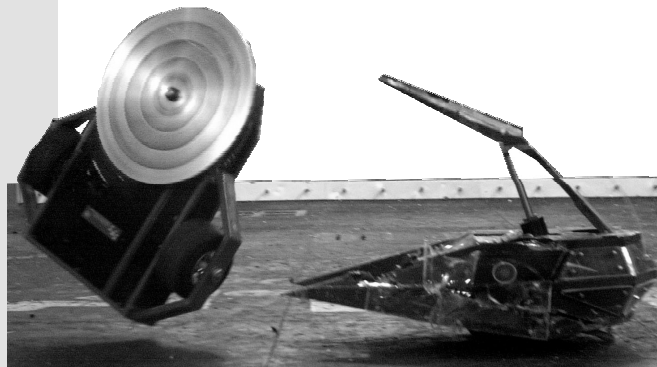


27 Methodisch ontwerpproces



Verdiepingsstof

27.1

Inleiding

Van den Kroonenberg

Er bestaan tientallen innovatieve ontwerpmethoden. Een daarvan wordt in Nederland veel gebruikt. Dit is het methodisch ontwerpproces volgens prof H.H. Van den Kroonenberg.

In dit boek wordt het methodisch ontwerpproces kort en bondig behandeld. Voor meer informatie wordt verwezen naar het boek “Methodisch ontwerpen; Ontwerpmethoden, voorbeelden, cases, oefeningen Prof.dr.ir. H.H. van den Kroonenberg en F.J. Siers. ISBN 90 11 04529 7”

Fasen indeling

Het methodisch ontwerpproces deelt het ontwerpproces op in drie fasen. Ieder van deze fasen moet in voldoende mate zijn doorlopen voordat met de volgende fase begonnen wordt.

*Probleem
definiëring*

In de eerste fase wordt het probleem of de verbetering vastgelegd. Het resultaat van deze fase is een lijst met voorwaarden en wensen.

*Werkwijze
bepaling*

In de tweede fase wordt de werkwijze vastgelegd. Het resultaat van deze fase is een principeschets van het ontwerp.

*Vormgeving
vastleggen*

In de derde fase wordt de vorm vastgelegd. Het resultaat van deze fase is een tekeningpakket of digitale ontwerpdata.

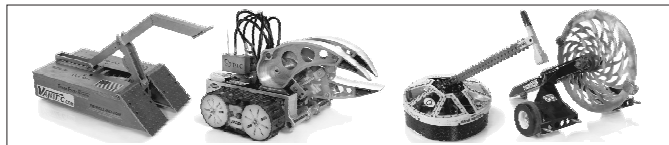
Met de gegevens uit de laatste fase kan het prototype gemaakt worden.

27.2

Probleem definiëring

Theorie In de eerste fase van het ontwerproces worden een aantal stappen doorlopen die leiden tot een lijst met de voorwaarden en wensen.

Vb: Dit hoofdstuk wordt geïllustreerd met het voorbeeld van een ontwerp van een vechtrobot. Dit is een radio gestuurd karretje. In een arena proberen roboteurs elkaars robot uit te schakelen. Zie <http://www.dutchrobotgames.nl>. Het ontwerp, de uitvoering, stuurmanskunst en geluk zijn bepalend voor succes. Veel gebruikte wapens zijn flippers/lifters om een tegenstander mee om te gooien, grijpers om een tegenstander mee vast te houden en slagwapens of spinners om de tegenstander te ontregelen.



Doelstelling De probleem definiëring begint met het vastleggen van de doelstelling. Deze legt u vast door de gewenste toestand te beschrijven.

Vb: Een zwaargewicht vechtrobot die in staat is tijdens een evenement van Robotwars, te winnen van een tegenstander.

Niveau 's Een technische inrichting kan op verschillende niveau 's benaderd worden. De installatie, het samengesteld werk-

tuig, het werktuig, het component, het onderdeel.

Een ontwerp kan op ieder van deze niveaus betrekking hebben. Nadat u de doelstelling heeft beschreven geeft u aan op welk niveau het probleem betrekking heeft.

Vb: De vechtrobot wordt beschouwd als werktuig. De roboteer en zijn training vallen buiten beschouwing. De vechtrobot als geheel, de componenten en de onderdelen dienen ontworpen te worden.

Voorwaarden

Er wordt een overzicht van voorwaarden of eisen opgesteld. U schrijft alle voorwaarden op. U laat anderen voorwaarden toevoegen. Deze voorwaarden deelt u later op in twee maal drie groepen.

Functioneel

De functionele voorwaarden zijn de eisen die een klant zou stellen als hij het product kant en klaar kan kopen.

Fabricage

De fabricage voorwaarden hebben betrekking op de productie van de inrichting.

Vast

De voorwaarden waaraan altijd voldaan moet worden heten de vaste voorwaarden. Als een ontwerp hieraan niet voldoet, dan valt deze af.

Variabel

De voorwaarden waaraan de inrichting in meer of mindere mate zal voldoen heten de variabele voorwaarden. Het is verstandig om deze voorwaarden met getallen uit te drukken. U kunt bijvoorbeeld een onder- of een bovengrens aangeven. Deze voorwaarden zijn de belangrijkste voorwaarde voor de keuze van het ontwerp.

Wens

Een wens is een voorwaarde die niet echt van belang is. Deze is alleen van invloed bij gelijke geschiktheid.



Vb: *Het team komt bij elkaar en in onderling overleg worden de volgende voorwaarden vastgelegd aan de vechtrobot.*

Functioneel fabricage Voorwaarden			Vast Variabel Wens		
✓		De vechtrobot moet voldoen aan de regels van de FRA, de Fighting Robot Association. In deze regels staat onder andere beschreven dat deze robot niet zwaarder mag zijn dan 102 kg.	✓		
	✓	De vechtrobot moet gemaakt kunnen worden met koopdelen uit de hobbywinkel of metaalwinkel, en standaard gereedschap zoals boor, lasapparaat en haakse slijper.		✓	
✓		De vechtrobot is sterk. Het moet een slagwapen kunnen weerstaan.		✓	
✓		De robot moet door de tegenstander niet vastgezet kunnen worden.		✓	
✓		De robot moet een wapen hebben die een andere robot uit kan schakelen. Bijvoorbeeld een wapen om om te gooien of vast te klemmen of slagwapen.		✓	
✓		De robot heeft een stoere uitstraling.			✓
	✓	De robot is snel te maken. Binnen zes maanden.		✓	
	✓	De vechtrobot is goedkoop. Het mag niet meer dan € kosten.		✓	
✓		De robot is snel en wendbaar.		✓	

Functie Om het gestelde doel te bereiken zal een bepaalde functie verricht moeten worden. De functie kan worden afgeleid uit het verschil tussen ingangs- en uitgangstoestand. Deze toestanden kunnen beschreven worden in kenmerken die betrekking hebben op de materie, energie en informatie.

Vb: *De functies van de robot zijn:
 Het verplaatsen naar de tegenstander. (m)
 Het verdedigen tegen het wapen van de tegenstander. (m)
 Het aanvallen van de tegenstander, bv omgooien. (m)
 Het leveren van energie voor het verplaatsen of aanvallen. (e)
 Het besturen van de robot. (i)*

Deelfuncties Voordat u verder gaat naar de volgende fase controleert u of de functies niet beter opgedeeld kunnen worden in deelfuncties of dat deze gecombineerd kunnen worden. Ook zoekt u naar ontbrekende functies.

Vb: *De functie verplaatsen kan opgedeeld worden in verplaatsen en sturen. De verdediging kan opgesplitst worden in: verdediging tegen slippers, verdediging tegen grijpers, verdediging tegen slagwp.*

27.3

Werkwijze bepaling

Werkwijzen

Een functie kan vaak op meerdere wijze worden uitgevoerd. De verschillen tussen deze werkwijzen zijn gebaseerd op verschillende natuurkundig verschijnselen.

Morfologisch overzicht

De werkwijzen kunnen in principeschetsen worden weergegeven. Als u deze principeschetsen in een tabel plaatst met verticaal de functies en horizontaal de werkwijzen, dan wordt deze tabel een morfologisch overzicht genoemd. Op de volgende pagina ziet u een voorbeeld van een morfologisch overzicht. Meestal worden de principeschetsen met de hand gemaakt of met een programma zoals AutoCAD waarbij snelheid een belangrijker rol speelt dan nauwkeurigheid.

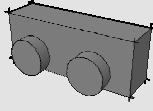
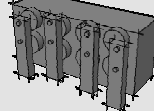
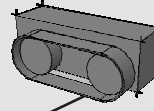
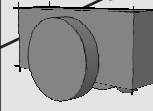
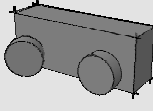
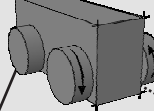
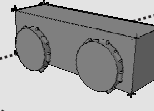
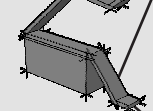
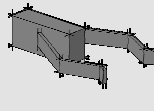
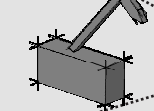
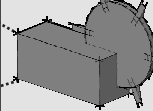
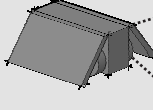
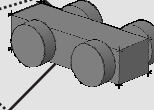
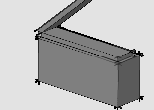
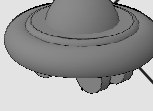
Structuur

Een aantal werkwijzen is te combineren tot een logische combinatie. Dit heet een structuur. In het morfologisch overzicht wordt de structuur aangegeven met een lijn tussen de verschillende werkwijzen.

Vb: De besturing van de robot mag volgens de regels van FRA alleen uitgevoerd worden met radio controlled zender/ ontvanger op 40 Mhz. Deze werkwijze ligt vast en is daarom niet meegenomen in het morfologisch overzicht.

Normaal gesproken worden en vier of meer structuren uitgewerkt. In deze les is dit beperkt tot twee. Een structuur met een flipper / lifter en een structuur met een spinner.

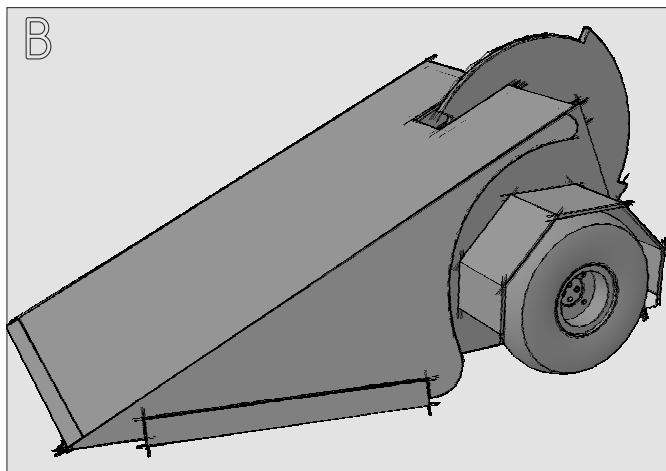
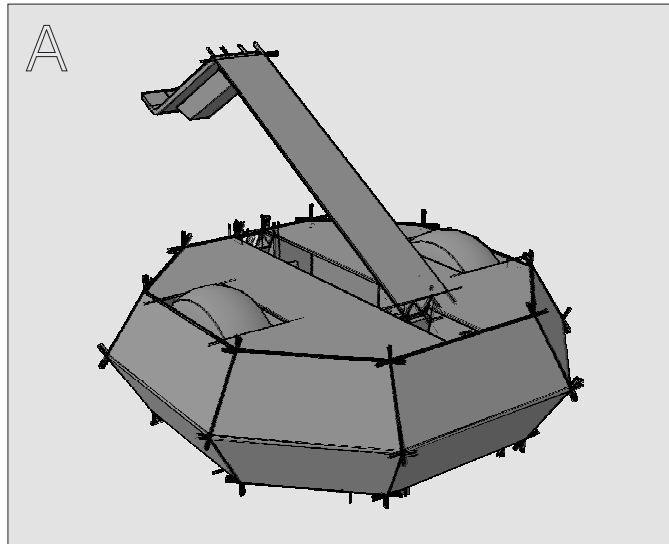
Vb: *In samenspraak met het team is het volgende morfologisch overzicht voor de vechtrobot opgezet.*

Functies	Werkwijzen			
Verplaatsen	 Wielen	 Loopmechaniek	 Rupsbanden	 Zwenk-, potwielen
Sturen	 Akkerman sturing	 Differential sturing	 Dubbelzijdige wielen	
Aanvallen	 Flipper	 Gripper	 Slagwapen	 Spinner
Verdedigen tegen flipper	 Rok tegen omwerpen	 Twee zijdig rijden	 Mechaniek omdraaien	
Verdedigen tegen gripper	 Bol of rond	Groot, zodat de gripper		
Verdedigen tegen slagwapen/spinners	Titanium	Dik pantser, dus klein	Groot, ruimte tussen kwetsbare onderdelen.	
Energie voor aandrijving	Accu 's	Batterijen	Co2	Lucht
Energie voor wapen	Accu 's	Batterijen	Co2	Lucht

Structuurschets

Van de logische combinaties uit het morfologisch overzicht wordt een structuurschets gemaakt. Deze structuurschets is bedoeld als praatplaatje en de schets is het uitgangspunt van de uitwerking.

Vb: De volgende alternatieve structuren komen uit het morfologisch overzicht.



Keuze

Uit de verschillende structuren zal een keuze gemaakt moeten worden. Deze keuze kan het beste met een objectieve keuzetechniek worden uitgevoerd.

Weegfactoren

De keuze wordt gemaakt op basis van de variabele voorwaarden. U geeft ieder van deze voorwaarden een weegfactor. De weegfactor geeft de onderlinge belangrijkheid aan.

Tip: Bepaal de weegfactoren zo objectief mogelijk. Overleg deze bijvoorbeeld met anderen of voer een enquête uit.

De weegfactor kunt u vaststellen door de voorwaarden paarsgewijs met elkaar te vergelijken. Als u twee voorwaarden vergelijkt dan krijgt de minst belangrijke voorwaarde een score 0, de belangrijkste een 1. Achteraf bepaalt u voor iedere voorwaarde de totaalscore.

U kunt overwegen om de totaalscore om te rekenen naar een weegfactor die een heel getal is tussen 1 en 3. U kunt de totaalscore ook direct gebruiken als weegfactor. Om te voorkomen dat dan een van de voorwaarden een weegfactor 0 krijgt, begint u met een score 1.

Vb: In de volgende tabel staan de weegfactoren voor de voorwaarden die gesteld zijn aan de robot. De voorwaarden zijn twee aan twee met elkaar vergeleken. In de matrix staan getallen 0 en 1. De voorwaarde die een 1 krijgt, is belangrijker dan de voorwaarde die een 0 krijgt. Naderhand zijn de scores opgeteld.

Voorwaarden	1	2	3	4	Totaal
Functionele voorwaarden					
1. De robot is snel en wendbaar.	(1)	0	1	0	2
2. De vechrobot is sterk. Het moet een slagwapen kunnen weerstaan.	1	(1)	0	1	3
3. De robot moet door de tegenstander niet vastgeklemd of omgegooid kunnen worden.	0	1	(1)	0	2
4. De robot moet een krachtig wapen hebben die een andere robot uit kan schakelen. Bijvoorbeeld een wapen om om te gooien of vast te klemmen of slagwapen.	1	0	1	(1)	3
Fabricage voorwaarden					
1. De robot is snel te maken. Binnen zes maanden.	(1)	0	0		1
2. De vechrobot is goedkoop. Het mag niet meer dan € kosten.	1	(1)	1		3
3. De vechrobot moet gemaakt kunnen worden met koopdelen uit de hobbywinkel of metaalwinkel, en standaard gereedschap zoals boor, lasapparaat en haakse slijper.	1	0	(1)		2

Score

Voor de verschillende structuren wordt vastgesteld in hoeverre zij aan de variabele voorwaarden voldoen. Als u een onder- of bovengrens aan de factoren heeft gegeven, dan kunt u deze objectief vaststellen. Als dat niet zo is, dan kunt u de verschillende structuren het beste weer paarsgewijs vergelijken, zoals u gedaan heeft bij de voorwaarden.

Om geen schijnnaauwkeurigheid te suggereren geeft u de structuren een score die een heel getal is tussen 1 en 4. Het gebruik van een even aantal dwingt de ontwerper om niet alle score in het midden uit te laten komen.

Vb: De score en de gewogen score voor ieder van de robots.

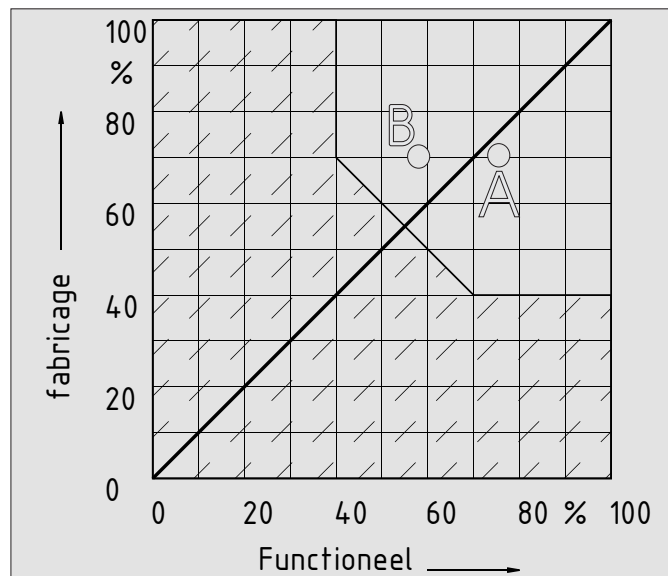
Voorwaarden	Wegfactor	Structuur A	Structuur B	Ideaal
Functionele voorwaarden				
1. De robot is snel en wendbaar.	2	(4)8	(1)2	(4)8
2. De vechtrobot is sterk. Het moet een slagwapen kunnen weerstaan.	3	(3)9	(2)6	(4)12
3. De robot moet door de tegenstander niet vastgeklemd of omgegooid kunnen worden.	2	(2)4	(3)6	(4)8
4. De robot moet een krachtig wapen hebben die een andere robot uit kan schakelen. Bijvoorbeeld een wapen om om te gooien of vast te klemmen of slagwapen.	3	(3)9	(3)9	(4)12
Totaal gewogen score	30	23		40
Totaal gewogen score in procenten	75%	58%		100%
Fabricage voorwaarden				
1. De robot is snel te maken. Binnen zes maanden.	1	(3)3	(2)2	(4)4
2. De vechtrobot is goedkoop. Het mag niet meer dan € kosten.	3	(2)6	(3)9	(4)12
3. De vechtrobot moet gemaakt kunnen worden met koepdelen uit de hobbywinkel of metaalwinkel, en standaard gereedschap zoals boor, lasapparaat en haakse slijper.	2	(4)8	(3)6	(4)8
Totaal gewogen score	17	17		24
Totaal gewogen score in procenten	71%	71%		100%

Kesselring methode

De score tussen de verschillende structuren kan grafisch worden weergegeven. Er bestaan meerdere manieren om deze score zichtbaar te maken. Een van die manieren is een grafiek volgens de Kesselring methode.

Op de horizontale as staat de gewogen score op de functionele voorwaarden. Op de verticale as staat de gewogen score op de fabricage voorwaarden.

Vb: *Visualisatie van de gewogen score volgens Kesselring.*



De beste structuur heeft de hoogste score. Als twee scores slechts 5% van elkaar verschillen, dan worden deze gelijkwaardig beschouwd.

Een structuur waarbij een van de scores onder de 40% ligt of waarbij de gecombineerde score van functionele- en fabricage score onder de 55% ligt wordt beschouwd als onvoldoende. Het ontwerpproces moet dan over gedaan worden. Als u dat niet doet is de gebruiker of de fabrikant of zijn beide ontevreden.

27.4

Vormgeving

Theorie **A**fhankelijk van het niveau van het ontwerp is het resultaat van deze fase een beschrijving van de installatie, een schema, een tekeningenpakket of een stuklijst.

*Vormgeving
werktuig* In de vormgevende fase van een werktuig worden *Vorm, Materiaal en Fabricage* op de werkwijze afgesteld. Bij ieder van deze zaken spelen de kosten een rol.

*Vormgeving
Onderdeel* De vormgeving van een onderdeel kan bestaan uit het afstemmen van vorm materiaal en fabricage op de werkwijze, maar kan ook bestaan uit het zoeken naar een standaardcomponent.

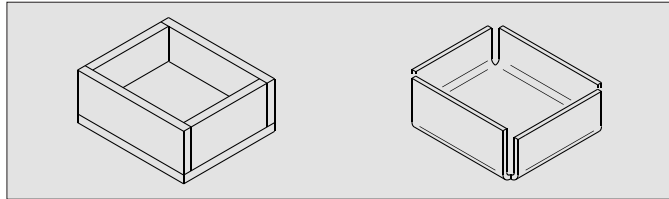
Materiaalkeuze De keuze van het materiaal wordt vooral beïnvloed door de fabricagemethode en de kosten.

Fabricage De fabricage is vooral afhankelijk van de kosten en de aanwezige apparatuur.

Vormvariaties

Uitgaande van een bepaalde voorlopige vorm wordt de optimale vorm gevonden door vormvariaties. De verschillende variaties kunnen betrekking hebben op de principiële vorm (rond, vierkant), de plaats, het aantal en de afmetingen. Ook kunnen materiaalsoorten en fabricagemethoden met de daarbij behorende vormen als alternatieven worden voorgesteld.

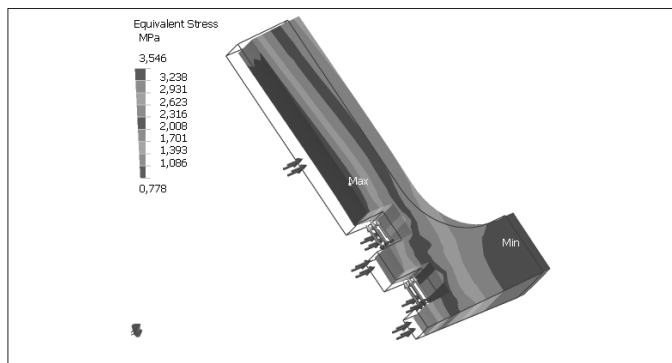
Een goed voorbeeld is een lassamenstelling.



Deze samenstellingen van meerdere onderdelen kan vaak vervangen worden door een enkel plaatwerkonderdeel. Omdat de laatste jaren het snijden van platen met lasersnijders goedkoop is geworden, zouden heel veel lassamenstellingen goedkoper gemaakt kunnen worden door deze te vervangen door plaatwerk.

Sterkteberekeningen
Dynamische simulaties

De verschillende vormvarianten worden beoordeeld op kosten, sterkte en werking door sterkteberekeningen en dynamische simulatie. Dit wordt in de volgende hoofdstukken van dit boek behandeld.



3D printer

Soms kan de boordeling van een vormvarianten alleen plaatsvinden met een model op schaal. U kunt dan uw Inventor model op schaal uitprinten met een 3D printer.

Hieronder ziet u een printer van www.zcorp.com. Deze is iets groter dan een A3 printer. Tijdens het printproces wordt het onderdeel laagje voor laagje opgebouwd. Er wordt eerst een laagje poeder aangebracht en daarna wordt met standaard inktjet printer techniek lijm op het laagje geprint. Het 3D model kan in kleuren worden uitgeprint. Het printen gaat verbazingwekkend snel. Het drogen kost wel veel tijd.



Er zijn ook printers die een onderdeel opbouwen van ABC plastic. De 3D printers van Dimension (www.dimension-printing.com) bouwen een onderdeel op in een kleine oven. Het plastic wordt laagje voor laagje aangebracht via een soort laspistool en een lasdraad. Het opbouwen gaat vrij traag. De prijs van deze printers start bij € 40.000,-.

Rapid prototyping

Als u een prototype wilt hebben van metaal dan zijn daar ook methodes voor. De firma Arcam (www.arcam.com) levert machines die direct vanuit een standard STL bestand een metalen onderdeel maken. Het onderdeel groeit in een vacuüm kamer. Dit onderdeel wordt laagje voor laagje opgebouwd. Er wordt iedere keer een laag metaal poeder opgebracht en deze wordt door een elektronen straal vast gesmolten. Er wordt vooral gewerkt met titanium. Een machine voor dit Electron Beam Melting (EBM) proces is echter aanmerkelijk duurder dan die van een 3D printer.



Vb

Vormgeving vechtrobot

In de vormgevende fase wordt het materiaal, de fabricage en de vorm van ieder van de onderdelen zodanig afgesteld dat de gekozen structuur zo optimaal mogelijk gerealiseerd wordt. De meeste ontwerpbeslissingen worden weer gemaakt op basis van de voorwaarden uit de vorige fase.

Materiaalkeuze

Een van de voorwaarden uit de vorige fase is dat de robot sterk is. Een andere is de vaste voorwaarde dat de robot minder weegt dan 100 Kg. Een licht en sterk materiaal als titanium ligt daarmee voor de hand. Een van de andere voorwaarden uit de vorige fase is de kostprijs van de robot. Titanium blijkt onevenredig duur te zijn. De robot zou gemaakt dienen te worden met eenvoudige productiemiddelen als lasapparaat en slijpschijf. Een materiaal als titanium is alleen te bewerken en lassen met heel speciale apparatuur. RVS en aluminium zijn alleen met speciale apparatuur te lassen.

Materiaal	Sterkte (3)	Prijs (3)	Fabricage (2)	Gewogen Totaal score
Titanium	4	1	1	17
Aluminium	1	3	2	15
RVS	4	3	2	25
Constructie staal	2	4	4	26
Gelegeerd staal zoals Hardox	3	3	4	26

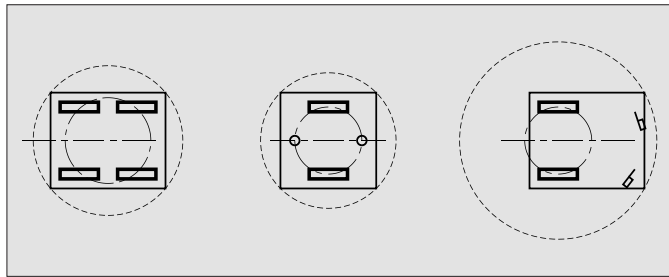
Met de voorwaarden en weegfactoren uit de vorige fase kan berekend worden welke materiaal het beste is. Op basis van deze gegevens is besloten om de meeste onderdelen van constructiestaal te maken. Hardox zou ook een goed alternatief zijn. Deze zijn beide ongeveer even goed.

Vorm

Van de drie aspecten vorm, materiaal en fabricage blijft alleen de vorm over om de werkwijze te realiseren. Deze wordt beschreven in de volgorde die voorkomt in het morfologisch overzicht.

Werkwijze 1
Verplaatsen

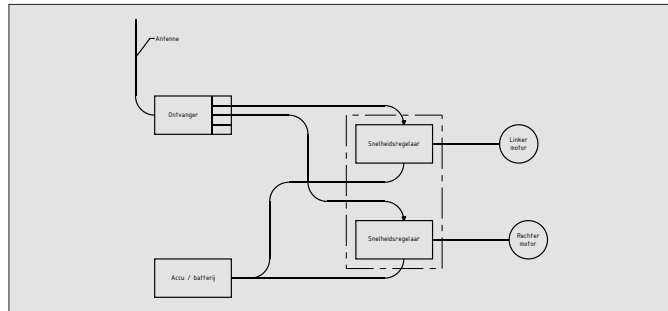
Volgens het morfologisch overzicht is gekozen voor aandrijving via vaste wielen. Om de robot niet te laten omvallen zijn nog twee banden, zwenkwielen of kogelrollen nodig. Zwenkwielen zijn bekend van winkelwagentjes. Kogelrollen worden gebruikt bij rollenbanen in transport-systemen. Bij vier vaste wielen staat de aandrijfrichting niet evenwijdig aan de draairichting. Er gaat dan energie verloren tijdens het sturen. Bij zwenkwielen of kogelrollers is de aandrijfrichting wel evenwijdig aan de draairichting. De draaicirkel is beduidend kleiner bij gebruik van kogelrollen dan bij het gebruik van zwenkwielen, zoals in de volgende afbeelding geïllustreerd. Een kleiner draaicirkel maakt de robot wendbaarder. Bovendien zijn zwenkwielen extreem kwetsbaar.



Het is mogelijk om de aandrijving zelf te maken of om deze te kopen. Vanuit de rolstoelenbranch zijn er complete sets verkrijgbaar waarbij motor en overbrenging een geheel vormen. Deze combinaties zijn vrijwel dezelfde prijs als de losse onderdelen. Vanwege de snelheid is gekozen voor een motor overbrengingscombinatie.

Werkwijze 2
Sturen

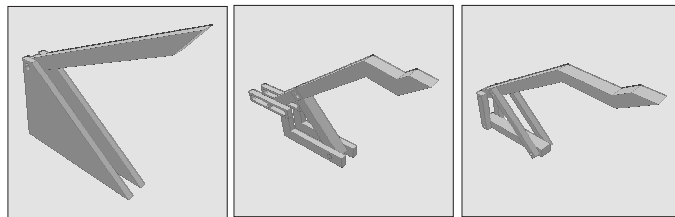
Volgens het morfologisch overzicht is er gekozen voor de differentiaal of robot sturing. De aansturing is dan elektronisch. Met een standaard ontvanger en 2 speedcontrollers of 2 relais wordt de sturing eenvoudig verwezenlijkt. Een relais geeft veel slechtere stureigenschappen dan een speedcontroller.



Werkwijze 3
Aanvallen met lifter

Volgens de gekozen structuur en het morfologisch overzicht is de lifter elektrisch aangedreven.

Op basis van een voorlopige vorm zijn enige alternatieven geëvalueerd:

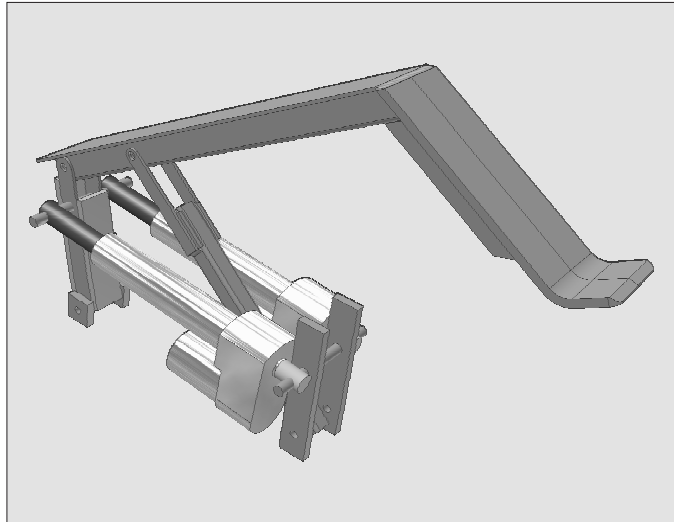


1 Stang
mechaniek.

2 Stangen
mechaniek.

3 Stangen
mechaniek.

Een mechaniek dat naar voren schopt werkt effectiever dan een mechaniek die direct omhoog schopt. Het 2 en 3 stangenmechaniek is daarom beter dan het enkele stang mechaniek. Een mechaniek met drie stangen is eenvoudiger dan een met een glijbeweging en twee stangen. Op basis van deze *nieuwe* voorwaarde is gekozen voor het 3 stangen mechaniek. In de volgende afbeelding is deze getoond inclusief stangenmechaniek.

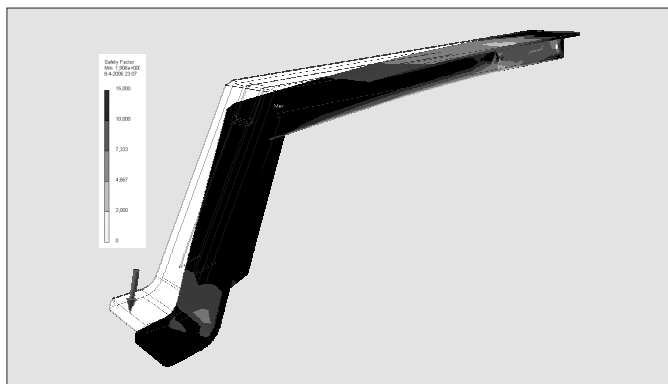


*Dynamische
simulatie*

Bij dit bewegingsmechaniek is het noodzakelijk dat u een simulatie uitvoert, om vooraf te kunnen bepalen dat u op ieder moment van de cyclus 100 Kg kunt tillen.

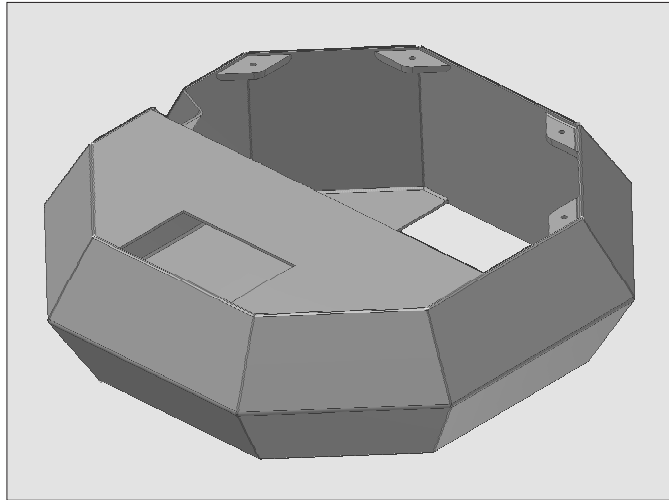
*Sterkte
berekeningen*

De lifter wordt flink belast en verschillende onderdelen van de balk zijn doorgerekend. In de volgende afbeelding ziet u de veiligheidsfactor in de bovenbalk bij een belasting van 100 kg.



*Wekwijze
Verdedigen tegen
flipper en spinner*

Het pantser is de buitenkant van de robot. Volgens de gekozen structuur en het morfologisch overzicht is dit pantser zo rond mogelijk, klein en steken de wielen er onder- en boven uit.



Op basis van een voorlopige vorm zijn enige alternatieven geëvalueerd:

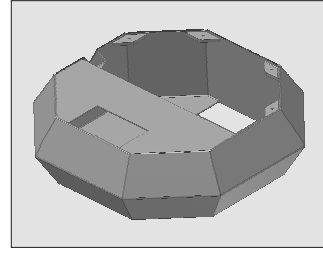
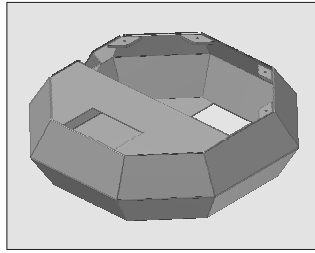
- Wel of geen frame.
- Wel of geen binnenplaten.
- Gezette buitenplaten, gelaste buitenkant.
- Dimensies lengte, hoogte, breedte, dikte plaatwerk.

Pantser
Wel of geen frame

Het alternatief van een frame neemt aanzienlijk meer ruimte in dan het alternatief zonder frame. Als de buitenkant groot is en het totaal gewicht binnen de 100 kg moet blijven kan de plaatdikte slechts 3 mm zijn. Zonder frame kan deze 4 mm zijn. Het alternatief zonder frame scoort dus beter op de voorwaarde dat de robot bestand is tegen slag-, stootwapens en spinners.

Pantser
Wel of geen
binnenplaten

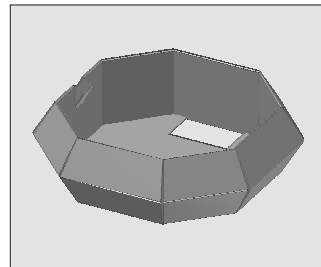
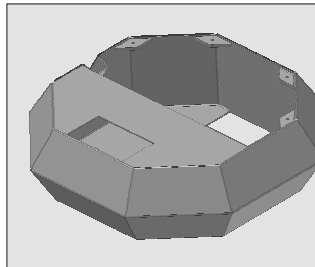
Zonder frame wordt het lastig om onderdelen aan de schuine zijanten van de robot te monteren. Er kunnen ook verticale zijplaten gemonteerd worden.



Op basis van de voorwaarde dat de robot snel te maken is, is besloten om dunne verticale platen te lassen. In de platen zijn gaten gemaakt voor de bedrading.

*Pantser
Gezette platen,
gelaste platen*

Het pantser kan bestaan uit gelaste of gezette platen. Beide varianten zijn uitgewerkt. Het voordeel van de gezette plaat is dat er minder gelast moet worden en dat het pantser sterker wordt. Tegen dit voordeel stond een iets hogere prijs bij het bestellen van het materiaal.

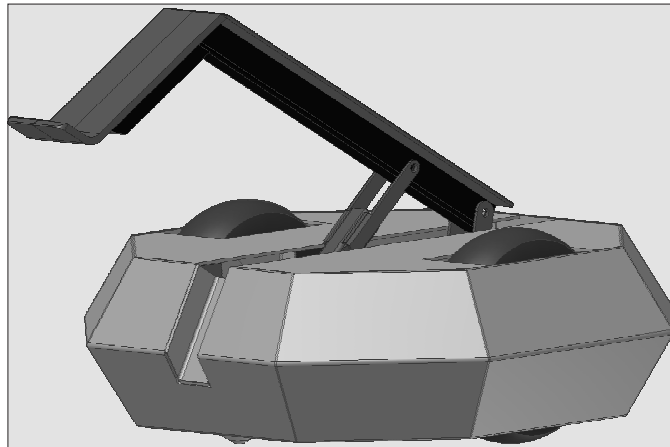


Het prijsverschil in materiaal was vergelijkbaar met de extra tijd en kosten bij het lassen. Op basis van de voorwaarde “dat de robot opgewassen is tegen slagwapen en spinners” is gekozen voor het gezette variant.

*Lengte, hoogte,
breedte, dikte
plaatwerk*

Met een Excel blad zijn de verschillende onderdelen van het pantser aan elkaar gekoppeld. Door de lengte, breedte en hoogte te variëren zijn verschillende varianten gemaakt. Er is gekozen voor de variant die precies om het binnenwerk past. Bij dit binnenwerk kan het plaatmateriaal 4 mm dik zijn. Het pantser is dan 40 kg.

De gekozen vorm heeft een veiligheidsfactor van 2. In de afbeelding hieronder ziet u de uiteindelijke vorm.



Werkwijze
Energie leveren voor
aandrijving en wapen

Volgens het morfologisch overzicht is gekozen voor elektrische energie. Deze kan geleverd worden door verschillende soorten batterijen en accu's. In de onderstaande tabel staan de verschillende keuzes en hun voordelen:

	prijs	gewicht	levensduur	Amperage	Direct oplaadbaar	Lading lekage	
Alkaline batterij	1 - 4	4	1	2	n.v.t.	4	Niet oplaadbaar
Nikkel-Cadmium	3	4	4	3	1 (eerst leeg)	2 (20% pm)	Nadeel slecht voor milieu
Nikkel-Metaal	2	4	2	3	4	1 (30% pm)	Nadeel speciale lader
Lithium ion batterij	1	4	2 (2 jaar)	4	4	3 (10% pm)	
SLA accu's	4	2	2 (300x)	4	4	3 (5% pm)	

Van alle voor- en nadelen van de accu's komt alleen de prijs voor in de voorwaarden van de robot. De SLA accu wordt daarmee gekozen, behalve als daardoor het gewicht van de robot inclusief accu's boven het toegestane gewicht komt, want dan wordt niet meer voldaan aan de vaste voorwaarden.