

# Onderbeenprotheses in ontwikkelingslanden

---

Developing world's Prosthetics



*Bachelor scriptie BMT*

*G.W. Prins*

*S1727869*

Rijksuniversiteit Groningen

Begeleider: G.J. Verkerke

*05-06-2012*

## Voorwoord

Dit verslag is tot stand gekomen als bachelor scriptie voor de studie Biomedische Technologie (BMT) aan de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). Het is bedoeld als de analysefase voor een ontwerpopdracht waarbij het doel is om uiteindelijk een onderbeenprothese te ontwerpen die geschikt is om in ontwikkelingslanden te gebruiken (zowel vanuit financieel als ook uit technisch oogpunt). In deze scriptie is grotendeels de opzet gebruikt zoals behandeld in de reader '*Ontwerpen 2*', editie 2010, geschreven door G.J. Verkerke en E.B. van der Houwen. De heer G.J. Verkerke is tevens mijn begeleider van dit project. Bij dezen wil ik hem bedanken voor zijn adviezen, tijd en hulp.

## Inhoud

Voorwoord .....	2
1. Introductie.....	4
2. Probleemdefinitie.....	4
2.1 Werk en status .....	4
2.2 Oorlogen.....	4
2.3 Kosten.....	4
2.4 Recycling.....	5
2.5 Belangrijke punten koker .....	5
2.6 Voorbeelden en problemen huidige prothesen .....	6
2.7 Belangrijke punten pylon .....	7
3. Stakeholderanalyse .....	8
4. Oorzaak-gevolg diagram.....	10
5. Doelen .....	11
6. Ontwerpopdracht.....	12
7. Programma van eisen en wensen .....	14
8. Functieanalyse.....	16
9. Conclusie .....	17
10. Referenties .....	18

## 1. Introductie

Amputatie van ledematen zorgt voor een patiënt voor een aanzienlijke vermindering van levenskwaliteit. Indien het de lagere extremiteiten betreft zal hij zich niet meer makkelijk kunnen voortbewegen. Dit zorgt voor problemen in het dagelijkse leven doordat de patiënt bijvoorbeeld niet meer aan het werk kan, of zich niet meer kan verplaatsen om sociale contacten te onderhouden. In ontwikkelingslanden is het probleem voor mensen met geamputeerde ledematen nog groter aangezien ze vaak niet veel geld hebben, en prothesen duur zijn. In dit artikel wordt geprobeerd om de exacte problemen van mensen in ontwikkelingslanden die een onderbeen missen duidelijk te maken. Vervolgens zal aan de hand hiervan een doel, een ontwerpopdracht, een lijst van eisen en wensen en een functie analyse voor een onderbeenprothese voor ontwikkelingslanden opgesteld worden.

## 2. Probleemdefinitie

In de probleemdefinitie wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar de nu heersende problemen, en hoe deze op te lossen. Hierin ligt de focus uiteindelijk op de problemen met de huidige beschikbare onderbeenprothesen in ontwikkelingslanden.

### 2.1 Werk en status

In ontwikkelingslanden zijn mensen vaak afhankelijk van zwaar lichamelijk werk in de landbouw (Strait, 2006). Als deze mensen gehandicapt raken, kunnen ze hun werk vaak niet meer (goed) uitvoeren. Hierdoor verliezen ze hun inkomen, en zullen ze in veel gevallen zelfs moeten gaan bedelen om aan eten te komen. Gehandicapte mensen horen in ontwikkelingslanden meestal bij de armsten van de armen (Lundquist, 2002). In derde wereld landen heerst er vaak ook een cultuur waarin je status belangrijk is. Gehandicapten verliezen vaak hun status als ze hun werk niet meer goed kunnen uitvoeren. Dit zorgt er voor dat deze mensen geen normaal sociaal leven meer kunnen hebben (Lundquist, 2002; Strait, 2006).

### 2.2 Oorlogen

In ontwikkelingslanden komen veel oorlogen voor. Ledematen raken in oorlogen vaker onherstelbaar beschadigd dan in vreedstijd. Dit komt bijvoorbeeld door het gebruik van landmijnen, welke alleen al zorgen voor ongeveer 5000 amputaties per jaar wereldwijd (Sam et al., 2004). Verder zullen werkomstandigheden in derde wereld landen ook minder zijn dan in de westerse wereld, waardoor de risico's op ongevallen waarbij ledematen onherstelbaar worden beschadigd ook hoger zullen zijn.

### 2.3 Kosten

Onderbeen prothesen zijn in de westerse wereld in overvloed beschikbaar. In ontwikkelingslanden is dit echter een probleem. Mensen verdienen gemiddeld rond de 300 dollar per jaar (Strait, 2006), terwijl prothesen (gemaakt in ontwikkelingslanden) al snel 125-1875 dollar kosten (Sam et al., 2004; Strait, 2006). In Amerika zit de gemiddelde prijs van een prothese zelfs tussen de 5000 en 15000 dollar (Strait, 2006). In ontwikkelingslanden kunnen mensen vaak nog wel een prothese kopen, maar in een leven hebben ze gemiddeld 15-20 prothesen nodig (volwassenen), of zelfs 25 als ze als 10

jarige een prothese nodig hebben (Strait, 2006). Mensen moeten soms tot 10 jaar sparen voor een prothese, waardoor een regelmatige vervanging onbetaalbaar wordt.

## 2.4 Recycling

Er zijn in het verleden programma's opgezet om oude prothesen uit de westerse wereld te recyclen, en naar ontwikkelingslanden te sturen. Deze oplossing heeft echter grote nadelen. Mensen die bijvoorbeeld eerst een state of the art prothese krijgen, kunnen als de prothese vervangen moet worden soms opeens een prothese krijgen die maar net iets beter is dan een houten been (Lundquist, 2002). Verder zijn prothesen die voor de westerse wereld bedoeld zijn vaak ook niet toegespitst op de vaak extreme weersypes zoals bijvoorbeeld hitte en luchtvochtigheid in de tropen (Sam et al., 2004). Een derde nadeel is dat technici en mensen die de prothesen moeten afstellen vaak te weinig kennis van zaken hebben, waardoor de prothesen verkeerd gebruikt worden (Lundquist, 2002). Wat verder nog een negatief punt is, is dat mensen in ontwikkelingslanden een negatief beeld krijgen van de westerse wereld; het beeld dat we prothesen wel erg makkelijk afdanken, en dat wij blijkbaar vinden dat een prothese die niet meer goed genoeg voor ons is, wel goed genoeg is voor hen (Lundquist, 2002).

## 2.5 Belangrijke punten koker

Bij beenprothesen is het belangrijk dat de koker goed zit. Een prothese wordt continu gedragen, en een slechte pasvorm zal sneller leiden tot afstoting dan een goede pasvorm (RADCLIFFE, 1954). Zelfs in de westerse wereld wordt vaak geklaagd over slecht zittende prothesen. Hierdoor ontstaan vaak huidproblemen. Dit wordt vaak toegeschreven aan een slecht passende koker en het feit dat de huid en onderliggende zachte weefsels van de stomp niet berekend zijn op hoge druk, schuifkrachten en bewegingen toegebracht door de koker van de prothese (Mak, Zhang, & Boone, 2001).

In een onderzoek naar de maximale krachten die mensen met geamputeerde onderbenen op het eind van hun stomp konden verdragen kwam naar voren dat dat gemiddeld 17,2 procent van hun lichaamsgewicht was (Persson & Liedberg, 1982). Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er een redelijk hoge standaard deviatie was tussen de patiënten (13,1 procent). Uit dit gegeven valt op te maken dat de koker van de prothese de krachten goed moet verdelen over het oppervlak, in plaats van alle krachten op te vangen op het eind van de stomp.

Om de koker comfortabel te maken is de hoeveelheid grip aan de binnenkant ook erg belangrijk. Als de koker niet genoeg grip heeft op de huid kan hij mogelijk bewegen of los komen te zitten (Mak, Zhang, & Boone, 2001). Een te ruw oppervlak is oncomfortabel voor de patiënt, terwijl een te glad oppervlak met daaronder een laag om te voorkomen dat de prothese grip heeft op de huid, ook niet gewenst is (Mak, Zhang, & Boone, 2001). Dit laatste komt niet zozeer door mechanische eigenschappen, maar door dat de huid te warm wordt, waardoor de patiënt meer gaat zweten (Mak, Zhang, & Boone, 2001).

In de westerse wereld is de meest gebruikte koker voor prothesen de PTB koker (Patellar-tendon-bearing) (Muilenburg & Bennett Wilson jr., 1996). Hierbij wordt het volledige gewicht van de patiënt door de stomp gedragen. De PTB koker omsluit de stomp volledig, en kan afhankelijk van wat de patiënt prettiger vindt een harde of zachte liner bevatten (harde liner: koel, zachte liner: meer demping maar warmer) (Muilenburg & Bennett Wilson jr., 1996). De prothese wordt op zijn plek gehouden door een band boven de knieschijf, de vorm van de koker, of door vacuüm (Muilenburg &

Bennett Wilson jr., 1996) . Onderzoek heeft aangetoond dat de maximale druk op de huid in een PTB koker bij lopen normaal gesproken onder de 220kPa ligt (Mak, Zhang, & Boone, 2001) .

## 2.6 Voorbeelden en problemen huidige prothesen

In afgelegen gebieden in ontwikkelingslanden zijn mensen erg creatief in het bedenken van oplossingen voor verloren ledematen. De volgende voorbeelden komen uit het artikel *'Prosthetics in Developing Countries'* geschreven door Erin Strait (Strait, 2006).

De simpelste oplossing genoemd in het artikel van Erin Strait is een kruk die met de hand wordt vasthouden. Bij deze prothese/hulpmiddel kunnen patiënten met hun knie op een steun liggen of met hun knie in een beugel hangen. Hiervan zijn ook verbeterde versies bedacht die met banden aan het resterende deel van het been vastgemaakt zijn, waardoor de patiënt zijn handen weer vrij heeft. Grote nadelen van deze prothese genoemd in het artikel zijn dat mensen snel problemen kunnen krijgen aan hun stomp, en dat de spieren van de knie en in het bovenbeen kunnen degraderen als ze niet dagelijks getraind worden (de knie ligt/hangt constant gebogen in de beugel, en wordt niet meer bewogen tijdens het lopen). Deze nadelen komen overeen met de eerder genoemde nadelen door een slecht passende koker. Verder heb je hier het volledige lichaamsgewicht van de patiënt op een klein oppervlak. Dit zal resulteren in pijn zoals gebleken uit het artikel *'Measurement of maximal end-weight-bearing in lower limb amputees'* (Persson & Liedberg, 1982) .

De tweede oplossing genoemd in *'Prosthetics in Developing Countries'* is een prothese gemaakt van bamboe of pvc met verband waar een soort voet onderaan verbonden is. In het artikel wordt beschreven dat deze prothesen worden opgebouwd door eerst een zachte stof onderaan de stomp van de patiënt vast te zetten. De zachte stof wordt vaak op zijn plaats gehouden door sokken over de stomp te trekken. Vervolgens wordt verband om de stomp heen gewikkeld, waar in stroken geknipt bamboe/pvc aan bevestigd wordt met touw. Een voet gemaakt van een blok hout, vaak met een stuk rubber er onder om grip te krijgen, wordt hier als soort voet onder bevestigd. Bij deze prothese zal je waarschijnlijk huidproblemen ondervinden doordat de koker erg primitief is, en geen gelijkmatige steun biedt. Verder wordt het volledige gewicht van de patiënt vrijwel op een punt gedragen. Ten slotte wordt de stomp waarschijnlijk ook nog eens erg warm doordat deze omwikkeld is met verband.

Een stapje omhoog van de bamboe/pvc prothese, is een prothese gemaakt van hout/leer en metaal. Bij de prothese van hout en metaal is de koker op maat uitgezaagd uit hout. Bij de prothese van leer en metaal wordt het leer over een gegoten vorm van de stomp getrokken en opgerekt. Om het leer wordt een metalen frame bevestigd, waar vervolgens een houten been aan bevestigd wordt. Hier is, net als bij de bamboe/pvc prothese, een voet aan bevestigd, gemaakt van een blok hout met daaronder vaak een stuk rubber voor grip. In Het artikel wordt beschreven dat het grote voordeel van leer is dat het zich aanpast aan de huid, waardoor minder drukpunten ervaren zullen worden. Een groot nadeel beschreven in het artikel is dat het maken van de prothese erg veel tijd kost.

De laatste prothese genoemd in het artikel van Erin Strait is een prothese gemaakt van fietsonderdelen. Hierbij wordt de voet gevormd door de zitting van het zadel af te schroeven. Hier wordt een voet onder gemaakt van, wederom, een blok hout met een stuk rubber er onder. Aan het frame van het zadel blijft de zadelpen zitten, met hieraan het frame van de fiets. De voorkant van de fiets wordt van het zadel ondersteunende deel afgehaald. De armen waar het achterwiel aan

bevestigd zat worden zo gebogen dat ze om de koker voor om de stomp komen te zitten. De koker wordt gemaakt van een zacht schuimmateriaal. Dit wordt aan de kokerhouder bevestigd door verband er omheen te wikkelen. Een groot voordeel van deze prothese is de prijs.

In het artikel wordt genoemd dat als de fiets afgeschreven is, deze gratis is, waardoor de kosten voor een prothese ongeveer uitkomen op 15 dollar. Een gebruikte fiets is in ontwikkelingslanden vaak rond de 3-15 dollar. De totale kosten van een prothese komen dan tussen de 18 en 30 dollar. Een ander groot voordeel van de prothese is dat hij in lengte te verstellen valt, en dat onderdelen makkelijk te vervangen zijn. Een nadeel is dat de prothese geen goede ondersteuning geeft voor de stomp, aangezien het volledige gewicht van de patiënt vrijwel alleen maar op het eind van de stomp rust. Verder zal de stomp waarschijnlijk ook erg warm worden doordat deze omwikkeld is met zacht schuimmateriaal en verband. Dit kan voor discomfort en huidproblemen zorgen (Mak, Zhang, & Boone, 2001).

## 2.7 Belangrijke punten pylon

In het artikel *'Experience with endoskeletal prostheses for lower extremities'* (Joseph H. Zettl, 1972) is beschreven dat een ideale prothese op 4 belangrijke punten aan te passen moet zijn:

- Hoekaanpassingen in flexie-extensie en adductie-abductie
- Horizontale aanpassingen in het medio laterale en anteroposteriore vlak (schuiven)
- Lengteaanpassingen van de pylon
- Draaiing van de prothesevoet

Om maximale veiligheid te waarborgen is het het beste om de aanpassingen onafhankelijk van elkaar te kunnen doen (Joseph H. Zettl, 1972).

Alle bovenstaande voorbeelden uit ontwikkelingslanden missen de hoekaanpassingen en de horizontale aanpassingen. Van de meesten zal je waarschijnlijk wel de voet kunnen draaien. De meeste primitieve prothesen uit ontwikkelingslanden zijn niet in lengte aan te passen.

### 3. Stakeholderanalyse

Alle personen die bij het probleem betrokken zijn moeten worden overwogen en geanalyseerd. Een manier om dit te doen is via het stakeholders diagram. Hierin worden de betrokken personen gezet, met daarachter hun problemen, verwachtingen, mogelijkheden en tekortkomingen, en de gevolgen van deze eigenschappen voor het project.

Stakeholder	Problemen	Verwachtingen	Mogelijkheden + tekortkomingen	Gevolgen
<b>Patiënt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mist mobiliteit</li> <li>- Geen goede, betaalbare prothese beschikbaar</li> <li>- Sociale en emotionele problemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Goedkope prothese die goed in te stellen is en lang meegaat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hebben niet veel geld</li> <li>- Geen verstand van moeilijke techniek</li> </ul>	De prothese moet goedkoop zijn en makkelijk en door iedereen aan te passen zijn
<b>Familie patiënt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patiënt kan geen geld meer verdienen voor zijn familie</li> <li>- Familie verliest sociaal aanzien door patiënt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een goede prothese die niet opvalt, waardoor de patiënt weer normaal kan functioneren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hebben niet veel geld</li> <li>- Kunnen patiënt begeleiden</li> </ul>	De prothese moet goedkoop zijn, niet opvallen, en de patiënt weer normaal laten functioneren
<b>Gemeenschap ontwikkelingslanden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patiënten voegen niks meer toe aan samenleving</li> <li>- Patiënten worden niet meer geaccepteerd</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niks meer te zien aan de patiënt waardoor je niet door hebt dat hij gehandicapt is.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sociale status wordt bepaald door wat je kan</li> <li>- Geen geld om te helpen</li> </ul>	Patiënten moeten een prothese krijgen waardoor je niet meer doorhebt dat ze gehandicapt zijn
<b>Gemeenschap westerse wereld</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Derde wereldlanden helpen kost geld</li> <li>- Niet helpen levert imagoschade op</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een prothese om de mensen in derde wereldlanden te helpen, die niet te duur is</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hebben veel geld</li> <li>- Ontwikkelingslanden zijn ver van zijn bed show</li> <li>- Willen niet te veel geld uitgeven aan derde wereldlanden</li> </ul>	De prothese moet goedkoop zijn

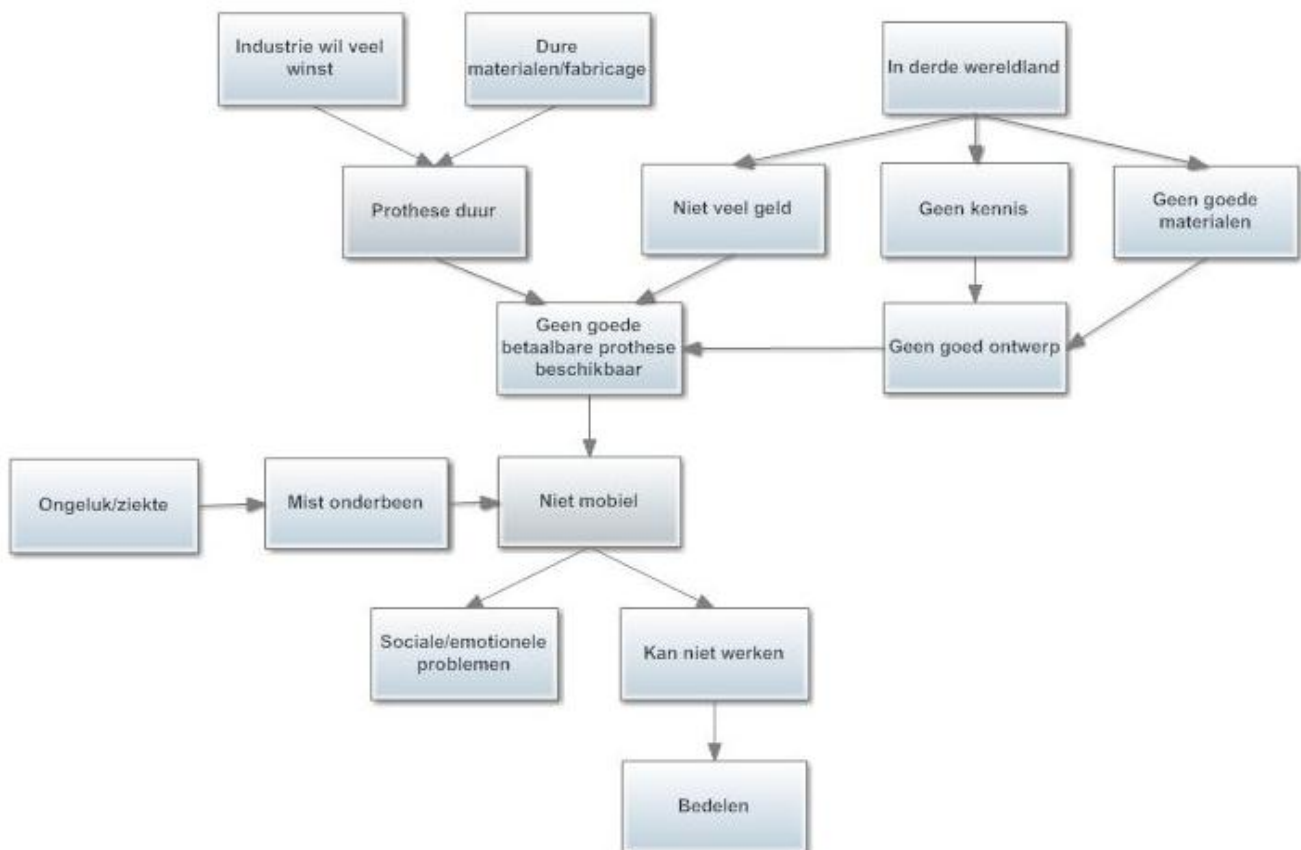


<p><b>Liefdadigheids-organisaties</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hebben geen geschikte prothesen om uit te delen</li> <li>- Huidige Prothesen zijn te duur om uit te delen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een goede prothese die geschikt is voor derde wereldlanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kunnen goedkoop prothesen uitdelen</li> <li>- Zijn afhankelijk van donaties van de westerse maatschappij</li> </ul>	<p>De prothese moet goedkoop en geschikt zijn voor derde wereldlanden</p>
<p><b>Instrumentmakers</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prothesen zijn niet snel ter plekke te maken</li> <li>- Materialen zijn niet beschikbaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een prothese die ter plekke in korte tijd te fabriceren is, van materialen die in derde wereldlanden beschikbaar zijn, of makkelijk aan te leveren zijn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kennis van techniek</li> <li>- Moet werken met de materialen die hij tot zijn beschikking heeft</li> </ul>	<p>De prothese moet ter plekke snel te produceren zijn met in het land beschikbare materialen of makkelijk te vershipen materialen</p>
<p><b>Industrie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kunnen geen geld verdienen aan prothesen in derde wereldlanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een goedkoop te produceren prothese, waar ze winst mee kunnen maken en die ze kunnen verkopen in derde wereldlanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hebben kennis om prothesen te produceren</li> <li>- Willen zo veel mogelijk winst maken</li> </ul>	<p>De prothese moet goedkoop en makkelijk te produceren zijn, zodat mensen in derde wereldlanden hem willen hebben</p>

## 4. Oorzaak-gevolg diagram

Uit de stakeholderanalyse vallen de oorzaak-gevolg diagrammen af te leiden. Hierin is overzichtelijk te zien wat de onderliggende oorzaken zijn van de problemen. Als het bovenste probleem wordt opgelost, zal alles wat er onder staat in theorie ook geen probleem meer zijn.

In het diagram is duidelijk te zien dat de bovenliggende oorzaken zijn dat de industrie veel winst wil maken, de materialen en fabricage methodes duur zijn en dat er in derde wereldlanden niet genoeg geld beschikbaar is voor huidige westerse prothesen. Verder is er uiteraard het probleem dat de patiënt een ongeluk/ziekte krijgt, waardoor hij een onderbeen mist. Indien in sommige gevallen 1 (ongeluk/ziekte), in andere gevallen meerdere probleem worden opgelost, zijn de uiteindelijke problemen uit de wereld, en zal de patiënt dus niet hoeven bedelen, en niet in een sociaal isolement raken.



Schema 1: Oorzaak gevolg diagram van de problemen.

## 5. Doelen

De uiteindelijke beste oplossing is om te voorkomen dat de patiënt immobiel wordt. Dit zou gedaan moeten worden door te voorkomen dat mensen hun onderbeen verliezen door een ongeluk of ziekte. Dit is echter (grotendeels) onhaalbaar, waardoor dus naar andere oplossingen gekeken moet worden.

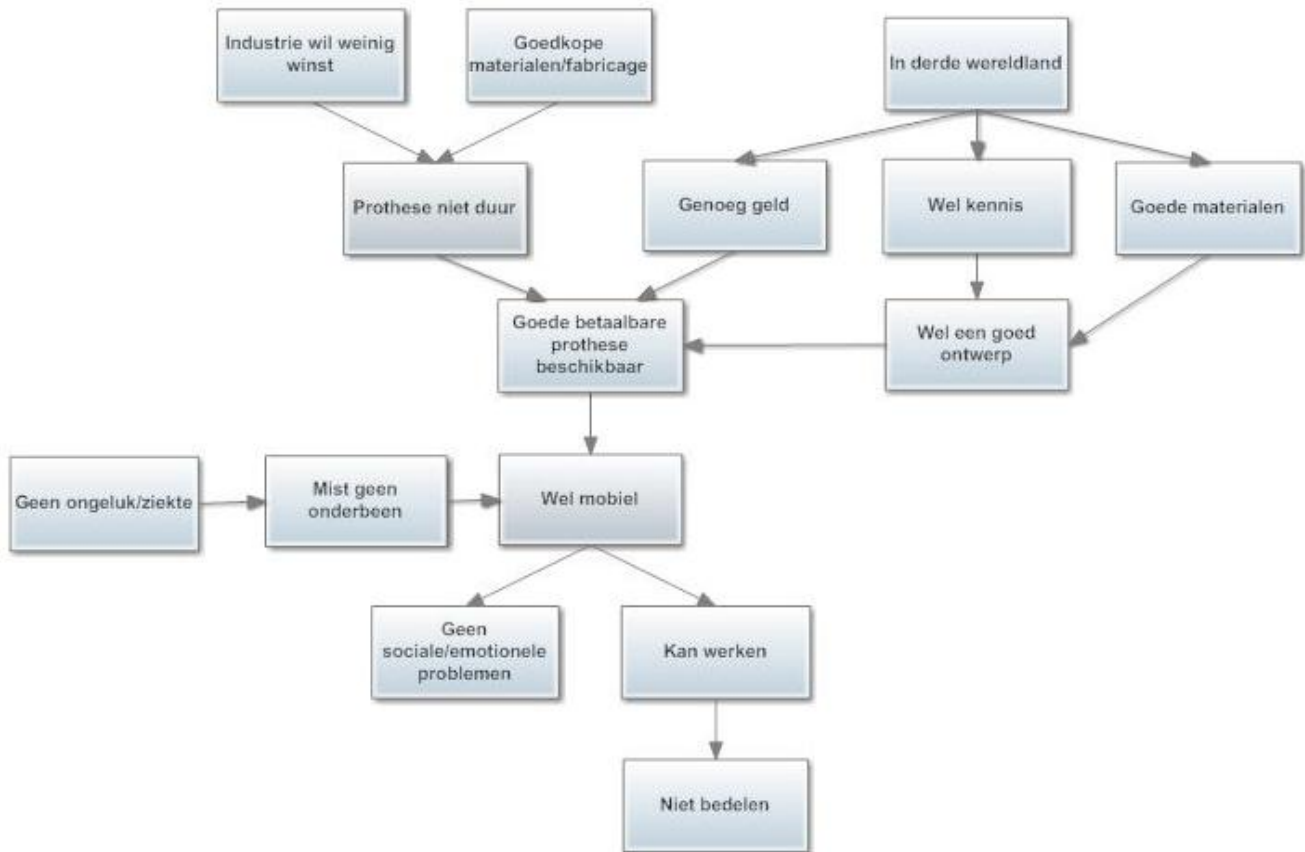
De reden dat een patiënt in ontwikkelingslanden immobiel blijft is dat er geen goede betaalbare prothesen beschikbaar zijn. De ultieme oorzaken waardoor dit zo is, zijn dat de westerse industrie te duur is, en dat er geen kennis, geld en materialen in derde wereldlanden beschikbaar zijn. Het beste is dus om deze problemen om te vormen in doelen, waardoor de onderliggende problemen automatisch oplossen. Het uiteindelijke doel is om een goede betaalbare prothese beschikbaar te stellen voor ontwikkelingslanden; indien dit probleem opgelost is zal de rest wat er onder staat zich vanzelf oplossen.

In een ideale situatie zou de fabrikant geen winst willen maken, en zouden de materialen en fabricagemethode niet duur zijn, waardoor er een goedkope prothese geproduceerd kan worden. Deze prothese wordt dan bereikbaar voor de mensen in derdewereld landen. Verder zouden deze mensen ook goede prothesen krijgen indien ze zelf meer geld zouden hebben, of indien er kennis en materialen naar derde wereld landen gaan waardoor ze zelf goede prothesen kunnen fabriceren. Hierdoor worden prothesen in ontwikkelingslanden betaalbaar en goed.

Waarschijnlijk is het niet haalbaar om de mensen in ontwikkelingslanden de beschikking over veel geld te geven. Daarom moet gekeken worden naar de kolom van de westerse fabricage, eventueel in combinatie met het toevoegen van kennis en aanleveren van goede materialen in ontwikkelingslanden. Waarschijnlijk is het onhaalbaar om een fabrikant zo ver te krijgen geen winst te willen maken, waardoor er geprobeerd moet worden om de materialen en productiemethodes zo goedkoop mogelijk te maken. Het is ook een oplossing om de juiste materialen of halffabricaten in combinatie met kennis naar derde wereld landen te sturen.

Verder kan er geprobeerd worden om goede doelen bereid te vinden geld te besteden om de prothesen betaalbaarder te maken voor de bevolking in ontwikkelingslanden. Hierdoor zullen de mensen dus goede prothesen krijgen, waardoor ze hun werk en sociale leven weer kunnen oppakken.

Schema 2 is het oorzaak gevolg diagram van de doelen. Hierin zijn alle doelen eenvoudig weergegeven. In het project zal moeten worden gefocust op het doel om een betaalbare goede prothese te ontwikkelen voor derde wereld landen.



Schema 2: Oorzaak gevolg diagram van de doelen.

## 6. Ontwerpopdracht

De ontwerpopdracht luidt als volgt:

Er zal een onderbeenprothese ontwikkeld worden om mensen in derde wereld landen die amputaties aan hun onderbeen hebben ondergaan te ondersteunen. De prothese zal geschikt zijn voor mensen die nog een stomp hebben onder de knie, waarbij de wonden van de amputatie volledig genezen zijn. De doelgroep van de prothese is uitgegroeide volwassenen.

Er zal gekeken worden naar de koker en de pylon van de prothese. Verder zal er ook gekeken worden naar de beste fabricagemethoden, en hoe de prothese ter plekke zo snel mogelijk aangepast kan worden aan de patiënten. De materialen van de koker en pylon zullen ook gespecificeerd worden. Dit alles zal klaar zijn in 7 weken, waarna het uiteindelijke ontwerp gepresenteerd zal worden in de vorm van een slideshow waarin schetsen getoond zullen worden.

Het uiteindelijke ontwerp zal een persoon van 100 kilogram tijdens zware arbeid kunnen ondersteunen zonder de stomp extreem te belasten. Verder zal de prothese 5 jaar in tropische omstandigheden kunnen functioneren, eventueel door vervanging van (gemiddeld) maximaal 1 onderdeel per jaar. De prijs van een volledige prothese mag voor de patiënt niet hoger liggen dan 100 dollar. Dit mag eventueel bereikt worden door de prothese mee te laten betalen door ontwikkelingsorganisaties of subsidies.

## 7. Programma van eisen en wensen

In het programma van eisen en wensen (PVE&W) zijn de voorwaarden te vinden waar een ontwerp aan moet voldoen, en waarmee bepaald kan worden welk ontwerp uiteindelijk het beste ontwerp is. De eisen en wensen zijn opgedeeld in zes verschillende categorieën:

- Gebruik
- Veiligheid
- Ergonomie
- Levensduur
- Kosten
- Voorkomen

### Gebruik

#### **Eisen**

- De prothese moet hoekaanpassingen in flexie en extensie toelaten van  $\pm 10$  graden, door middel van algemeen beschikbaar gereedschap
- De prothese moet hoekaanpassingen in adductie en abductie toelaten van  $\pm 10$  graden, door middel van algemeen beschikbaar gereedschap
- De prothese moet schuifinstellingen toelaten in het medio laterale en anteroposteriore vlak van  $\pm 10$ mm, door middel van algemeen beschikbaar gereedschap
- De pylon van de prothese moet 70mm in lengte te verstellen zijn door middel van algemeen beschikbaar gereedschap
- De prothese moet het toelaten dat de voet  $\pm 20$  graden gedraaid kan worden door gebruik van algemeen beschikbaar gereedschap
- De prothese moet binnen een minuut aan of uit te trekken zijn

#### **Wensen**

- De prothese moet makkelijk te demonteren zijn door middel van algemeen beschikbaar gereedschap
- De prothese moet zo snel mogelijk aan en uit te trekken zijn
- De prothese moet te gebruiken zijn voor mensen in de groei

### Veiligheid

#### **Eisen**

- Er mogen geen scherpe uitstekende delen aan de prothese zitten
- De prothese moet een patiënt van 100 kilo kunnen dragen tijdens zware arbeidsomstandigheden (piekbelasting van 2000 newton)
- De prothese mag niet losraken van de stomp bij een trekkracht van minder dan 150 Newton (voeten uit drassig land trekken)

#### **Wensen**

- De prothese moet zoveel mogelijk gewicht aan kunnen
- De prothese moet aan de stomp blijven zitten bij een zo groot mogelijke trekkracht zonder te veel discomfort te veroorzaken

## Ergonomie

### Eisen

- De prothese moet probleemloos 10 uur achter elkaar gedragen kunnen worden
- De prothese moet tijdens zwaar werk gebruikt kunnen worden zonder de stomp af te knellen
- Het gewicht op het uiteinde van de stomp moet bij zware arbeid onder de 17 procent van het lichaamsgewicht van de patiënt blijven
- De prothese mag maximaal 7 kilogram wegen
- De patiënt moet tijdens het dragen van de prothese zijn handen vrij kunnen hebben

### Wensen

- De prothese moet ook gebruikt kunnen worden door groeiende tieners.
- De prothese moet zo lang mogelijk achter elkaar gedragen kunnen worden
- De prothese moet zo licht mogelijk zijn
- De prothese moet tijdens lopen dezelfde maximale oppervlakedruk hebben als de PTB prothese (220kPa)
- De druk op de stomp moet door de koker zo veel mogelijk verdeeld worden

## Levensduur

### Eisen

- De prothese moet minimaal 5 jaar meegaan in tropische omstandigheden (temperatuur van boven de 30 graden bij hoge luchtvochtigheid), waarbij 1x per jaar een onderdeel vervangen mag worden

### Wensen

- Onderdelen moeten door gebruik van normaal gereedschap te vervangen zijn
- Onderdelen moeten relatief makkelijk geleverd kunnen worden
- De prothese moet zo lang mogelijk meegaan
- Onderdelen moeten in het land waar de prothese gebruikt wordt beschikbaar zijn (algemeen beschikbare onderdelen)

## Kosten

### Eisen

- Het product mag mensen in ontwikkelingslanden niet meer kosten dan \$100 voor de complete prothese

### Wensen

- Het product moet zo goedkoop mogelijk zijn
- Vervangende onderdelen moeten zo goedkoop mogelijk geleverd worden aan de patiënten

## Voorkomen

### Eisen

- Het product mag geen angstgevoelens oproepen bij mensen

### Wensen

- Het product moet er uit zien als een normaal menselijk been

## 8. Functieanalyse

Om tijdens het ontwerpproces niet gelimiteerd te zijn door bestaande ideeën moet de functie van de prothese zo abstract mogelijk geformuleerd worden. Dit wordt gedaan door middel van een functie analyse.

De hoofdfunctie van de prothese is om energie te transporteren; het moet het gewicht van de patiënt van de stomp naar de voet overdragen. De sub functies van de prothese zijn:

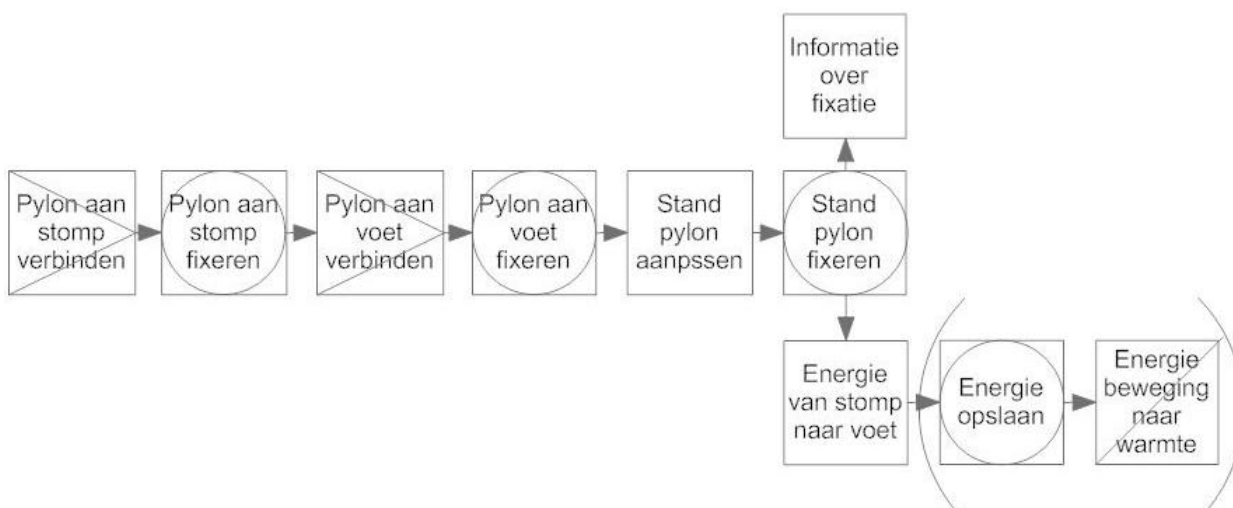
- Materiaal verbinden; de pylon moet aan de stomp verbonden worden
- Materiaal verbinden; de pylon moet aan de voet verbonden worden
- Materiaal opslaan; de prothese moet aan de voet en de stomp vast blijven zitten
- Materiaal transporteren; de stand van de pylon en voet moet aan te passen zijn
- Materiaal opslaan; de stand van de pylon moet vastgezet kunnen worden
- Informatie transporteren; informatie over de stand van de pylon en of hij goed vast zit

Om de piekbelasting op de stomp van de patiënt te verlagen kunnen eventueel nog meer functies aan de prothese toegevoegd worden:

- Energie opslaan; om de piekbelasting op de stomp te verlagen, waarna de energie verspreid weer vrij kan komen
- Energie transformeren; de pylon moet bewegingsenergie omzetten in warmte om piekbelasting te verlagen

In de juiste volgorde wordt dat: het combineren van materiaal om de pylon aan de stomp vast te maken, en het combineren van materiaal om de pylon aan de voet te verbinden. Vervolgens het fixeren van de prothese aan de stomp en de voet. Dan zal beweging van de gebruiker overgebracht moeten worden naar een beweging in de pylon om de stand aan te kunnen passen. Deze stand moet gefixeerd worden, en informatie over de fixatie moet afgegeven worden. Hierna moet de prothese energie transporteren. Deze energie wordt eventueel nog opgeslagen, en omgezet in warmte om de piekbelasting omlaag te kunnen brengen.

Deze functies kunnen weergegeven worden in het volgende functieschema:



Schema 3: Het functieschema van de prothese (tussen haakjes staat het gedeelte om de piekbelasting te verlagen)



## 9. Conclusie

In ontwikkelingslanden zijn mensen erg afhankelijk van hun werk voor hun inkomen. Waar je in de westerse wereld vaak een uitkering kan krijgen bij een handicap, zijn mensen in ontwikkelingslanden op zichzelf of familie aangewezen. Hierdoor zullen ze, mede door het veelal landbouw gebaseerde leven, bij het verliezen van een been vaak aangewezen zijn op bedelen als inkomensbron. Verder worden mensen met een handicap vaak niet algemeen geaccepteerd in het sociale leven, waardoor ze een soort buitenbeentjes van de samenleving zullen worden. Om dit alles nog erger te maken; In ontwikkelingslanden heersen vaker oorlogen dan in westerse landen, waardoor mensen ook meer kans hebben om hun been te verliezen.

De kosten van een goede in ontwikkelingslanden geproduceerde prothese liggen rond de 125 – 1875 dollar. Deze bedragen zijn voor sommige mensen die hun been verliezen nog wel 1x te betalen. Maar de prothesen gaan vaak niet lang mee, en moeten gemiddeld zo'n 20x vervangen worden. Dit is voor de meeste mensen in ontwikkelingslanden onbetaalbaar. Het is dus erg belangrijk dat een prothese lang mee kan gaan, en zo goedkoop mogelijk is, zodat mensen met een handicap weer geaccepteerd zullen worden, en weer aan het werk kunnen. Uit dit feit vloeien de eisen voort dat de prothese minimaal 5 jaar moet meegaan, en maximaal 100 dollar mag kosten. Als een prothese 5 jaar meegaat, zal een persoon als die 80 jaar oud wordt vanaf zijn twintigste ongeveer 12 prothesen nodig hebben; veel minder dan nu het geval is.

Voor het analyseren van alle problemen is een stakeholders analyse opgezet. Hieruit is gebleken dat het vooral noodzakelijk is om een goedkope prothese te ontwikkelen, die lang mee gaat. Dit is doorgetrokken in de oorzaak gevolg diagrammen, waar uit naar voren komt dat de problemen van de patiënten uiteindelijk opgelost zijn als er een goedkope, geschikte prothese beschikbaar is.

Uit het voorgaande is de ontwerp opdracht opgezet, waarin de belangrijkste punten zijn dat de te ontwerpen prothese minimaal 5 jaar mee zal moeten kunnen gaan in tropische omstandigheden en dat de prothese maximaal 100 dollar mag kosten voor de patiënt. Doordat er niet wordt vastgelegd dat de maximale prijs van de prothese 100 dollar mag zijn, zijn er nog meer opties open, en is de kans groter dat er een geschikte prothese geproduceerd kan worden. Een tegenpool hiervan is dat, indien de prothese duurder is dan 100 dollar, er organisaties bereid gevonden moeten worden om een deel van de prothesen te betalen.

Het functieschema en het programma van eisen en wensen zijn allebei afgeleid uit het uitgevoerde literatuuronderzoek en het daarop gebaseerde stakeholders diagram, en oorzaak gevolg diagrammen. Het PVE&W en functieschema kunnen uiteindelijk gebruikt worden om ontwerpen uit te werken, en vervolgens uit te vinden wat het beste ontwerp is.

## 10. Referenties

Joseph H. Zettl, C. P. (1972). Experience with endoskeletal prostheses for lower extremities. *Bulletin of Prosthetics Research, spring 1972*, 52-66.

Lundquist, M. (2002). The Challenge of Prosthetic Services in Developing Countries. *Journal of Mine Action*, 6.3

Mak, A. F., Zhang, M., & Boone, D. A. (2001). State-of-the-art research in lower-limb prosthetic biomechanics-socket interface: a review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 38(2), 161-174.

Muilenburg, A. L., & Bennett Wilson jr., A. (1996). *A Manual for Below-Knee Amputees: The Definitive Prosthesis*. Retrieved 06/04, 2012, from <http://www.oandp.com/resources/patientinfo/manuals/7.htm>

Persson, B. M., & Liedberg, E. (1982). Measurement of maximal end-weight-bearing in lower limb amputees. *Prosthetics and Orthotics International*, 6(3), 147-151.

RADCLIFFE, C. W. (1954). Mechanical aids for alignment of lower-extremity prostheses. *Artificial Limbs*, 12, 20-28.

Sam, M., Childress, D. S., Hansen, A. H., Meier, M. R., Lambla, S., Grahn, E. C., et al. (2004). The 'shape&roll' prosthetic foot: I. Design and development of appropriate technology for low-income countries. *Medicine, Conflict, and Survival*, 20(4), 294-306.

Strait, E. (2006). Prosthetics in developing countries.