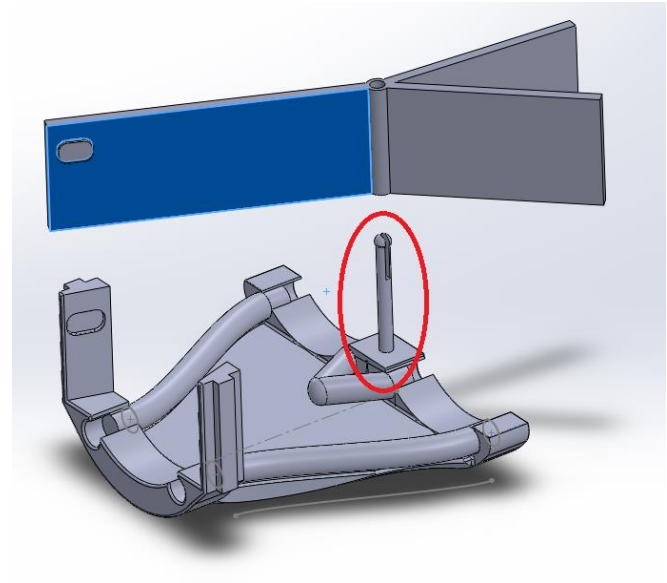
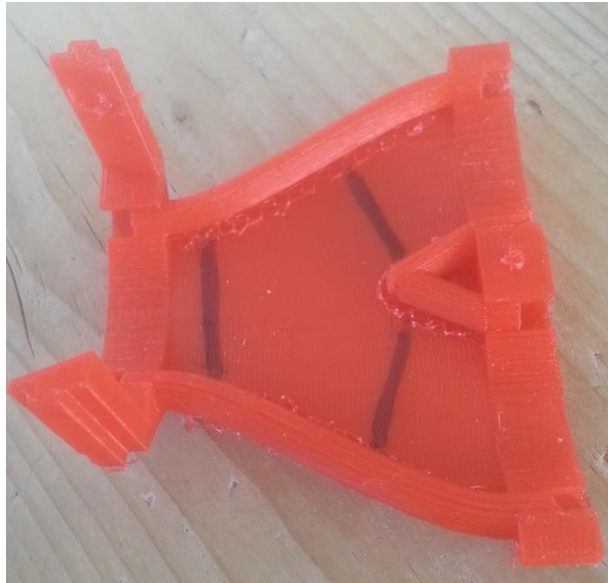
Figuur 17: Schets switch

Het prototype is zo ontworpen dat het doorlopen van de knikker van een enkele track naar twee tracks zo vloeiend mogelijk gebeurt. In figuur 18a is de switch te zien en in figuur 18b het 3D geprinte model.



Figuur 18a/b: Switch en switchhouder concept 3D model links en rechts het geprinte model

Tijdens het modelleren is er nog geen rekening gehouden met de fabricagemogelijkheden. Dit concept was bedoeld om te kijken naar mogelijkheden voor een vloeiende overgang. Een spuitgietmodel van dit concept zal een zeer complexe matrijs vereisen. Dit model is vanwege de tijdsdruk niet verder uitgewerkt en heeft de laagste prioriteit gekregen. Om deze uitbreiding toch als een succesvolle uitbreiding op de markt te brengen is er wél nagedacht in de vorm van een aantal aanbevelingen over de aanpassingen van dit model en de complicaties waar het huidige prototype tegenaan loopt, figuur 19a laat dit zien:



Figuur 19a/b: Links de Switch aanpassingen en rechts de betreffende pin

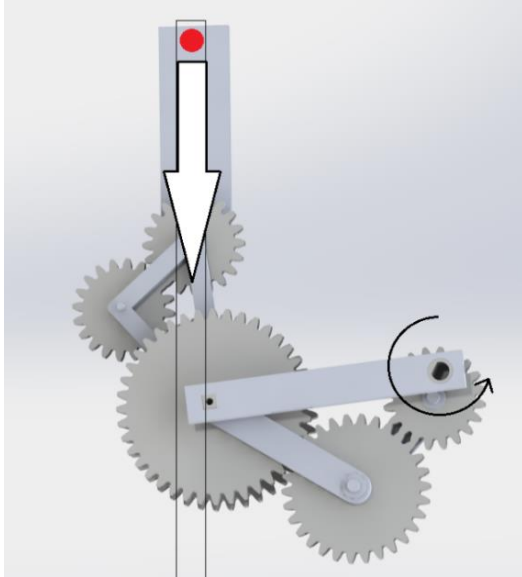
De strepen die zijn getekend zullen de nieuwe locaties vormen van de 'ingebakken' spacers. Dit zorgt voor een kleinere, lichtere en goedkopere spacer. Ook het lichaam van de switch heeft geen functie, de knikker rolt immers over de kunststof curve. De 'pin' (zie figuur 19b) waarin de switch komt is veel te dun, dit breekt af. Tevens hoeft de switch niet zo hoog te zijn. Dit kan allemaal worden ingekort. De pin wordt dan kleiner en moet dikker ontworpen worden. Of het pinnetje zal in de switch moeten en een gat in de houder worden gemaakt.

Voor meer informatie over de ontwerpstappen en aanbevelingen wordt er verwezen naar 'A016_P006 Switch v1.0.pdf' op de CD in bijlage I.

4.6.7 Lift (A016_P007)

De lift is de uitbreiding met de grootste ontwikkeltijd en het meest complexe mechanisme. Voor de aandrijving is niet gekozen voor een conventionele liftaandrijving met een tegengewicht (zoals bij tractieliften) of door middel van vloeistoffen onder druk (hydraulische liften) maar een variant op het cardan-gear mechanisme gecombineerd met een 'dwell'-mechanisme. Deze mechanismen laten zien wat er allemaal mogelijk is met tandwielen en zet een roterende beweging om in een translatie.

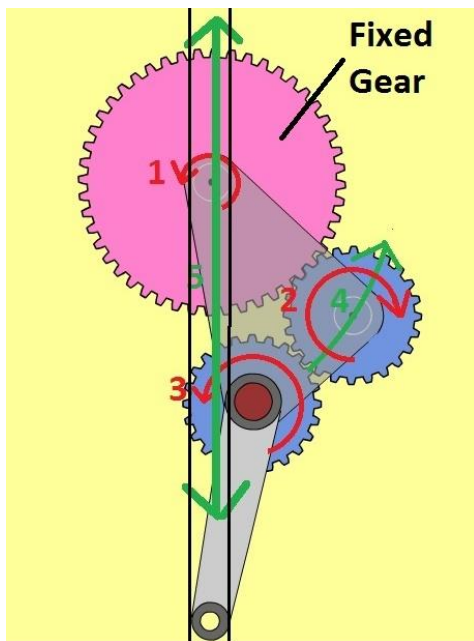
Deze bestaande mechanismen zijn gecombineerd en door middel van 'reverse'-engineering geanalyseerd (een bestaand mechanisme analyseren in plaats van een nieuw mechanisme verzinnen). Het doel van dit mechanisme, van een rotatie naar een translatie, is te zien in figuur 20:



Figuur 20: Het doel, van een rotatie op de as rechts, naar een translatie van de rode stip.

4.6.7.1 Cardan-gear mechanisme

Het linkerdeel van figuur 20 bevat het cardan-gear mechanisme, het rechterdeel de 'dwell'. Deze mechanisme worden los van elkaar geanalyseerd zoals te zien is in figuur 21 waarin het eerste mechanisme wordt behandeld:



Figuur 21: Bewegingsanalyse van rotatie naar translatie (bron zie voetnoot)¹³. De momenten zijn in het rood aangegeven

De knikker rolt onderin de arm de lift in. Via de groene pijl wordt de knikker verticaal getransporteerd.

¹³ http://www.mekanizmalar.com/cardan_gear.html (Geraadpleegd op 25/04/2013)

De grootte van de tandwielen is gekozen aan de hand van de verhoudingen (1:2), de verhoudingen zijn uit figuur 21 gehaald. Het grote tandwiel is 2x zo groot als het kleine tandwiel. De gekozen diameters en moduli zijn te vinden in tabel 2:

Tabel 2: Tandwiel groottes

Tandwiel	Prototypes Versie 1 en 2			Prototypes vanaf Versie 3 (zie H4.6.7.3)		
	Diameter (mm)	Modulus	Tanden	Diameter (mm)	Modulus	Tanden
1	40	1	40	80	2	40
2	20	1	20	40	2	20
3	20	1	20	40	2	20

Tandwielen moeten dezelfde modulus hebben om in elkaar te grijpen. Het minimaal aantal tanden wordt aangeraden op $z \geq 17^{14}$

De relatie tussen de diameter, modulus en tanden:

$$D = m * z$$

Waarin D de diameter is, z het aantal tanden en m de modulus.

Het benodigde koppel vanaf versie 3 is hieronder te vinden:

$$T = r * F$$

Waarin T het koppel in Nm is, r de arm (in m) en F de kracht (in N).

$$T = 0,080 * 0,54 = 0,043 \text{ Nm}$$

Bij een overbrenging van 2:1 met tandwiel 1 op 2 wordt het koppel:

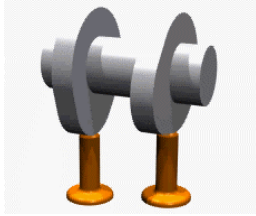
$$T = \frac{0,043 \text{ Nm}}{2} = 0,022 \text{ Nm}$$

4.6.7.2 Dwell mechanisme

Het dwell-mechanisme is benodigd om de knikker een 'pauze' te geven wanneer de knikker de arm inrolt. Deze 'pauze' geeft genoeg tijd om de knikker de arm in te rollen door middel van de zwaartekracht. Tevens wordt deze pauze ook gebruikt om de knikker weer los te laten aan de bovenkant.

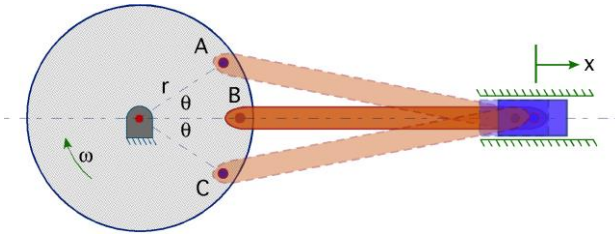
Het idee is afgeleid van een elliptisch tandwiel en komt oorspronkelijk van een verbrandingsmotor voor een auto af, denk maar aan de kleppen op een nokkenas. (zie figuur 22).

¹⁴ Werktuigbouwkunde.nl Formuleboekje 3^e editie, blz. 12



Figuur 22: Nokkenas en kleppen

De rotatie naar translatie beweging en de relatieve snelheid is ook te zien in figuur 23:



Figuur 23: Theorie achter het 'dwell' mechanisme, waarbij het rechterblokje de 'dwell' vormt (bron zie voetnoot¹⁵)

De relatieve snelheid is het hoogst wanneer de rotatie verloopt op punten A en C. Bij punt B is de snelheid het laagste van het blok. Wanneer de rotatie van A naar C via B verloopt, beweegt het blokje relatief weinig. De beweging van C naar A vergt weer een grotere translatie. Deze translatie herhaalt zich 2x per rotatie. Eigenlijk moeten punten A/B/C ook nog een gespiegeld worden op de rotatie-as.

4.6.7.3 Prototyping/ontwerp

De eerste prototypes versie 1.0 en versie 2.0 hadden als doel om het cardan-gear mechanisme na te bootsen, zie figuur 24. Deze onderdelen bleken veel wrijving te geven door de (te) lage resolutie van de 3D printer. Hierna is besloten om de tandwielen 2x zo groot uit te voeren. Vanaf versie 3.0 en verder zijn de maten veranderd.



Figuur 24: Onderdelen uit 3D printer Versie 1 (Doorzichtig) en Versie 2 (groen) met arm

¹⁵ <http://www.daerospace.com/MechanicalSystems/DwellLinkage.php>

Het geassembleerde versie 3.0 model (de vergrootte versie gebaseerd op versie 2.0) is te vinden in figuur 25a:



Figuur 25a/b: Links prototype versie 3 (Groen) en rechts de imperfecties van de tanden

Dit model voldeed aan alle verwachtingen en was een goede weerspiegeling van het cardan-gear mechanisme. Er was nog steeds veel wrijving onderling (resolutie van de printer, het kunststof is niet 'glad' en geeft een glijweerstand in plaats van een rolweerstand bij tandwielen), zie figuur 25b hierboven. De wrijving wordt veroorzaakt doordat dit model eerst gevijld moet worden voordat er sprake is van een glad oppervlak, het gevijlde deel is het 'witte' kunststof. De glijweerstand kan worden opgelost door 1mm speling aan te brengen tussen de tandwielen, zodat de tanden meer ruimte hebben en niet geforceerd worden.

Versie 4.0 bestaat uit de toevoeging van het dwell mechanisme. Versie 5.0 voegt ook de mogelijkheid toe voor een motor. De keuze voor de motor staat nog niet vast, er is nog geen spuit gegoten model beschikbaar van de lift om te testen. Er is een keuze voor 2 motoren te weten:

- Solarbotics GM9

Voordeel: Laag gewicht, klein en werkt op 2xAA batterijen

Nadeel: Laag koppel en korte accuduur (vanwege de batterijen)

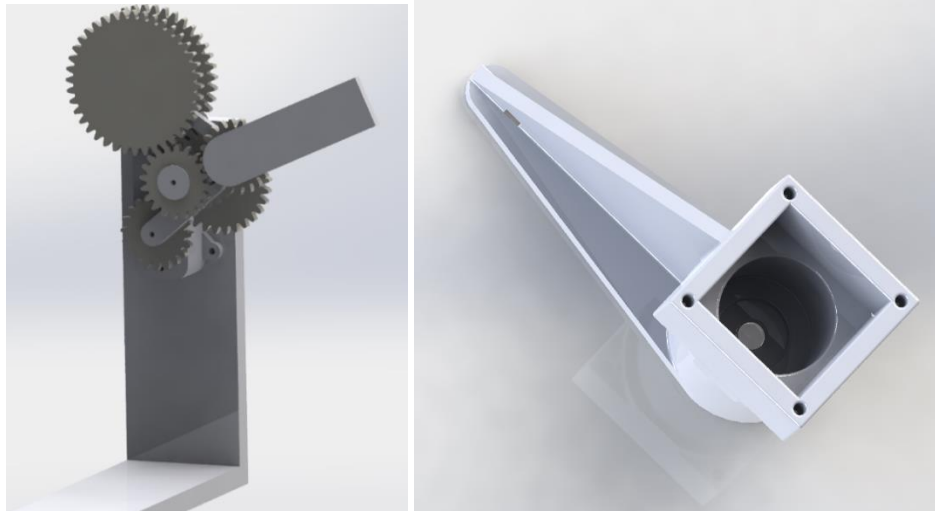
- Phidget 3317/3318

Voordeel: Zeer sterk (Hoog koppel en vermogen)

Nadeel: Relatief zwaar, 230V/adapter, motorcontroller nodig (stappenmotor)

In theorie kan de Solarbotics maximaal 0,31 Nm aan, wat voldoende is (0,022Nm zie H4.6.7.1). In de praktijk zal echter blijken of dit haalbaar is. Het vermoeden zegt van niet vanwege de resolutie van de 3D printer, het materiaaloppervlak is tevens ook niet glad en de assen lopen nog stroef. De oplossing zou zijn om het model spuit te gieten en vervolgens te testen. Er is echter wel gekozen om voor beide motoren een motorhouder te ontwerpen.

Het volledige prototype met GM9 motorhouder is te vinden in figuur 26a, de motorhouder voor de Phidget 3317/3318 is te vinden in figuur 26b:



Figuur 26a/b: Assemblage met Solarbotics GM9 motor/motorhouder links, rechts de motorhouder voor de Phidget 3317/3318

In deze versie is er ook rekening gehouden met een frame, dit is echter een 'simpel' houten frame en is bedoeld ter demonstratie van de mechanismen en het model.

4.6.7.4 Materiaalkeuze

De constructie delen zullen hoofdzakelijk uit dezelfde soort kunststof bestaan als de modulaire baan. De tandwielen echter zullen van POM worden gemaakt (de tandwielen hebben allemaal gespecialiseerde aansluitingen, vandaar de keuze om dit zelf te laten maken). Dit geldt voor het geval wanneer de tandwielen zelf worden geproduceerd maar ook voor het geval wanneer deze als standaardonderdelen worden ingekocht. De reden van het gebruik van kunststoffen t.o.v. metaal zijn onder andere¹⁶:

- Weinig onderhoud
- Weinig geluid
- Slijtvastheid bij droge overbrenging
- Damping van trillingen
- Corrosie bestendig
- Laag massatraagheidsmoment
- Lage productiekosten

¹⁶ <http://www.gearsolutions.com/article/detail/5621/engineering-principles-for-plastic-gears>

De reden voor het gebruik van POM zijn de lage kosten van dit soort kunststof (H4.5.3), zie ook figuur 27 met de kunststofprijzen van 23-05-2013:

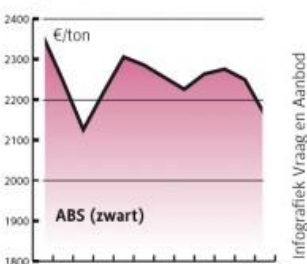
In de figuur zijn de slijtvaste kunststoffen¹⁷ POM naturel en PA 6 Naturel. De keuze zal op de voordeligste vallen (POM).

PRIJZEN TECHNISCHE POLYMEREN

PER LEVERING IN ZAKKEN OP PALLET	PRIME/VIRGIN	REGRANULAAT	MAALGOED
ABS naturel	2.000 ↓	■	■
ABS zwart	2.100 =	1.120 ↓	880 ↓
PA 6 naturel	2.600 =	2.100 =	1.150 =
PET glashelder	1.290 ↓	990 ↓	560 =
PC glashelder	3.050 =	2.450 ↓	1.680 =
PBT naturel	3.250 =	450 =	150 =
POM naturel	2.300 =	1.150 ↓	600 ↓
PMMA glashelder	2.400 =	■	550 ↓

Per levering van 5 ton per keer in €/ton:

afgelopen 12 maanden



Prime virgin

origineel granulaat in een bepaalde specificatie

Regranulaat

granulaat hoofdzakelijk van productieafval, deels van gerecycleerde eindproducten

Maalgoed

brokjes, van gerecycleerde eindproducten

Figuur 27: Prijzen van technische kunststoffen (23-05-2013) bron zie voetnoot 17

Een complexe lift zoals met 2 mechanismen vereist vele onderdelen. Dit is echter ook te zien in de kostprijs. Bij het volledig optimaliseren van de matrijzen (meervoudige matrijzen) en de toevoeging van een frame zal de kostprijs minstens €7,58 bedragen bij een oplage van minimaal 10.000 stuks. Dit is zeer fors in vergelijking met de andere uitbreidingen. Dit komt voornamelijk door de hoeveelheid onderdelen en het complexe mechanisme. De onderdelen zelf zijn echter simpele modellen. De matrijskosten liggen in vergelijking met de rest van de uitbreidingen redelijk laag. De uiteindelijke winkelprijs zal ook nog door middel van een marktonderzoek bepaald kunnen worden wat klanten voor dit product over hebben en wat de richtprijs is vanuit het bedrijf.

Het is aan te raden om voor dit product nogmaals te kijken of de doelgroep (6-14 jaar) ook de doelgroep is die men wil bereiken. Het begin ligt er voor een uitbreiding welke enig technisch inzicht benodigd heeft.

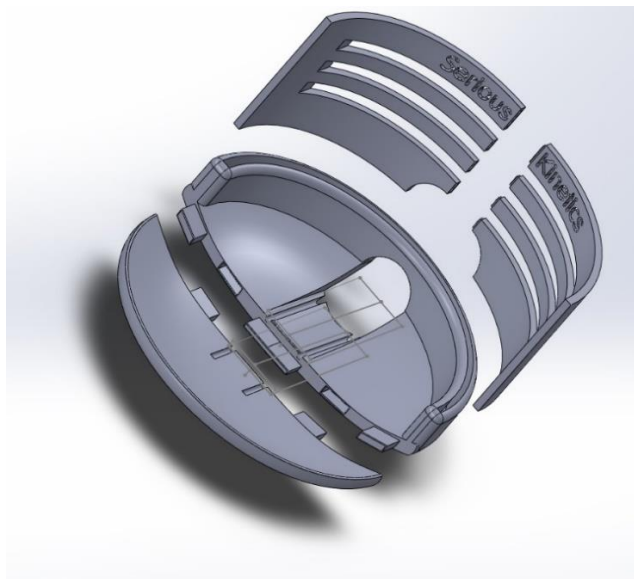
Voor een uitgebreide analyse wordt er aangeraden om het document 'A016_P007 Lift v1.1.pdf' door te lezen op de CD in bijlage I.

¹⁷ http://www.vraagenaanbod.nl/marktprijzen/id9634-Kunststofprijzen_week.html

4.6.8 Schans Opvangbak (A016_P008)

De opvangbak is een toevoeging op de uitbreiding van de Schans. Dit betekent dat de opvangbak wordt toegevoegd als een 8^e uitbreiding.

De eerste versie van de opvangbak bestond uit een bak, scherm en uitgang voor de knikker. Deze was echter niet toereikend en veel te groot geconstrueerd om te maken in de 3D printer. De volgende stappen waren het opdelen van de 'bak' en het 'scherm' in een aantal delen die wél in de printer passen. Dit opdelen is te zien in figuur 28 hieronder:



Figuur 28: Versie 2.0 van de opvangbak

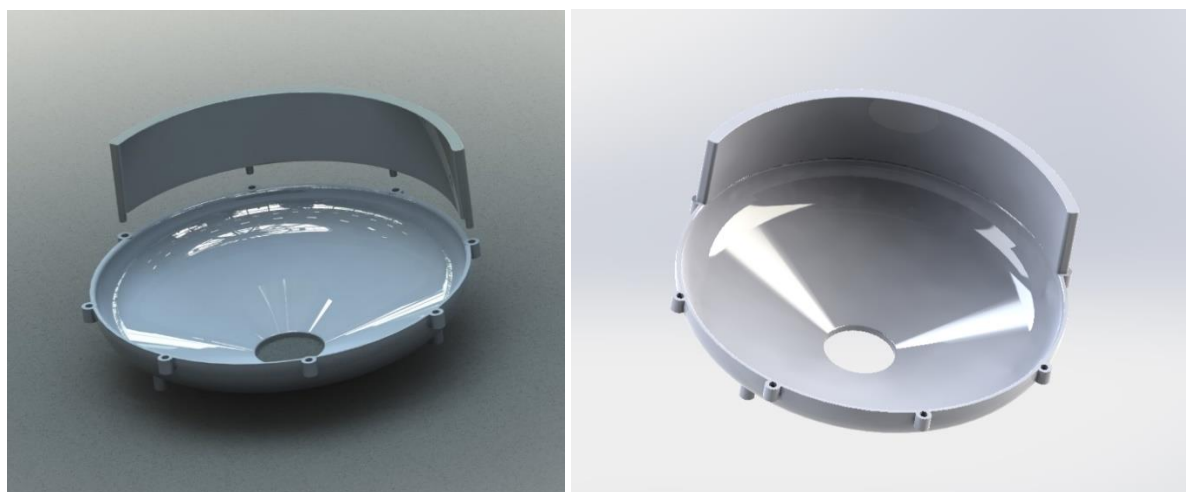
Versie 2.0 was een verbetering van versie 1.0 en bracht tevens nog enkele voordelen mee: Het verlengt het speelplezier door de uitbreiding als bouw pakket te leveren. Dit prototype is getest, zoals te zien is in figuur 29.



Figuur 29: Onderkant opvangbak versie 2.0

De vraag naar een bouw pakket welke uit meer delen bestaat ten opzichte van versie 2.0 kwam gelijk naar boven. De ontwikkeling van versie 3.0 en de uitgangspunten (meerdere bouw pakket delen) zijn echter gestaakt toen er parallel aan de cycloon werd gewerkt. Na gesprekken met een spuitgieter is er besloten dat een bak welke bestaat uit 1 geheel stuk, goedkoper is (matrijskosten zijn een stuk lager), mede doordat een enkel stuk vrijwel geen complexe gaten of kliksysteem bevatten.

Het advies van de spuitgieter heeft geleid tot de beslissing om de bak opnieuw te ontwerpen (versie 4.0). De nieuwe bak zal een basisversie betreffen voor beide uitbreidingen (Cycloon en Opvangbak). Het geprinte model is te vinden in figuur 12. Net zoals bij de cycloon is er voor de opvangbak een apart scherm bedacht welke klikbaar is, deze is te vinden in figuur 30 en 31:



Figuur 30/31: Opvangbak versie 4.0 Basisopvang bak met scherm. Het linker plaatje laat een 'exploded view' zien en het rechterplaatje het geheel in elkaar

Het scherm zal in de praktijk nog enkele testen moeten ondergaan (kijken of het kliksysteem goed werkt). Er is zoveel mogelijk rekening gehouden met lossingen, ook het in-klikken zou goed moeten werken (hier is ook weer rekening gehouden met een lichte hoek, waardoor de los-vaste passing conisch toeneemt en op deze manier klemt).

Meer informatie over de opvangbak is te vinden in het document 'A016_P008 Schans v1.0.pdf' op de CD in de bijlage.

4.7 Kosten

De kosten voor alle uitbreidingen zijn samengevat in tabel 3:

Tabel 3: Overzicht kostprijs uitbreidingen bij 10.000 stuks

Samengevat:		stuksprijs bij 10.000 stuks		
Looping		€ 1,09		
Heuvel		€ 1,24		
Schans		€ 0,73		
Schans Opvangbak		€ 1,51		
Cycloon		€ 1,51		
Vertrager		€ 0,66		
Switch		€ 1,72		
Lift		€ 7,58		

De kosten van de uitbreidingen bestaan uit alle onderdelen welke nodig zijn voor het maken van de uitbreidingen. Dit is alleen de kostprijs (zonder doos, vervoer, BTW, marges etc.). In de kosten zijn ook de onderdelen meegenomen voor de bevestiging op de modulaire baan en de standaard onderdelen uit de modulaire baan.

Er moet worden opgemerkt dat de kostprijzen van de opvangbak en de cycloon hetzelfde zijn. Dit komt omdat de basisversie hetzelfde is. De prijzen zijn ook gebaseerd op een extrapolatie van eerdere versies van de cycloon en opvangbak. Voor een uitgebreidere kostenanalyse zie bijlage II. Tevens is op de CD het volledige overzicht te vinden onder 'Prijzen uitbreidingen v1.0.xlsx'

Het valt op dat de lift vele malen duurder is dan de rest van de uitbreidingen. Hier zal goed overleg moeten komen of deze een go-nogo krijgt voor verdere ontwikkeling of dat er een ander type lift ontworpen moet gaan worden. Dit is echter wel een show-off van de mogelijkheden voor een technische hoogstaand product. Een concurrerend speelgoed zou bijvoorbeeld Lego Technics © kunnen zijn.

4.8 Overzicht aanbevelingen uitbreidingen

De aanbevelingen voor de uitbreidingen hebben betrekking op de verdere ontwikkeling van de uitbreidingen tot een prototype welke geschikt is voor serie- en/of massaproductie. Hieronder worden alle aanbevelingen behandeld per uitbreiding. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van alle aanbevelingen.

4.8.1 Looping, Heuvel, Schans

Klaar voor productie (exclusief verpakking, distributie en order plaatsen).

4.8.2 Cycloon

Dit model vergt nog enige optimalisatie in het ontwerp voordat het geschikt zal zijn voor serie- en/of massaproductie (lossingshoeken moeten worden aangebracht). De keuze voor het maken van een basisversie voor deze uitbreiding en de opvangbak zal nog een keer geëvalueerd moeten worden. Het model is door middel van aangebracht lossingen van 1° zoveel mogelijk spuitgiet-klaar gemaakt.

Er zal eveneens verder moeten worden nagedacht over het gebruik van een basiskom voor de Cycloon en Opvangbak. Hier ligt wel de voorkeur vanwege de kostenbesparing die hiermee behaald worden.

4.8.3 Vertrager

De spacers van de vertrager moeten voldoen aan de meest recente ontwerpen van de spacers die gebruikt worden in de modulaire knikkerbaan¹⁸. Het verwijderen van de 'eindkapjes' of afsluiting van de trackdelen in de spacer zelf vormt ook nog een goede aanbeveling. Dit zorgt (net als de originele spacers in de modulaire baan) ervoor dat de spacers beter meebuigen en dus beter 'klikbaar' zijn. Tevens vereenvoudigt dit het induwen van de trackdelen.

Het is aan te raden om na te denken over de lossing en de moeilijke onbereikbare hoeken (denk hierbij aan de richting hoe het component in en uit de matrijs wordt gedrukt).

4.8.4 Switch

Het is aan te bevelen om het model van figuur 32 aan te passen. De strepen die zijn getekend zullen de nieuwe locaties vormen van de 'ingebakken' spacers. Ook het lichaam van de switch heeft geen functie, de knikker rolt immers over de kunststof curve. De 'pin' waarin de switch komt is veel te dun, dit breekt af. De switch hoeft dan niet zo hoog te zijn. Dit kan allemaal worden ingekort. De pin wordt kleiner en moet dikker ontworpen worden. Of de pin-gat moeten omgedraaid worden (pin dus in de switch, en een gat in de houder).



Figuur 32: Switch aanpassingen

¹⁸ 29/05/2013, modulaire knikkerbaan versie 4.0

4.8.5 Lift

Aanbevelingen om de lift geschikt te maken voor serie- en/of massaproductie bestaan uit verbeteringen voor versie 5.0 in de vorm van het door ontwikkelen van de arm waar de knikker in komt rollen. Hier moet nog een 'liftkooi' gemaakt worden waar de knikker in komt zodat deze vervoerd kan worden naar de bovenste tracks. Er moet ook een schakelsysteem komen (Als de lift naar beneden komt moet er een switch omgaan zodat er 1 knikker in de kooi rolt en de knikkers die staan te wachten niet doorrollen). Zodra de lift weer omhoog gaat, gaat deze switch omhoog en voorkomt dat er knikker 'loos' wegvallen uit de tracks.

Praktijktesten moeten verder uitwijzen of bij het productiemodel met de juiste toleranties nog steeds hoge wrijvingskrachten met zich meebrengen (hier is het passingstelsel uiteraard voor, echter geeft het passingstelsel niet het gevoel weer bij een los-vaste passing welke 0,01mm van elkaar verschillen, vandaar de praktijktesten).

De lift is een complex bouw pakket. Er zal gekeken moeten worden of de doelgroep die men wilt bereiken ook de doelgroep is, welke met deze uitbreiding bereikt wordt. Voor de uitbreiding zal enig technisch inzicht vereist zijn.

Veel onderdelen zijn te maken, denk goed aan de plaatsing van de (meervoudige) matrijs. De subassembly van de tandwiel met as, waar mogelijk weer losse onderdelen van maken. Goed nadenken over de lossing en de motorhouder dunner uitvoeren (minder materiaal, dus kostenbesparing).

4.8.6 Opvangbak

Het is aan te raden om bij de productie uit te gaan van het laatste model (de basisversie); het scherm zal in de praktijk nog enkele testen moeten ondergaan (kijken of het kliksysteem goed werkt). Er zal nog goed gekeken moeten worden naar de lossingen bij het laten spuitgieten van het model (voor zover dat nog niet toereikend is in het huidige model).

5. Knikkerwand

In de vergaderruimte zijn er naast een aantal afbeeldingen van Serious Marbles knikkers verder geen promotiemiddelen aanwezig. Om de knikkers goed te promoten en daarnaast ook de mogelijkheden van de RBS (Rolling Ball Sculptures) knikkerbanen is er de vraag naar een 'knikkerwand'.

De eisen die hieraan werden gesteld zijn:

Eisen

- Geschikt voor 20 soorten knikkers (voorbeeld: NL vlaggen of Looney Tunes figuren)
- Geschikt voor knikkers van 35mm diameter
- Overzicht van verschillende soort knikkers
- Knikkers zijn gemakkelijk te pakken per soort
- Moet aan de wand
- Metaal 'look&feel'
- Er mogen geen knikkers uitvallen
- De knikkers moeten kunnen bewegen/rollen
- Geschikt voor minimaal 700 knikkers

Wensen

- Makkelijk bij te vullen
- RBS mogelijkheden 'show off'
- Minimaal 25 knikkers per soort, de voorkeur gaat naar 'zo veel mogelijk'
- Niet exorbitant duur. Het moet 'betaalbaar' blijven (maximaal €1000-€1500, - hangt van het design af)
- Niet zelf hervullen

5.1 Conceptkeuze

Voor de bouw is er keuze geweest uit een 7-tal ideeën (na een brainstorm met het hele team). Hier is de beste van uitgekozen met het team waarbij de directeur de grootste stem had. Het gekozen concept¹⁹ is een knikkerwand geworden zoals te zien is in figuur 33.

Dit concept sprak het meeste aan vanwege de bewegende knikkers. Met een toevoeging van een lift rollen er continu knikkers over de baan. Het belangrijkste aan dit concept is het feit dat dit een show-off geeft van de mogelijkheden van knikkerbanen. Dit past goed bij de huidige RBS knikkerbanen.

¹⁹ Voor meer informatie over de concepten wordt er verwezen naar bijlage II

Enkele belangrijke voor- en nadelen van dit concept:

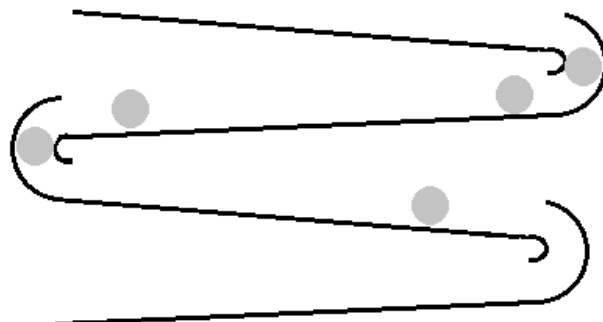
Voordelen

- Een wand waarop knikkers bewegen
- RBS show-off mogelijkheden
- Plaats voor zeer veel knikkers (50 per rij)

Nadelen

- Montage aan de wand
- Knikkerbanen preparatie zoveel mogelijk in de werkplaats (zo min mogelijk beschadigingen aan de muur)
- Bochten moeten exact worden uitgemeten

Concept grote knikkerbaan



Figuur 33: Concept grote knikkerbaan

5.2 Kosten Concept

De kosten zijn begroot op de kostprijs van de onderdelen. De manuren zijn niet meegenomen in de begroting.

5.2.1 Begroting

De begroting voor de knikkerwand is te vinden in tabel 4, de nacalculatie in tabel 5 op de volgende pagina:

Tabel 4: Begroting knikkerwand

Knikkerwand Begroting²⁰

Beschrijving	Stukprijs	Aantal	Totaal (ex BTW)
RVS 6mm diameter	€ 1,50	120	€ 180,00
Ophanging	€ 4,00	100	€ 330,58
Schroeven (200 per doos)	€ 20,00	1	€ 20,00
Pluggen (100 per doos)	€ 10,00	2	€ 20,00
Boortjes	€ 5,00	10	€ 50,00
Lift Motor en controller	€ 80,00	1	€ 80,00
			€ 680,58
			Ex BTW

²⁰ Een uitgebreidere kostenanalyse is te vinden in Bijlage II

Tabel 5: Nacalculatie knikkerwand

Knikkerwand Nacalculatie²¹

Beschrijving	Stukprijs	Aantal	Totaal (ex BTW)
RVS 6mm diameter*	€ 1,49	145	€ 216,05
Ophanging Stoeelhoek 40mm Verzinkt Proto	€ 0,09	10	€ 0,74
Ophanging Stoeelhoek 40mm RVS Enorm	€ 0,97	40	€ 38,80
Ophanging Stoeelhoek 40mm RVS Toolstation.nl	€ 0,51	50	€ 21,07
Schroeven (200 per doos)	€ 12,35	1	€ 10,21
Pluggen (100 per doos)	€ 4,29	2	€ 7,09
Lift Motor	€ 48,34	1	€ 48,34
Lift Controller	€ 8,49	1	€ 8,49
Lift Adapter	€ 7,98	1	€ 7,98
Diversen**	€ 54,38	1	€ 54,38
			€ 342,31
			Ex BTW

*/** zie bijlage II op de CD

5.2.2 Verantwoording Budget

De kosten vallen bijna 50% lager uit dan begroot. Het verschil ten opzichte van de begroting ligt in het toepassen van de juiste ophanging. Er was van designerhaakjes uitgegaan (zie bijlage II voor meer informatie over het soort haakjes). Deze bleken tijdens het proces niet voldoende leverbaar. Nadat er een prototype was gemaakt met 'simpele' constructieprofielen en deze is goedgekeurd kon er enorm in het budget worden gesneden. Dit resulteerde in een daling van de stuksprijs van €4,- tot €0,09.

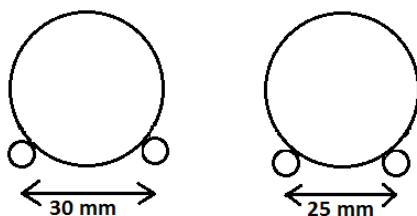
Tijdens het bouwen is er meer RVS gebruikt dan begroot; de liftconstructie en testversie waren nog niet meegerekend. Schroeven en pluggen waren ruim genomen, evenals de aansturing van de lift (motor, controller en adapter).

Het grote leermoment tijdens de begroting waren de kosten van de designerhaakjes. In de eerste instantie waren deze haakjes bedoeld als zichtbare constructieonderdelen. Tijdens de testversie is gebleken dat de haakjes veel minder zichtbaar zijn dan gedacht. Dit zorgt ervoor dat er goedkope constructiehaakjes gebruikt konden worden.

²¹ Een uitgebreidere kostenanalyse is te vinden in Bijlage II

5.3 Bouw/Prototyping Knikkerwand

De bouw van de knikkerwand was gebaseerd op de schetsen van de conceptkeuze (figuur 33). Na het testen van een baan in de werkplaats zijn er enkele aanpassingen gedaan. Zo is de trackbreedte vanwege de haakjes aangepast van 30mm naar 25mm (figuur 34) en wordt er geen gebruik meer gemaakt van spacers maar wordt de track direct op de haakjes gelast. De trackbreedte is aangepast zodat de knikker niet meer uitsteekt aan de onderkant en op een gelijk niveau zit met de onderkant van de haakjes. De onderkant van de haakjes is namelijk gesloten. Als de trackbreedte niet aangepast wordt rolt de knikker tegen het haakje aan.



Figuur 34: Track breedte aanpassing

Een schematische weergave van de trackdelen met de bochten is te vinden in figuur 35:



Figuur 35: Schematische weergave prototype

Het testmodel naar aanleiding van de tekening in figuur 35 is beproefd om te kijken of de helling en de binnen- en buitenbocht goed uitkomen. Dit betrof een succesvolle proef (hier zijn eveneens verschillende haakjes getest).

Het buigen van de bochten gebeurt met de hand in de werkplaats. De liftconstructie is een speciale constructie. Bij de RBS banen worden normaal liften gebruikt van 1 meter hoog. Voor de knikkerwand was minimaal 2 meter vereist. De motor die gebruikt wordt voor het aandrijven van de lift is een Phidget 3317. Deze motor wordt in veelvoud gebruikt in de RBS banen. Er werd geadviseerd binnen het bedrijf (gebaseerd op ervaring) om de Phidget 3318 te nemen aangezien deze een hoger koppel levert. De keuze om voor de Phidget 3318 te gaan in plaats van de Phidget 3317 is gecontroleerd in hoofdstuk 5.4.

Na een aantal complicaties met betrekking tot de bochten (1mm te krap en de knikker rolt vast. 1mm te groot en de knikker heeft teveel speling en valt uit de track), is er toch een doorgewerkt aan het einmodel. Het resultaat is te vinden in figuur 36:



Figuur 36: Resultaat knikkerwand

5.4 Motorkeuze en controle

De controle voor de motorkeuze is gebaseerd op het benodigde koppel voor de lift. Er wordt tevens gecontroleerd of de Phidget 3317 en 3318 dezelfde elektromotor bezitten maar uitgevoerd zijn met een andere overbrengingsverhouding. Het laatste bleek ook zo te zijn na controle van de datasheets. De motoren zijn uitgerust in dezelfde afmetingen, namelijk NEMA-17.

Om te kijken of de elektromotor de juiste keuze is wordt er berekend welk koppel er benodigd is om de knikker omhoog te krijgen. Hierin worden een aantal aannames gedaan, deze zijn:

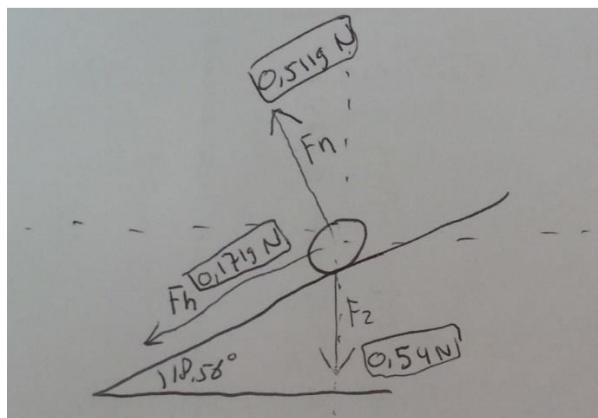
- De spiraal wordt gezien als een helling onder een hoek waarop de knikkers omhoog worden getransporteerd.
- Er wordt berekend hoeveel kracht het kost om 1 knikker te transporteren, dit wordt vervolgens geëxtrapoleerd naar een volle lift (40 knikkers).
- Het koppel wordt berekend door de maximale radius (arm) van de spiraal te nemen met de benodigde kracht voor 1 knikker.
- De knikkers wegen 55 gr.

De spiraal van de motor is te beschouwen als een helling met een hoek van

$$\sin^{-1} \frac{5 \text{ cm}}{15,71 \text{ cm}} = 18,56^\circ = \text{hoek } (\alpha)$$

Waarin de overstaande hoek (5cm) het hoogteverschil per rij is en 15,71cm de omtrek van een rij.

Figuur 37 geeft het ingevulde VLS (Vrij Lichaam Schema) weer van de knikker op de helling.



Figuur 37: Overzicht wrijving helling

Het benodigde koppel is berekend door de bovenstaande kracht te berekenen en tevens nog het toevoegen van de statische kracht welke benodigd is om de wrijving te overwinnen wanneer de knikkers niet rollen maar glijden. De krachten voor 30 knikkers zijn als volgt gegeven:

$$\text{startkracht} = F_{\text{start}} + F_{\text{totaal}}$$

$$F_{\text{startkracht}} = 10,75 \text{ N} + 4,89 \text{ N} = 15,64 \text{ N}$$

De arm van de spiraal meegerekend levert een koppel op:

$$T_{\text{startkoppel}} = 0,025 \text{ m} * 15,64 \text{ N}$$

$$\mathbf{T_{startkoppel} = 0,391 \text{ Nm}}$$

Voor meer informatie over de berekeningen zie bijlage II.

De gebruikte 3318 motor levert een koppel van maximaal 2,94 Nm (zie datasheet in bijlage II). Dit is ver boven de vereiste 0,391 Nm.

Er kan geconcludeerd worden dat de sterkere 3318 in plaats van de 3317 niet nodig is geweest. De 3317 levert met 1,59 Nm genoeg koppel.

Het nadeel met de gekozen 3318 is de lagere snelheid, het is aan te bevelen in de toekomst de 3317 te gebruiken of een uitvoering met nog lagere tandwielverhoudingen (en een hogere snelheid).

Conclusie

De hoofdopdracht om mogelijke uitbreidingen te ontwerpen is tijdens de stage, vanwege de grootte en hoeveelheid, als een apart project behandeld. De keuze om hier een apart Plan van Aanpak en Pakket van Wensen en Eisen voor te schrijven ligt in lijn met het behandelen van een apart project.

De opdracht omvatte in het begin het uitvoeren van 1 of 2 uitbreidingen. Dit zou goed passen in de beschikbare tijd en op deze manier kan er zeer uitgebreid worden gekeken naar alle mogelijke opties om uitbreidingen op de markt te zetten en te ontwikkelen tot prototypes. Na overleg is er besloten om niet 1 maar 8 uitbreidingen op te leveren. Kort gezegd omvat de opdracht dus het begeleiden van 8 aparte projecten. De voornaamste reden hiervoor was dat er voor een aantal van deze uitbreidingen al (deels) een model lag. Het was nodig om iemand verantwoordelijk te maken voor de oplevering van deze producten.

Na de keuze om 8 uitbreidingen op te leveren is er een selectie gemaakt hoe de beschikbare ontwikkeltijd ingedeeld moest worden. Er is besloten om in batches te werken van beschikbare ontwikkeltijd, waarin de eerste batch een week ontwikkeltijd nodig had en bestond uit de Looping, Schans, Heuvel en Cycloon. De 2^e batch bestond uit de ontwikkeling en oplevering van de Switch en Vertrager. De laatste batch, waar de langste ontwikkeltijd beschikbaar voor is (en welke de laagste prioriteit heeft), bestond uit de lift en de oplevering van de opvangbak voor de schans.

De belangrijkste beslissingen die genomen zijn waren voornamelijk: Het uitvoeren van een basismodel welke geschikt is voor zowel de cycloon als de opvangbak. Daarnaast is de lift een doorontwikkeling van twee verschillende mechanismen (Cardan-gear mechanisme gecombineerd met een dwell-mechanisme).

De schans, heuvel en vertrager zijn klaar voor massaproductie. De cycloon en opvangbak zullen nog enige aanpassingen nodig hebben. Dit is afhankelijk van de weg welke wordt ingeslagen en de keuzes om dit verder te ontwikkelen. De switch zit nog in de conceptfase. De lift wordt een technisch complex product, wat een uitdaging kan zijn voor de doelgroep. Een marktonderzoek kan uitwijzen of er vraag is naar een technisch complex (bouwpakket) in de vorm van een lift. Dit zal ook moeten uitwijzen of de kostprijs gerechtvaardigd kan worden.

De kostprijzen van de uitbreidingen liggen tussen €0,73 - €1,72 met uitzondering van de lift welke een kostprijs heeft van €7,58.

De opdracht voor de knikkerwand is succesvol afgerond met als resultaat een knikkerbaan aan de wand. Het ophangen van een track duurde langer dan gedacht. Het werd te simpel ingeschat en de tijd van 30 minuten per baan liep uit tot wel 2 uur per baan. De bochten bleken het lastigst te zijn. Dit bleek bij 1mm verschil wel/niet te werken. Hier is met het team nagedacht over een oplossingen en direct toegepast.

De knikkerwand opdracht liep in de ontwerpfase goed. De concepten waren duidelijk uitgewerkt en na een gezamenlijke bespreking is er voor 1 concept gekozen. De uiteindelijke kosten zijn een heel stuk lager uitgevallen. De grootste meevaller waren de designerhaakjes welke werden vervangen door 'simpele' stoelhoeken ter bevestiging van de knikkerwand.

Evaluatie Opdrachtuitvoering

De hoofdopdracht is achteraf te groot ingeschat. Er is snel 'ja' gezegd om 8 uitbreidingen op te leveren. Helaas is bij het grootste deel de ontwerpfase nog niet afgerond en bevinden de uitbreidingen zich nog in de prototype- of zelfs conceptfase (Switch). De opdrachten zijn grotendeels helemaal opnieuw ontworpen wat niet gepland was. Er is hier echter voor gekozen omdat er vanaf de grond af aan een goed en beter ontwerp kan worden gemaakt, wat beter aan alle eisen voldoet. Er is getracht om zoveel mogelijk te documenteren zodat in de toekomst een volgende ontwerper hier direct mee aan de slag kan en alle ontwerpstappen (en fouten) niet opnieuw hoeven te worden gemaakt. Deze documentatie is uiterst geschikt om de stand van zaken op het moment van het afronden van de stage toe te lichten. Bij vragen biedt de CD van bijlage II een uitgebreidere motivatie van alle keuzes die gemaakt zijn.

Als ontwerper/ingenieur is het aan te raden om meer te focussen op enkele projecten dan de aandacht over 8 projecten te moeten verdelen. Dit vergt tevens ook een goede planning en omgang met de tijd.

Het probleem van het prototypen lag vooral in de dagen dat de printer niet werkte. Het probleem is dat er maar 1 onderdeel tegelijk kan worden geprint en hier dient voldoende rekening mee te worden gehouden, aangezien de printer fouten kan maken kan er 's nachts niet geprint worden, er moet toezicht zijn voordat de printer zichzelf stuk maakt (kunststof dat verkeerd uithard kan de kop vast laten lopen).

Bronnen/links

Boeken

Strategische en Operationele marketingplanning – Kernstof – B Gerbrand Rustenburg, Ton de Gouw, Allert de Geus 5^e druk

Werktuigbouwkunde.nl Formuleboekje 3^e editie, blz. 12

Rapport over rapporteren Wim Hoogland, Ingrid Brand en Roel Dik 6^e herziende en uitgebreide druk

Links

http://www.vraagenaanbod.nl/marktprijzen/id9634-Kunststofprijzen_week.html (Kunststofprijzen)

http://www.mekanizmalar.com/cardan_gear.html (Cardan-gear Mechanisme)

<http://www.daerospace.com/MechanicalSystems/DwellLinkage.php> (Dwell Mechanisme)

<http://www.gearsolutions.com/article/detail/5621/engineering-principles-for-plastic-gears>
(Kunststof eigenschappen bij gebruik voor tandwielen)

Bijlage I: Hoofdopdracht documentatie

De documentatie van de hoofdopdracht bestaat uit het document 'Afstudeeropdracht Uitbreidingen v1.0.pdf' deze is bijgevoegd bij de CD aan het einde van dit document.

Daarnaast is er nog een uitgebreide documentatie te vinden op de CD waarnaar verwezen wordt in dit document. De volgende bestanden worden geleverd op CD en zijn allemaal in de map 'uitbreidingen documentatie' te vinden:

- A016_P001 Heuvel v1.0.pdf
- A016_P002 Schans v1.0.pdf
- A016_P003 Schans v1.0.pdf
- A016_P004 Cycloon v1.0.pdf
- A016_P005 Vertrager v1.0.pdf
- A016_P006 Switch v1.0.pdf
- A016_P007 Lift v1.1.pdf
- A016_P008 Schans Opvangbak v1.0.pdf
- Mogelijkheden Concepten Uitbreidingen v1.1.pdf
- Pakken van Eisen en Wensen Uitbreidingen v1.1.pdf
- Plan van Aanpak Uitbreidingen v1.1.pdf
- Vooronderzoek Uitbreidingen v1.0.pdf
- Prijzen uitbreidingen v1.0.xlsx

De eerste 8 documenten gaan in op alle ontwerpstappen betreffende de uitbreidingen. De documentatie van het vooronderzoek, plan van aanpak en pakket van wensen en eisen spreken voor zich.

'Mogelijkheden concepten uitbreidingen v1.1.pdf' bespreekt alle mogelijke opties voor de uitbreidingen en de keuze die gemaakt is welke uitbreidingen er ontwikkeld zullen worden.

Een uitgebreide analyse en kostenopbouw is te vinden in het document 'Prijzen uitbreidingen v1.0.xlsx'.

Bijlage II: Knikkerwand documentatie

De documentatie van de knikkerwand bestaat uit het document 'Procesverslag knikkerwand v1.2.pdf' deze is bijgevoegd bij de CD hieronder.

CD