

Het genereren en evalueren van concepten voor een dynamische voetzool

Bachelor opdracht | Marijn Bults

s1234862

Industrieel Ontwerpen

Universiteit Twente

Uitgevoerd in opdracht van PLT Products en Voetcentrum Wender

16 maart 2015



Voetencentrum
Wender



PLT
products

UNIVERSITEIT TWENTE.

Informatie

Titel:	Het genereren en evalueren van concepten voor een dynamische voetzool.
Onderwijsinstelling:	Universiteit Twente Faculteit Construerende Technische Wetenschappen Opleiding Industrieel Ontwerpen www.io.utwente.nl
Auteur:	Marijn Bults s1234862 m.a.bults@student.utwente.nl
Begeleider:	IR. E.E.G. Hekman Universiteit Twente e.e.g.hekman@utwente.nl
Tweede examinerator:	Dr.Ir. G.M. Bonnema Universiteit Twente g.m.bonnema@utwente.nl
Externe Begeleider:	Rick Broshuis PLT Products
In opdracht van:	Ed Wender Podotherapeut Voetencentrum Wender PLT Products Haaksbergen 7483 PG Elektrostraat 2C
Plaats:	Enschede
Datum:	28-4-2015

Voorwoord

In dit verslag wordt een begin gemaakt aan een ontwerp van een dynamische podotherapeutische voetzool. Deze dynamische podotherapeutische voetzool betreft een 3D geprinte zool, een zool die naderhand aan te passen is. De opdracht is uitgevoerd op de locatie van PLT products te Haaksbergen, Overijssel voor de studie Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente, te Enschede. De opdracht is gevormd door de heer Wender, onder andere eigenaar van Voetencentrum Wender en de opdracht blijft intellectueel eigendom van de heer Wender.

Voor de opdracht was geen kennis van podotherapeutische voetzolen, de relevante kennis is tijdens de opdracht opgedaan. Met deze kennis zijn eisen geformuleerd voor het maken van verschillende concepten. Het feit dat geen podotherapeutische en medische kennis paraat was samen met het feit dat de uitkomst van de opdracht geheel onzeker was, maakt deze opdracht zo interessant. Mede hierdoor is de opdracht gekozen.

Tijdens de opdracht is veel contact geweest met de heer Hekman, in de vorm van feedbacksessies. Ook is er veel contact geweest met de heer Rick Broshuis, leidinggevende bij PLT en externe begeleider van deze opdracht. Ten slotte is er veel contact geweest met de heer Wender, bedenker van deze opdracht. Zonder hulp van deze personen had deze opdracht niet de vorm gekregen die het nu heeft, mijn dank daarvoor.

Marijn Bults

2015

Samenvatting

Dit verslag is geschreven voor het afstuderen van de opleiding Industrieel Ontwerpen te Universiteit Twente. Het betreft een onderzoek naar een dynamische, podotherapeutische voetzool. Een dynamische voetzool is een voetzool die gemakkelijk aan te passen is na de productie. In de huidige situatie worden de voetzolen geproduceerd met een relatief zacht materiaal, waardoor de voetzolen na de productie aan te passen zijn. De nieuwe productiemethode van de voetzolen is 3D printing, door deze productiemethode wordt een voetzool erg hard. Waardoor in de huidige situatie de zool niet meer kan worden aangepast. Daarom moet een onderzoek worden uitgevoerd naar de mogelijkheden om een 3D geprinte voetzool na de productie aan te kunnen passen.

Om een dergelijk onderzoek uit te kunnen voeren, is onder andere kennis van de podotherapeutische voetzolen nodig. Een groot gedeelte van de analysefase is hier aan gewijd. Verder is onderzoek gedaan naar de huidige productiemethoden, 3D printing en wat voor ontwerpeisen horen bij het 3D printen. De analysefase is afgesloten met een onderzoek naar de kracht op verschillende posities in de voetzool. Op de positie met de grootste belasting is een test uitgevoerd om te bepalen hoe groot deze belasting is en welk element hiermee correspondeert. Nadat duidelijk was hoe groot deze belasting was, zijn verschillende concepten gemaakt die het element waar de grootste belasting op staat als uitgangspunt hebben. Ten slotte zijn deze concepten geëvalueerd en is een voorstel voor een eindconcept gemaakt.

De opdracht is uitgevoerd bij PLT Products te Haaksbergen in samenwerking met de heer Ed Wender. De opdracht is confidentieel en blijft intellectueel eigendom van de heer Wender.

Summary

This report is written for the graduation of the bachelor's program Industrial Design at the University of Twente. The report contains a research on dynamic, pediatric footpads. Dynamic footpads are footpads that can be easily adjusted after production. In the current situation the footpads are produced with a soft material. In the future situation the footpads will possibly be produced with a 3D printer. The 3D printer makes use of a relatively stiff material. As a result, it will not be possible to adjust the footpads after the production. To be able to adjust the footpads after the production, a design of a dynamic footpad is desired.

To be able to do a research on a new footpad, it is necessary to have the relevant pediatric knowledge. A substantial part of the analysis phase is dedicated to obtain the much needed pediatric knowledge. Furthermore, the current production methods, 3D printing and the design rules regarding 3D printing are researched. The analysis phase is concluded with a research on the pressure in different parts of the footpads. On the position with the highest pressure, a research is conducted to obtain the magnitude of this pressure and which element of the footpad corresponds with this position. After obtaining the information on the pressure and the corresponding element, designs for a dynamic part of the footpad were made. The purpose of this design was to be able to adjust the element which corresponds with the highest pressure, after production. Lastly the designs were evaluated and a proposition for a concluding concept has been done.

The assignment was conducted for PLT Products at Haaksbergen in cooperation with Mr. Ed Wender. The assignment is confidential and is intellectual property of Mr. Ed Wender.

Inhoudsopgave

9. Inleiding

- 10. Opdrachtgever
- 11. Podotherapie en PLT
- 12. Podotherapie en de werking van de zool
- 12. Stakeholders en hun wensen
- 13. Waarom de opdracht?
- 13. Opdrachtomschrijving
- 13. Conclusie inleiding

15. Analysefase

- 16. Elementen in de voetzool
 - 17. *Pelotte*
 - 18. *HAI*
 - 18. *MIC*
 - 19. *RCTB*
- 19. Positie van deze elementen
- 20. Materiaal
- 20. Productiemethoden binnen PLT
- 21. Resolutie van de printer
 - 21. *Extern Onderzoek*
 - 23. *Onderzoek medewerker PLT*
- 24. Een andere soort voetzool
- 24. Onderzoek wensen podotherapeuten

- 25. Economische aspecten voetzool
- 26. Onderzoek verschillende schoenen
- 27. Druk op voetzolen
- 30. Conclusie analysefase: Ontwerprichtlijnen
- 34. Concluderend

37. Conceptfase

- 38. Ideefase
- 39. Conceptfase
- 40. Concept 1
- 42. Concept 2
- 44. Concept 3
- 46. Concept 4

49. Conclusie

- 50. Evaluatie Conceptfase
- 53. Eindconcept
- 54. Werking eindconcept
- 56. Tot slot



Inleiding

PLT



Dit verslag is geschreven voor het afstuderen van de Bachelor Industrieel Ontwerpen te Universiteit Twente, in opdracht van PLT Products. Het betreft een start voor een ontwerp van een nieuwe podotherapeutische voetzool. Het plan voor het ontwerpen van de nieuwe podotherapeutische voetzool is in samenwerking met PLT Products te Haaksbergen en de heer Ed Wender uitgevoerd en is daarom ook intellectueel eigendom van de heer Wender.

Het eerste hoofdstuk van dit verslag is een inleiding, hier wordt onder meer de kennis voor de podotherapeutische voetzolen gepresenteerd.

Opdrachtgever

De directe opdrachtgever is PLT Products te Haaksbergen, Overijssel. Er zal echter ook veel contact worden gemaakt met Voetencentrum Wender, een partner van PLT.

PLT opereert sinds augustus 2000 nationaal, maar wil in de toekomst ook internationaal werken. De oorsprong van PLT ligt in het handmatig vervaardigen van inlegzolen, door kennis van vele voetspecialisten hebben zij dit kunnen verwerken tot het digitale proces van scannen, modelleren en frezen van voetsoorten¹. Het is een bedrijf dat graag innovatief is en voorop wil lopen met de technische ontwikkelingen.

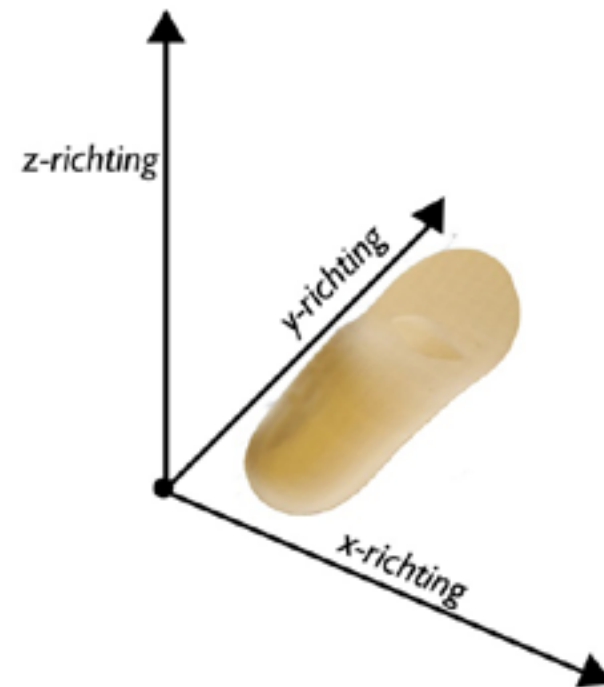
Voetencentrum Wender, voorheen Podotherapie Wender, is in 1995 opgericht door Ed Wender. Voetencentrum Wender is een organisatie gericht op de algehele voetverzorging en kijkt verder dan alleen uw klachten. De roots van Voetencentrum Wender bevinden zich in Twente, waar na vele belangstelling de groei zich inzette en heeft Voetencentrum Wender zich uitgebreid naar het westen en noorden van het land. Momenteel is Voetencentrum Wender een organisatie met 135 vestigingen verspreid door heel midden Nederland.²

De opdrachtgever, PLT, ontvangt orders van voetspecialisten, waarna zij patiënt specifieke voetsoorten vervaardigen. Meestal gebeurt dit door computergestuurd frezen (98% van de productie) en 3d printing. Zij maken naast voetsoorten ook speciale slippers, waarin patiënt specifieke behandeling in de zolen van de slipper is verwerkt. PLT heeft een prijs gewonnen voor deze custom made slippers: 'FITS'. Voetencentrum Wender (VC Wender) is een partner van PLT products, van origine is PLT door onder andere de heer Wender opgezet.

PLT en Voetencentrum Wender streven naar nieuwe innovaties op het gebied van podotherapeutische zolen. Hierbij speelt 3D-printing een erg belangrijke rol. Door deze innovatie willen zij niet alleen marktleider in Nederland zijn en blijven, maar willen zij internationaal succes behalen. PLT heeft veel contact met voetspecialisten, vooral van voetencentrum Wender, dit is ook hun grootste klant. Verder hebben zij ervaring met het ontwerpen en maken van de voetsoorten, hierdoor is PLT de perfecte kandidaat voor een nieuwe innovatie op het gebied van voetsoorten.

Assenstelsel

In het verslag wordt over richtingen gesproken (x,y,z). Deze richtingen zijn gedefinieerd in afbeelding 1, met de z als hoogte, y als lengte en x als breedterichting.



Afbeelding 1: Assenstelsel

Podotherapie en PLT

Voeten zijn de basis van het menselijke bewegingsapparaat. Patiënten met voetproblemen kunnen klachten of afwijkingen in andere delen van het lichaam krijgen. Een podotherapeut specialiseert zich in het behandelen en voorkomen van afwijkingen die voortvloeien uit een afwijkend functioneren en/of afwijkende stand van de voeten³. Het behandelen van deze klachten gebeurt vanuit het corrigeren van de stand van de voet door middel van voetsoorten. Deze voetsoorten hebben specifieke elementen die actief de standsafwijking corrigeren of de voeten ondersteunen wanneer nodig.

Vanuit de oorsprong werken podotherapeuten met een blauwdruk. Van de onderkant van de voeten van een patiënt werden afdrucken gemaakt, daarop kon afgelezen worden hoeveel druk op de verschillende delen van de voeten staat; hoe meer inkt, hoe meer belasting⁴. Vervolgens werd hiermee een patiënt specifieke zool gemaakt door middel van elementen. Elementen zijn bouwstenen die op een zool worden gebouwd. Er zijn verschillende elementen voor verschillende problemen en therapieën, deze worden later behandeld.

Hedendaagse techniek heeft ervoor gezorgd dat de podotherapeuten en podologen niet meer handmatig de zolen dienen te vervaardigen, dit gebeurt steeds meer met computergestuurde machines zoals freesbanken. Een podotherapeut scant de voeten van de patiënten in, bouwt hier vervolgens digitaal de benodigde elementen op en laat dit vervaardigen. Het maken, wat eerder door de podotherapeuten zelf gebeurde, gebeurt steeds vaker bij externe bedrijven die de beschikking hebben over dure apparatuur. PLT is zo een bedrijf dat enkel zolen vervaardigd (naast de FITS), ze krijgen orders van podotherapeuten in de vorm van CAD files en produceren vervolgens de zolen naar de wens van de podotherapeut. De podotherapeuten hebben vervolgens weer belang bij de wensen van de patiënt, hier heeft PLT daardoor ook indirect mee te maken.

Het nadeel voor podotherapeuten van het extern laten vervaardigen van de voetsoorten is dat ze het werk uit handen geven. Er wordt door de podotherapeut een ontwerp gemaakt, maar de zool wordt niet meer zelf gemaakt. Het is daarom ook de hoogste prioriteit van PLT om de podotherapeuten tevreden te stellen, zodat zij vertrouwen houden in het werk van PLT. Het voordeel van het extern laten vervaardigen van de voetsoorten is niet alleen dat er meer tijd over blijft voor het diagnosticeren van patiënten, maar ook dat preciezer vervaardigd kan worden. Hoe precies dit vervaardigd kan worden, is onder andere afhankelijk van de juistheid en de precisie van de CAD tekening, die gemaakt wordt door de podotherapeut, maar ook van de productiemethode.

Op dit moment worden de voetsoorten bij PLT vervaardigd door middel van computergestuurd frezen en 3D-printing maar ook nog steeds volgens de conventionele methode waarbij elementen op een platte zool worden gebouwd. Over de verschillende productiemethoden binnen PLT zal later verder worden uitgeweid.



Afbeelding 2: Podotherapeutische voetsool⁵

¹ <http://www.pltproducts.nl/home.html>

² <http://www.podotherapeut.nl/over-ons>

³ Podotherapie.nl

⁴ pltproducts.nl

⁵ gezondheidsnet.nl

Podotherapie en de werking van de zool

Podotherapeutische voetzoelen zijn zolen welke specifiek voor de patiënt zijn gemaakt. De functie van de zolen is afhankelijk van de klachten en de voeten waarvoor ze gemaakt moeten worden. De zolen kunnen een corrigerende werking hebben op standsafwijkingen, de voetfunctie tijdens het lopen verbeteren en een druk verdelende functie hebben om overdrukplekken te verminderen of te voorkomen⁶. Onderzoek⁷ toont aan dat therapeutische zolen een vermindering van de klachten kan veroorzaken. De therapeutische werking van de voetzoelen is er, maar hoe wordt dit gedaan?

Er zijn 2 verschillende soorten therapeutische voetzoelen te onderscheiden: ondersteunende en actieve voetzoelen. Beide functies worden verkregen door elementen op de zolen aan te brengen en materialen met bepaalde hardheidseigenschappen te kiezen. De ondersteunende werking zorgt voor drukvermindering en is vooral van toepassing op bijvoorbeeld diabetes voeten, waar een dempende werking noodzakelijk is (bij een atrofische huid, een verzwakte huid).

Corrigerende en preventieve zolen zijn de actieve therapeutische zolen, ze zorgen voor een actieve correctie van de standsafwijking. De elementen die voor de ondersteunende of corrigerende werking zorgen verschillen per patiënt en bestaan uit standaard elementen die patiënt specifieke afmetingen hebben. De afmetingen worden gekozen zodat de podotherapeut voldoende correctie kan bieden aan de patiënt. Grotere afmetingen van de elementen, betekent meer correctie. De podotherapeut wil echter dat de zool zoveel mogelijk contact houdt met de voet, drukverdelende zolen zijn doorgaans het doel, wat bereikt wordt middels full contact zolen zodat de gehele voet het gewicht van de patiënt draagt.

⁶ podotherapie-voetopmaat.nl

⁷ E. Roos et. AL. (2006) *Foot orthoses for the treatment of plantar fasciitis*, Medline

⁸ Zie begrippenlijst voor het begrip dynamisch

Stakeholders en hun wensen

Er zijn verschillende stakeholders te onderscheiden, de belangrijkste belanghebbenden worden hier bondig beschreven. Dit zijn: Ed Wender, PLT Products, Podotherapeuten en de patiënten.

Ed Wender

Ed Wender is mede eigenaar van Wender voetcentra, hij heeft hiermee meer podotherapie locaties op zijn naam staan dan elk ander persoon in Nederland. De heer Wender is ook de bedenker van deze opdracht, tijdens de opdracht zal daarom ook veel contact plaatsvinden met de heer Wender. Het uiteindelijke product blijft intellectueel eigendom van de heer Wender, hij zal het product in gebruik willen nemen. De heer Wender is mede opdrachtgever en zijn belangen liggen bij het succesvol volbrengen van deze opdracht. Een succes zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat onderzoek is uitgevoerd naar de mogelijkheden om een voetzool dynamisch⁸ te maken. Een ander eindresultaat van deze opdracht zou kunnen zijn dat de meest gebruikte elementen dynamisch gemaakt zijn. De heer Wender bekijkt de opdracht van de financiële kant, maar ook vanuit de essentiële medische kant.

PLT Products

PLT Products is het bedrijf waar de opdracht voor uitgevoerd zal worden. Dit wordt mede gedaan omdat PLT hoofdzakelijk een productiebedrijf is, wanneer de uitgevoerde opdracht succes heeft zal het hier geproduceerd kunnen worden. Binnen PLT zal veel contact zijn met de heer Rick Broshuis, een leidinggevende binnen het bedrijf. PLT is een commercieel bedrijf en is daardoor hoofdzakelijk uit op het behalen en behouden van winst. Winst kan alleen behaald worden als een goed product tegen een overeenkomende prijs wordt geleverd. Hierdoor is PLT, net als de heer Wender, uit op een financieel succes, wat voortkomt uit een goed medisch resultaat.

Podotherapeuten

De afnemers van het product zijn de podotherapeuten. Op het moment van schrijven zijn er verschillende zolen beschikbaar die een goed resultaat bieden, voor een niet te hoge prijs. Het doel is om ervoor te zorgen dat het eindresultaat een beter resultaat biedt dan de huidige beschikbare zolen. De podotherapeuten hebben hoofdzakelijk

belang bij een goede medische werking van de zool, zij willen de klachten van hun patiënten verhelpen door het gebruik van goede zolen. Wanneer de patiënten niet tevreden zijn, zal de podotherapeut hier de schuld van krijgen, wat ervoor kan zorgen dat de te ontwerpen zool vermeden wordt.

Patiënten

De patiënten zijn de eindgebruikers, zij zullen de te ontwerpen zool uiteindelijk moeten gaan gebruiken. De patiënten zullen te allen tijde tevreden gehouden moeten worden, zoals hiervoor al aangegeven kunnen ontevreden patiënten ervoor zorgen dat de te ontwerpen zool vermeden wordt. Patiënten hebben belang bij het verhelpen van hun klachten, ook willen zij geen hinder ondervinden van de te dragen voetzool.

Waarom de opdracht?

Huidige voetzoelen volbrengen hun doel, ze verlichten de klachten van de patiënt, ze zijn niet (te) duur en gemakkelijk te produceren. De productie is gemoderniseerd door gebruik te maken van 3D scans van de voeten van de patiënt, om vanuit deze scans aanpassingen ten behoeve van de therapie aan te brengen in 3D software. Er zijn echter ook wat problemen met de huidige beschikbare voetzoelen. Wanneer de voetzoelen gemaakt zijn, is het bijvoorbeeld erg veel werk om deze aan te passen. Het aanpassen kost behalve materiaal, ook erg veel werkuren. Vooral de extra werkuren die zitten in een voetzool kosten veel geld voor de therapeut en wachttijd voor de patiënt. Ook is er met de huidige productiemethoden⁹ relatief veel afval, dit kost de producent geld door het inefficiënt gebruik van materiaal en het moeten verwerken van het afval. Wanneer een nieuwe productiemethode wordt gebruikt zoals 3D printing, kan het inefficiënt gebruik van materiaal worden teruggedrongen. PLT is onder meer om die reden de overstap naar 3D printen aan het maken. Bij een 3d printzool is het echter niet mogelijk om het ontwerp naderhand aan te passen, waardoor de zool een (onoverkomelijk) nadeel heeft. Om een 3d printzool te kunnen gebruiken moeten oplossingen worden gegenereerd voor het post productie aanpassen van de voetzool, dit is de kern van de opdracht.

⁹ Productiemethoden worden later in het verslag behandeld

Opdrachtschrijving

De volledige opdrachtschrijving is: 'Het genereren en evalueren van concepten voor een dynamische voetzool.'

Conclusie inleiding

Als afsluiting op de inleiding zal een vooruitblik op de lijn van het verslag worden gegeven. De opdrachtschrijving en een inleidend verhaal over podotherapie en PLT Products en hun stakeholders is gegeven, het volgende hoofdstuk zal ingaan op de verschillende elementen van de voetzool. De meest gebruikte elementen zullen gedetailleerd worden behandeld omdat de focus voor het ontwerp als eerst op deze elementen zal liggen. Vervolgens zal het materiaal voor de podotherapeutische voetzoelen worden toegelicht en wat voor productiemethoden hierbij horen. Vanuit de productiemethoden, zullen ontwerpeisen worden gedefinieerd.

Na de productiemethoden zal kort het verschil tussen orthopedische en podotherapeutische voetzoelen worden toegelicht. Vervolgens zullen de wensen van verschillende podotherapeuten worden toegelicht met betrekking tot de opdracht en zal kort naar de economische aspecten van de te ontwerpen zool worden gekeken. Dan zullen verschillende soorten schoenen worden behandeld en wat deze voor beperkingen of mogelijkheden met zich meebrengen. Om naar het einde van de analysefase toe te werken door de druk op specifieke punten in de voetzool te meten. De analysefase wordt afgesloten met de gekozen elementen, waar ontwerpeisen voor worden gemaakt met de opgedane kennis.

Na de analysefase zal de opdracht worden vervolgd met de ideefase. In de ideefase worden ideeën gegenereerd die in de conceptfase concreet worden gemaakt. In de ideefase wordt eerst vrij ontworpen, waarna in de conceptfase, de volgende fase, deze ideeën worden getoetst aan de hand van het gemaakte PvE. De goede ideeën worden uitgewerkt.

Als alle concepten zijn gepresenteerd wordt afgesloten met een conclusie over de aanbevolen concepten en de opgedane kennis van de overige elementen.

Analysefase

PLT 

Voordat ontworpen kan worden, zal eerst een uitgebreide analyse uitgevoerd moeten worden. Er was geen medische achtergrond en derhalve ook geen kennis van podotherapie. Daarom zal de relevante kennis eigen moeten worden gemaakt. Verder zullen de eisen voor de elementen moeten worden gemaakt zodat ontwerpen gemaakt kunnen worden.

Elementen van de voetzool

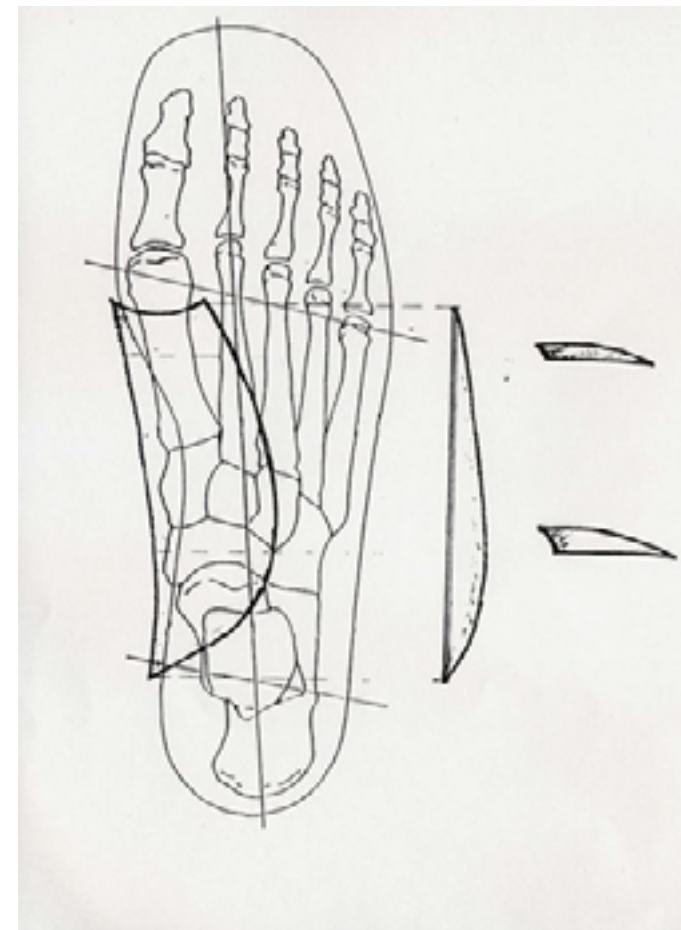
De basis van podotherapie ligt bij een platte zool waar elementen op geplaatst worden ten behoeve van de behandeling van de patiënt. Van daaruit is podotherapie ontwikkeld naar modernere methoden, onder meer computergestuurd frezen en 3D-Printing. De basis is echter blijven bestaan: redeneren vanuit elementen ten behoeve van de behandeling van de patiënt. Er zijn veel verschillende elementen te onderscheiden, welke allemaal een andere functie hebben en daarom ook voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De ligging en de vorm van de elementen is erg belangrijk. Om een podotherapeutische zool te ontwerpen zal onderzocht moeten worden welke elementen er zijn, wat voor geometrische eisen en functies deze hebben en op welke positie ze zich kunnen bevinden. Sommige elementen worden vaak gebruikt en sommige elementen worden zeer zelden gebruikt, ook dit is van belang. De elementen zijn bijgevoegd in bijlage B.

Een podotherapeutische zool is, zoals al gezegd, begonnen bij een platte zool waar elementen op geplaatst worden. Op dit moment wordt nog steeds in elementen gedacht, die digitaal worden geplaatst door de podotherapeut, waarna PLT deze zolen vervaardigt door onder meer computergestuurd frezen. Sommige van deze elementen zijn echter alleen geplaatst om de vorm van de voet te benaderen. Een element genaamd HAI (Hemi Arcus Internus, weergegeven in afbeelding 3) wordt uitsluitend geplaatst om de voetboog op te vullen in meer of mindere mate. Zo wordt meer draagvlak te gecreëerd of pronatie (kantelen van de voet) bevorderd. Door gebruik te maken van 3D scans en bijvoorbeeld 3D printing kan deze voetboog meteen benaderd worden in de vorm van de zool. Hierdoor is de functie van de HAI al vervuld en is dit element overbodig. Het is daarom belangrijk aan te merken dat sommige genoemde elementen in bijlage B in de toekomst wellicht zullen verdwijnen.

De elementen kunnen verschillende werkingen hebben, ze kunnen de voet op bepaalde plekken omhoog duwen om een bepaalde beweging, zoals pronatie of supinatie, te stimuleren. Ze kunnen bepaalde plekken in de voet vrij leggen, zoals een pijnlijke likdoorn of een chronische en gevaarlijke wond als gevolg van een diabetisch voet. Ook kunnen de elementen zorgen voor drukreductie in de voet door een groter contactoppervlak te creëren. Een element dat hiervoor zorgt is de hierboven genoemde HAI, ook wel voetboogondersteuning

genoemd. De voetboog heeft in een platte zool niet of nauwelijks contact met de zool en draagt hierdoor geen gewicht. Door een verhoging in de zool te plaatsen onder de voetboog, heeft de voet een groter contactoppervlak met de zool omdat de voetboog, net als de rest van de voet, ook gewicht draagt. Wanneer een element met dit doel geplaatst wordt, spreekt men van drukreductie.

De belangrijkste en meest gebruikte elementen zullen hieronder kort worden geïntroduceerd middels de beknopte informatie uit het zolen werkboek van Saxion Hogescholen. Dit zijn: Pelotte, HAI, MIC en de RCTB.



Afbeelding 3: HAI

Elementen: 1.RCMS (Retro Capitale Mediale Steun) ook wel pelotte

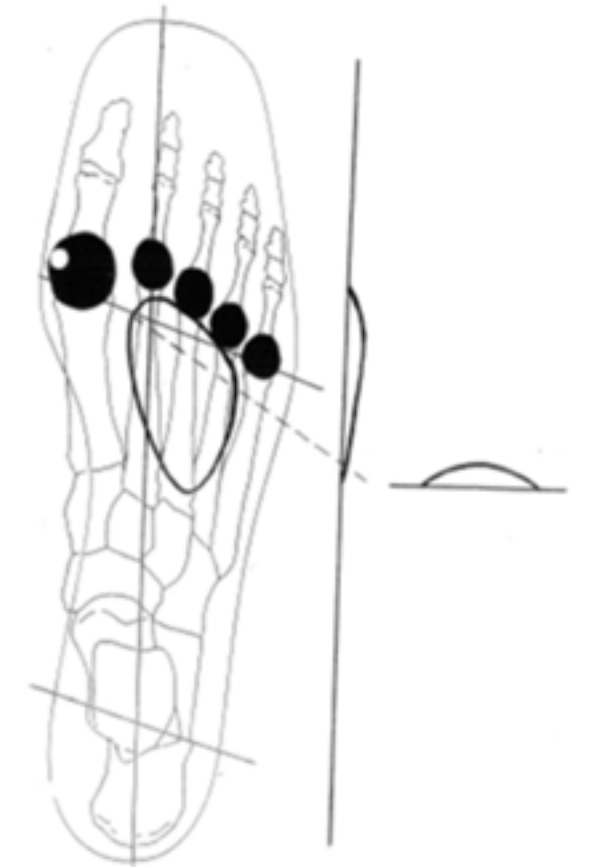
Samenvatting werking volgens zolen werkboek Saxion Hogescholen

Dit druppelvormige element bevindt zich rond de middenvoetsbeentjes. De precieze locatie is sterk afhankelijk van de beoogde behandeling. De mogelijke werking van de pelotte is het ondersteunen van de retrocapitale boog (teengewrichten) het spreiden van de metatarsalia (voetwortelbeentjes), een lichte drukreductie en een lichte strekking aan de digiti (tenen) geven. Het is een van de meest gebruikte elementen. De stippen in afbeelding 4 geven de teengewrichten aan.

De pelotte m.b.t. de opdracht

De pelotte is, samen met de RCTB en de voetboogondersteuning, één van de meest gebruikte elementen. Het zorgt voor ondersteuning, maar ook voor correctie, afhankelijk van de plaatsing en hoogte. De pelotte is een element dat bij voorkeur aangepast moet kunnen worden, veelal heeft de patiënt hinder van de pelotte in de eerste fase van de behandeling. Na enige gewenning is de hinder weg. Door de pelotte dynamisch te maken, kan de podotherapeut de patiënt langzaam laten wennen aan de pelotte. In plaats van de pelotte meteen op de uiterste stand te zetten, kan de podotherapeut het eerst minder 'agressief' zetten, dat wil zeggen dat er geleidelijk naar de beoogde behandeling toe wordt gewerkt.

Ook is de positie van de pelotte erg belangrijk, het kan als een steentje in de schoen aanvoelen wanneer deze verkeerd is gepositioneerd. Door de podotherapeut de vrijheid te geven de pelotte snel en gemakkelijk te verschuiven (in x, y en z richting), zal de patiënt minder snel hinder ondervinden van dit element en zal dit de therapie ten goede komen.



Afbeelding 4: Pelotte

Elementen: 2. HAI (Hemi Arcus Internus)

Samenvatting werking volgens zolen werkboek Saxion Hogescholen

Dit element, weergegeven in afbeelding 5, ligt aan de mediale zijde (binnenzijde) van de voet. Het zorgt voor het verminderen van een mediotarsus valgus stand (een naar binnen hellende voet). Het kan vervolgens voor drukreductie zorgen, stabiliseren van de 1e straal (grote teen en gewrichten), verminderen van pronatie in subtalaire -en midtarsale gewricht (verminderen van naar binnen zakken van hielbeen en middenvoet) en het kan een dorsaalgeflexeerde 1e straal compenseren (grote teen en bijbehorende gewricht). Bij het frezen of 3D printen is dit element verwerkt in de 3D scan, het ondersteunt de voetboog en wordt daardoor ook voetboogondersteuning genoemd.

Elementen: 3. MIC (Mediaal Intern Comfort)

Samenvatting werking volgens zolen werkboek Saxion Hogescholen

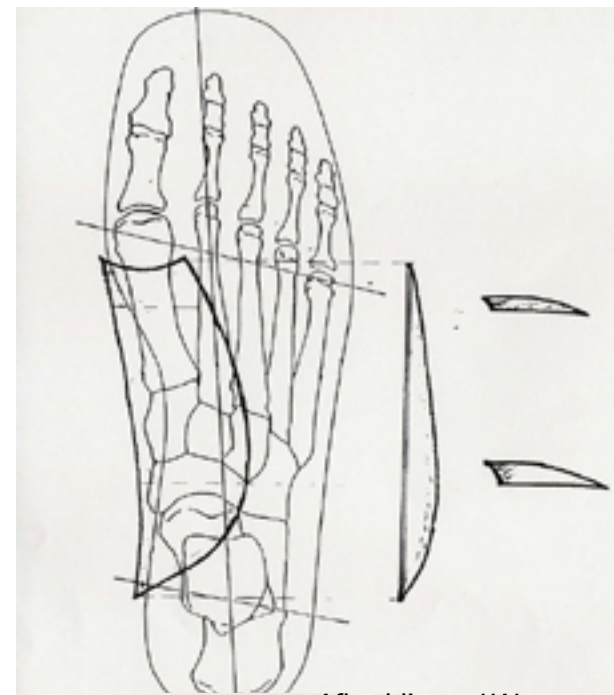
Dit element, weergegeven in afbeelding 6 ligt eveneens aan de mediale zijde van de voet, met 1 cm overbreedte buiten het grondpatroon van de zool. De mogelijke werking van de MIC is te vergelijken met de werking van de HAI, eveneens kan het de veneuze circulatie (het deel van de bloedcirculatie dat terug vloeit naar het hart) bevorderen. De MIC en HAI vormen samen de voetboogondersteuning.

De MIC en HAI m.b.t. de opdracht

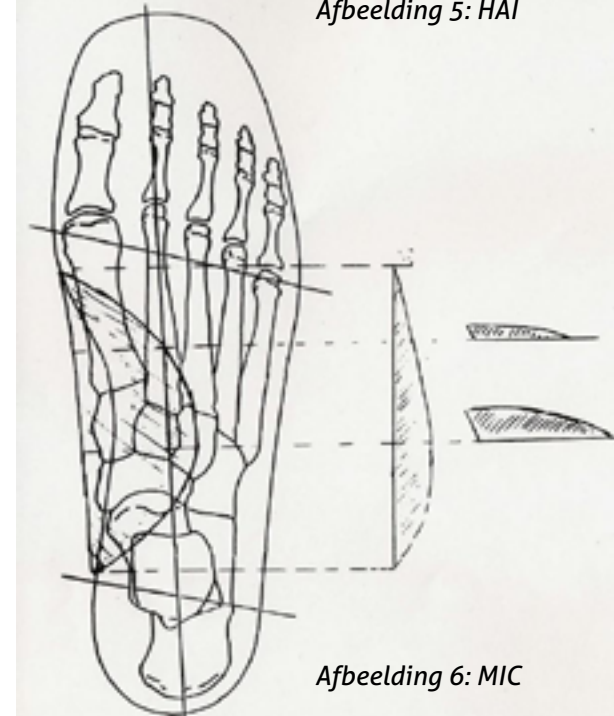
De voetboogondersteuning is een samenwerking van 2 elementen, de MIC en de HAI (Mediaal Intern Comfort en Hemi Arcus Intern), weergegeven in de afbeeldingen 5 en 6. De voetboogondersteuning zorgt in meer of mindere mate voor de ondersteuning van de voet. Het eerste doel is om de voetboog te gebruiken voor het verdelen van de druk in de voetzool. Door de voetboogondersteuning te verhogen of verlagen kan therapie worden toegepast.

Dit element zou dynamisch gemaakt kunnen worden om de patiënt te laten wennen aan de voetzool. Dit voordeel is eerder genoemd bij de pelotte, maar dit gaat ook op voor de voetboogondersteuning.

De positie van de voetboogondersteuning in x en y richting hoeft niet veranderd te worden, alleen de z richting zou instelbaar moeten zijn op verschillende plekken. De podotherapeut wil zelf kunnen bepalen hoe hoog de voetboogondersteuning is. Daarom zal de podotherapeut kunnen aangeven hoe hoog hij dit element wil, zodat het op deze hoogte geleverd wordt. Na levering zou het nog in hoogte verstelbaar kunnen zijn. Verder heeft de voetboogondersteuning een gezamenlijke positie met onder meer de RCTB, deze lopen in elkaar over. Hier zal bij het ontwerpen rekening mee gehouden moeten worden.



Afbeelding 5: HAI



Afbeelding 6: MIC

Elementen: 4. RCTB (Retro Capitaal Transversale Balk)

Samenvatting werking volgens zolen werkboek Saxion Hogescholen

Dit element ligt ter hoogte van de middenvoetsbeentjes, weergegeven in afbeelding 7. Het kan zorgen voor verminderde plantaire druk op caput metatarsalia 1 t/m 5 (kop van de middenvoetsbeentjes), grotere verdeling van de druk in de voorvoet door meer draagkracht en een afvlakkende werking van de longitudinale voetboog (minder hoogteverschil in y-richting). Het heeft als distaal limiet het breedste punt van de grote en kleine teen (weergegeven in afbeelding 7), dit wordt ook wel de RCTB lijn genoemd.

De RCTB m.b.t. de opdracht

De RCTB valt altijd samen met de pelotte (wanneer een pelotte en RCTB beiden in een voetzool verwerkt zijn), in 100% van de gevallen delen ze een gezamenlijk positie¹⁰.

Vervolgens heeft de RCTB, net als de pelotte en voetboogondersteuning, problemen met gewenning bij de patiënten, het is daarom wenselijk om dit element geleidelijk aan te introduceren. Omdat dit element veelvuldig gebruikt wordt, is het voor een podotherapeut erg gemakkelijk wanneer dit element na de productie aan te passen is.

De RCTB heeft in x richting een vaste positie, het neemt namelijk de gehele breedte van de voetzool in. In y-richting dient alleen het voorste gedeelte aangepast te worden, de achterzijde zou op zijn plaats moeten blijven. Het voorste gedeelte is de RCTB-lijn. Ten slotte zal de achterzijde van de RCTB evenals RCTB-lijn in z-richting verplaatst moeten kunnen worden.



Afbeelding 7: RCTB

Positie van deze elementen

Om een overzicht te krijgen van de mogelijke posities van deze elementen is een onderzoek gedaan. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de database van PLT. In deze database staan bestelde voetsoorten, waar gegevens uitgehaald kunnen worden over de positie van de elementen en hun hoogtes. Door dit te analyseren, wordt gekeken in welke mate de elementen dynamisch gemaakt dienen te worden. Het onderzoek is niet groot genoeg om een juist wetenschappelijk resultaat te verkrijgen, maar geeft een sterke indicatie. Dit is ook voldoende. Het onderzoek is bijgevoegd in bijlage C.

¹⁰ Zie bijlage C

Materiaal

Elementen dragen bij aan een goede therapeutische werking, er is echter nog een ander onderdeel aan de zool die zorgt voor een juiste therapeutische werking: materiaal. Het materiaal van de zool kan een dempende of corrigerende werking hebben, afhankelijk van de sterkte van het materiaal.

Binnen PLT zijn verschillende materiaalsoorten beschikbaar, afhankelijk van de productiewijze, deze zullen kort worden behandeld.

EVA

Op dit moment wordt voornamelijk EVA gebruikt, dit is een copolymeer van ethyleen en vinyl acetaat. Het nadert de eigenschappen van een elastomeer in hardheid en flexibiliteit, maar kan worden geproduceerd als een thermoplast¹⁰. Hierdoor kan een bepaalde demping worden bewerkstelligd, zodat de podotherapeut voor een goede therapeutische werking kan zorgen.

De hardheden worden vaak, ook binnen PLT, aangeduid als shore-waardes. Deze shore waardes variëren bij PLT tussen de 30 en 75 shore, waar 75 D shore de hardste variant is¹².

PA 650

PLT produceert ook door middel van 3D printing. De 3D printer gebruikt het materiaal PA 650, wat een specifieke soort polyamide is, een kunststof dat bestaat uit herhalende eenheden verbonden door amide verbindingen. Polyamides komen zowel in de natuur als kunstmatig voor, voorbeelden van in de natuur voorkomende polyamides zijn wol of zijde¹³. Polyamide heeft als voordeel dat het te gebruiken is in de 3D printing, terwijl het relatief sterk is. Polyamides zijn de meest gebruikte materialen voor SLS printing. PA 650 heeft een vergelijkbare shore waarde met de hardste variant van EVA, namelijk 75 D shore¹⁴.

Overige materialen

Verder worden binnen podotherapeutische zolen gebieden met extra demping voorzien door een zacht materiaal te gebruiken. Hier wordt niet de gehele voetzool van gemaakt, maar specifieke plekken in de voetzool worden hierdoor voorzien van extra demping.

Productiemethoden binnen PLT

Binnen PLT worden verschillende productiemethoden gehanteerd. Er zijn 3 hoofdgroepen te onderscheiden: de conventionele methode, frezen en 3d-printing.

De conventionele productiemethode is produceren zoals podotherapie is begonnen: elementen als bouwstenen op een platte voetzool bouwen. Deze productiemethode wordt steeds minder gebruikt binnen PLT omdat steeds meer podotherapeuten over gaan op de nieuwere methodes, en dan vooral het frezen van de zolen. De conventionele methode zal binnenkort verdwijnen bij PLT.

Frezen

Het frezen gebeurt binnen PLT met een aantal computergestuurde machines, die sinds eind 2006 actief zijn en sinds die tijd steeds meer in gebruik zijn. Daarom heeft PLT onlangs een nieuwe freesmachine aangeschaft die meer paren zolen tegelijkertijd kan frezen. Het proces van frezen begint bij het inscannen van de voet door de podotherapeut, deze bouwt vervolgens digitaal de elementen op het ingescande model en stuurt dit naar PLT. PLT ontvangt deze orders en zet de CAD files om in CAM files, zodat de freesbanken de zolen kunnen vervaardigen. Het vervaardigen gebeurt vervolgens door van boven -en onderaf materiaal te verwijderen.

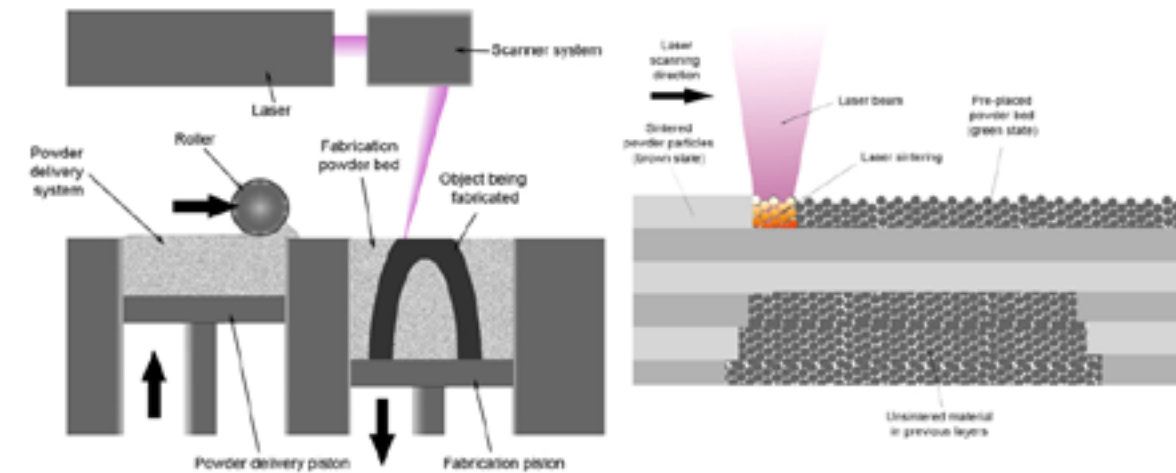
Het voordeel van frezen ten opzichte van de conventionele methode is dat, wanneer de podotherapeut geen fouten heeft gemaakt, de zolen klaar zijn als ze bij de podotherapeut aankomen. Ook sluit de zool, in theorie, perfect aan op de voet omdat het vanuit een 3D gescand voetmodel komt. Het nadeel van frezen is dat de podotherapeut het werk uit handen geeft, het resultaat wordt pas zichtbaar wanneer de zolen zijn aangekomen bij de podotherapeut.

¹¹ wikipedia.org/ethylene-vinyl_acetate

¹² checkline-europe.co.uk/durometer/HP%20Series

¹³ onlinelibrary.wiley.com

¹⁴ I. Materialise-advanced material properties datasheet



Afbeelding 8: Infographic SLS-printing

3D-Printing

Binnen PLT is de nieuwste ontwikkeling op productiegebied de 3D printer. Deze printer maakt gebruik van SLS printing, wat staat voor Selective Laser Sintering. SLS maakt gebruik van een laser die laagje voor laagje het materiaal samensmelt, sintert. Zo wordt een product samengesteld (weergegeven in afbeelding 8)¹⁴. Binnen PLT wordt het materiaal PA 650 gebruikt, zoals eerder beschreven.

Het grote voordeel van 3d-printing is dat materialen met relatief hoge complexiteit compleet uitgeprint kunnen worden, gehele schroefverbindingen kunnen bijvoorbeeld worden geprint. De nauwkeurigheid verschilt, afhankelijk van de geometrie en de printer. Verder wordt theoretisch gezien geen materiaal weggegooid, het niet gesinterde kunststof kan weer opnieuw worden gebruikt. In de realiteit wordt ongeveer 5% aan afval weggegooid.

Het grote nadeel is echter dat het, afhankelijk van de printer, erg lang duurt en daardoor prijzig is. De printer verbruikt erg veel energie. Ten slotte is het onderhoud van de machine duur, dit kan oplopen tot tienduizenden euro's per jaar.

Resolutie van de printer

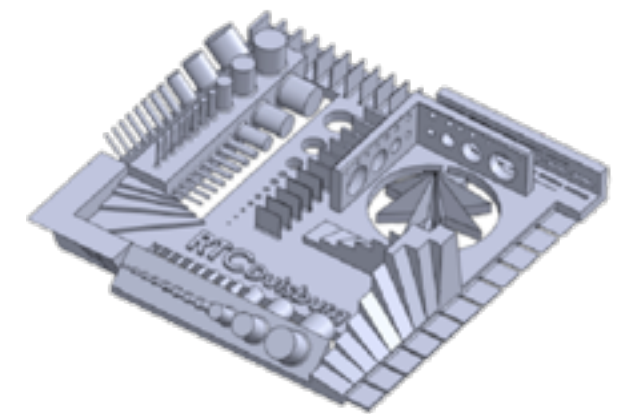
Om de resolutie van de printer goed weer te geven, worden twee onderzoeken gepresenteerd. Het eerste onderzoek is een onderzoek uitgevoerd door Andreas w. et al., gepresenteerd in het 'Journal of plastics technology'. Het onderzoek heeft getracht de resolutie van verschillende 3D printers te

testen, waaronder de 3D printer die bij PLT Products gebruikt wordt. Het tweede onderzoek is een klein onderzoek van een medewerker van PLT Products, Emil Garritse. Hij heeft geprobeerd richtlijnen voor de printer te construeren.

Onderzoek 1: Extern onderzoek

Het eerste onderzoek¹⁵ heeft geprobeerd de resolutie van verschillende 3D printers te bepalen. Dit hebben zij gedaan door verschillende testobjecten te printen. Deze testobjecten werden geëvalueerd en aan de hand hiervan werden richtlijnen opgesteld. Een van deze testobjecten is weergegeven in afbeelding 9.

Afbeelding 9: Testpaneel 3D Printer

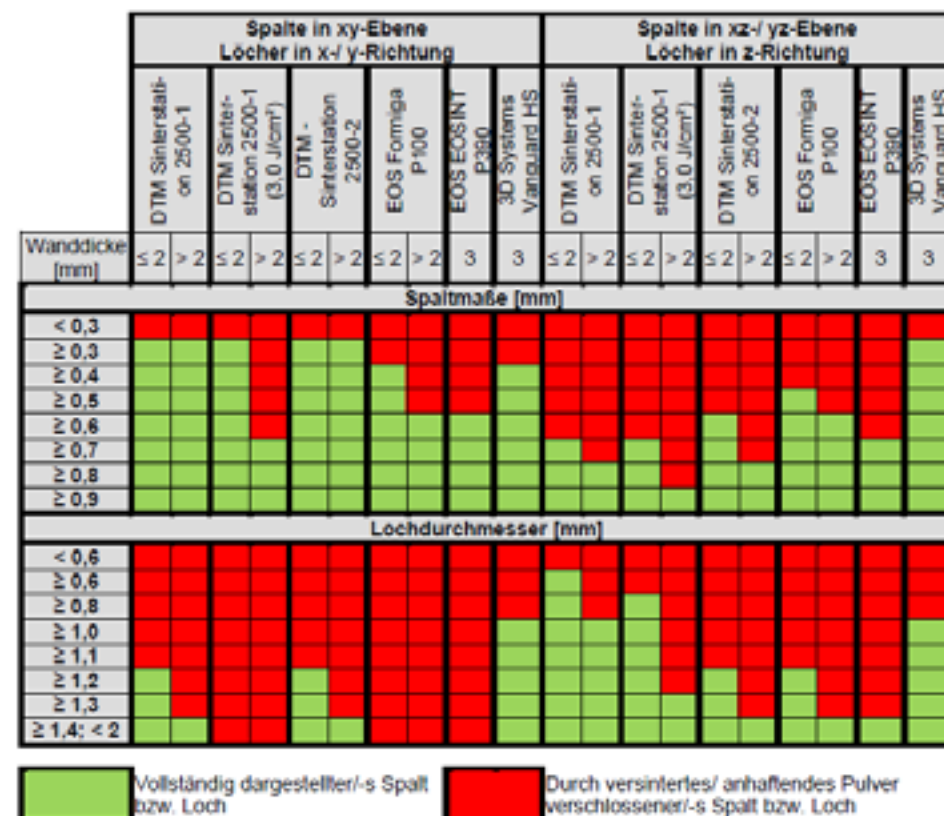


¹⁵ A. Wegner et. Al. (2012) Konstruktionsregeln für das Laser-Sintern, Zeitschrift Kunststofftechnik

Aan de hand van dit soort testobjecten werd gekeken naar verschillende eigenschappen, de belangrijkste zijn: minimale breedte van kloven in het materiaal, minimale diameter van gaten in het materiaal en de minimale diameter van een cilinder.

Minimale kloofbreedte en diameter gaten bij verschillende wanddiktes

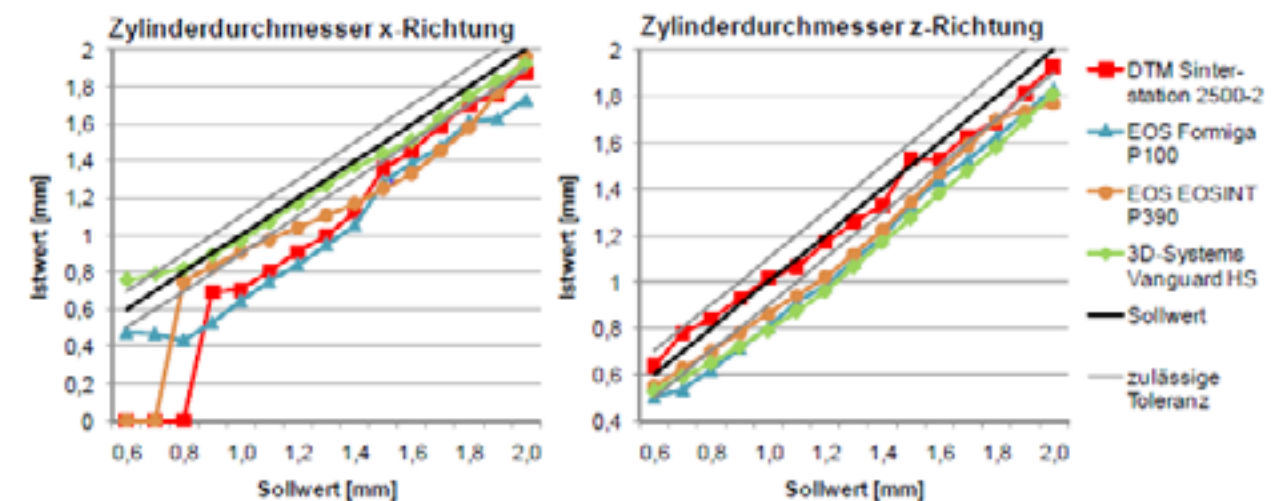
Kloofdikte betekent de ruimte in een spleet in het materiaal. De spleet kan bijvoorbeeld 1 mm breed zijn, bij een wanddikte van 5 mm. Er is een minimum kloofbreedte, die afhankelijk is van de wanddikte van het materiaal. De afhankelijkheid van de wanddikte komt door de warmtestroom naar het omliggende materiaal. Als materiaal wordt gesinterd, staat het warmte af aan het omringende poeder. Hoe dikker de wand, hoe meer warmte hier aan wordt toegevoegd en hoe meer materiaal er ongewenst bij wordt gesinterd. Hetzelfde geldt voor de diameter van gaten in het gesinterde materiaal. Het onderzoek is samengevat in afbeelding 10 (DTM Sinterstation 2500-2). Hierin is te zien dat voor een wanddikte van boven de 2 mm, de kloofdikte minimaal 0.8 mm moet zijn. De diameter van een gat bij een materiaal dikker dan 2 mm is, volgens het onderzoek, minimaal 1.4 mm.



Afbeelding 10: Kloofgrootte en wanddikte¹⁶

¹⁶ Grafiek en tabel afkomstig uit vermeldde onderzoek

Minimale diameter cilinder



Afbeelding 11: Grafiek met diameter cilinders t.o.v. gewenste diameter¹⁶

De sterkte van een cilinder hangt af van de lengte en diameter. Het onderzoek heeft getracht een minimale diameter vast te stellen bij verschillende printers. De resultaten zijn samengevat in afbeelding 11. In deze afbeelding is de relatie tussen ingestelde waarde en uitkomst vergeleken. Hierin is te zien dat, in x richting, cilinders met een diameter kleiner dan 1 mm niet te gebruiken zijn. In z-richting is het verschil tussen ingestelde waarde en uitkomst niet zo groot. Door de resultaten in x-richting is het aangeraden om cilinders met een diameter kleiner dan 1 mm niet te gebruiken.

Kanttekening onderzoek 1:

Voor het onderzoek is PA gebruikt, maar geen PA 650 dat bij PLT wordt gebruikt. Daardoor zal dit onderzoek niet precies de ontwerprichtlijnen voor de printer bij PLT geven, maar een benadering hiervan.

Onderzoek 2: medewerker PLT

Emil Garritse, een medewerker bij PLT die gespecialiseerd is in 3D printen, heeft een klein onderzoek uitgevoerd om ontwerprichtlijnen op te stellen. Deze ontwerprichtlijnen heeft hij opgesteld door verschillende testonderdelen te printen en hier resultaten uit te halen. Dit is dezelfde werkwijze als het hiervoor gepresenteerde onderzoek. Het verschil is dat het onderzoek van de heer Garritse is uitgevoerd met de printer van PLT en het materiaal dat PLT hiervoor gebruikt. Daardoor is dit onderzoek relevanter dan het hiervoor uitgevoerde onderzoek. Het is echter minder uitgebreid.

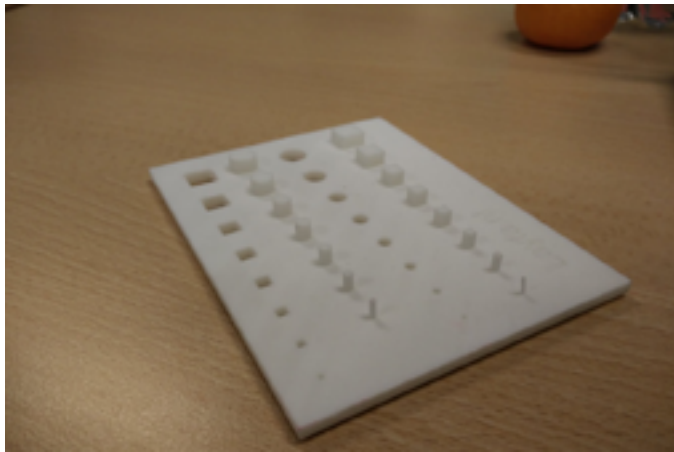
Ruimte tussen onderdelen

De heer Garritse heeft geprobeerd assemblies ineens te printen. In deze assemblies was het de bedoeling dat verschillende onderdelen los van elkaar konden roteren of transleren. Dit kunnen bijvoorbeeld twee cilinders zijn, één met een grote en één met een kleine diameter. Als deze onderdelen vervolgens in elkaar geprint worden, maar wel los van elkaar moeten kunnen bewegen, is de heer Garritse tot het resultaat gekomen dat de minimale afstand hiertussen 0.15 mm moet zijn. Deze afstand is wederom afhankelijk van de wanddikte.

Een speciaal geval is de schroefverbinding. De heer Garritse heeft getest wat de minimale diameter moet zijn voor een schroef en moerverbinding. Een schroef en moerverbinding die samengesteld geprint moet worden, moet een minimale diameter van 16 mm hebben. Schroeven en moeren die achteraf samengesteld kunnen worden, moeten een minimale diameter van 6 mm hebben.

Minimale diameter cilinders

Voor het onderzoek naar de minimale diameter van een cilinder heeft de heer Garritse een testplaatje gemaakt. Dit testplaatje is afgebeeld in afbeelding 12 en het bevat verschillende cilinders op een vlakke plaat. De cilinders beginnen bij een diameter van 1 mm en lopen door tot 10 mm. In deze afbeelding is te zien dat cilinders van 1 mm af te raden zijn, deze is namelijk al afgebroken. Cilinders van 2 mm zijn wel te gebruiken, maar mogen niet te lang zijn. Pas bij een diameter van 3 mm zijn de cilinders redelijk sterk.



Afbeelding 12: Testplaatje van onderzoek van de heer Garritse

Een andere soort voetzool

Voetzolen worden gebruikt om een afwijkende stand en/of functioneren van de voeten te corrigeren, om hiermee klachten te voorkomen of te genezen. Er zijn veel verschillende klachten en daarom ook verschillende soorten voetzolen. Naast podotherapeutische zijn er ook orthopedische voetzolen.

Orthopedie

Orthopeden richten zich op het gehele bewegingsapparaat van de mens, dat zijn dus de botten, de gewrichten, de spieren, de zenuwen en banden¹⁷. Orthopedie komt oorspronkelijk uit het behandelen van het groeiproces van het kind¹⁸, maar tegenwoordig houdt de orthopeed zich bezig met het gehele bewegings- en groeiproces van alle mensen. Een orthopeed richt zich niet exclusief op orthoses en protheses, een orthopeed verricht ook operaties om afwijkingen of ziektes van het bewegingsapparaat te behandelen. Men spreekt daarom ook wel van een orthopedische chirurg.

Orthopeden maken ook gebruik van therapeutische voetzolen, maar redeneren vanuit een andere filosofie dan de podotherapeuten. Orthopeden die voetzolen maken worden orthopedische schoenmakers genoemd, waar een MBO opleiding voor voldoet.

Binnen PLT is de orthopedische steunzool opkomend, de markt is groot en PLT zou er erg veel baat bij hebben als hier een nieuwe bron van omzet uit gehaald kan worden. Bij het verrichten van de conceptfase dient daarom de mogelijkheid van de orthopedische zool in acht genomen te worden. Echter, de podotherapeutische voetzolen vertonen erg veel overeenkomsten met orthopedische voetzolen. Wanneer een zool succesvol ontwerpen is voor podotherapeutische voetzolen is dit (met evt. aanpassingen) met grote waarschijnlijkheid ook geschikt voor orthopedische voetzolen. Het verschil zit in de elementen en de plaatsing hiervan, wanneer een dynamische orthopedische voetzool gemaakt dient te worden, zal hier opnieuw naar gekeken moeten worden.

Onderzoek wensen podotherapeut

Het is belangrijk om de wensen van de podotherapeuten te documenteren, de opdracht bevindt zich op dit moment in een vertrouwelijke staat dus kan er geen grootschalig onderzoek gedaan worden. Daarom zullen de eisen worden samengesteld in samenwerking met verschillende podotherapeuten, te noemen: Ed Wender en Bas Meijer.

Ed Wender is eigenaar van voetencentrum Wender, de grootste lijn podotherapie locaties. Hij is nog steeds, naast leidinggevende, bezig met het uitoefenen van zijn vak, het is een ervaren podotherapeut. Bas Meijer is een jonge podotherapeut, hij biedt een frisse blik op de huidige situatie. Aan beide podotherapeuten is gevraagd welke elementen zij het liefst dynamisch zien worden, beide podotherapeuten hebben ook volledige kennis van de te ontwerpen voetzool.

¹⁷ <http://www.orthopedie.nl/wat-is-orthopedie/>

¹⁸ http://www.rogo-rotterdam.nl/nl/ROGO_Home/Wat_is_orthopedie/

Het antwoord van Ed Wender was dat in de voetzool niet meer gedacht moet worden in elementen, maar in aanpassingen. De elementen zijn slechts hulpstukken, ze zorgen ervoor dat een bepaald gedeelte van de voetzool bijvoorbeeld omhoog wordt gelift. Daardoor is de stand van de voet en het gehele bewegingsapparaat anders dan wanneer er geen element in de voetzool zat. Deze elementen zorgen dus, samen met het materiaal, voor de werking van de voetzool. Het voordeel dat vanuit een 3D scan de voetboogondersteuning automatisch is benaderd en hierdoor bepaalde elementen overbodig zijn geworden werd genoemd. Dit zou in zoveel mogelijk punten in de voetzool gedaan moeten worden zodat zoveel mogelijk elementen benaderd kunnen worden.

Het antwoord van Bas Meijer had te maken met het dynamisch maken van de standaard elementen, dit is een meer conventionele methode. Volgens Bas passen podotherapeuten zich relatief langzaam aan nieuwe ontwikkelingen aan, hij zou de meest gebruikte elementen daarom dynamisch willen zien worden. Dit zijn: HAI/MIC, pelotte en de RCTB. Wanneer deze elementen dynamisch gemaakt worden, is er een groot voordeel behaald ten opzichte van de conventionele voetzolen. Na het eerste prototype en de tests in de markt zou daarna gekeken kunnen worden naar de overige elementen.

Conclusie

Beide therapeuten kijken vanuit een ander oogpunt, Bas, de jonge podotherapeut, en Ed zijn personen die een heel andere positie binnen de podotherapie wereld hebben. Het idee van Ed is ideaal, het zou een hele nieuwe soort voetzolen betekenen. Echter, wat Bas zegt over het aanpassingsvermogen van podotherapeuten en hun patiënten moet niet vergeten worden. Als uitvoerende, student Industrieel Ontwerpen, is het ook erg belangrijk om de opdracht af te kaderen. De opdracht is tijdsgebonden en een gehele voetzool dynamisch en aanpasbaar maken is veel te veel. Daarom zal de voetzool vanuit beide oogpunten dynamisch gemaakt worden. Er zal worden gekeken naar het dynamisch maken van de meest gebruikte elementen in de voetzool, zodat de zool na productie nog aan te passen is. De elementen zouden in hoogte en positie aan te passen kunnen zijn, daardoor wordt de voetzool niet in zijn geheel dynamisch maar gedeeltelijk. Voor het eerste

prototype is dit een grote stap en hier zouden vervolgens tests mee uitgevoerd kunnen worden. Wanneer de tests positief blijken zou de zool verder ontwikkeld kunnen worden.

Economische aspecten dynamische voetzool

Op het moment van schrijven zijn er veel verschillende voetzolen voor verschillende situaties, onder andere specifiek voor het sporten, voor normaal gebruik en voor verschillende schoenen. Dit is economisch gezien erg goed voor de podotherapeut, en dus voor PLT, ze verkopen zo veel voetzolen. PLT onderscheidt zich door het aanbieden van kwaliteit, ze verkopen geen unieke producten t.o.v. de concurrentie, maar concurreren door kwaliteit te waarborgen.

De dynamische voetzool zou voor PLT een erg goed unique selling point zijn, ze differentiëren zich hiermee van de concurrentie door iets aan te bieden wat niemand anders verkoopt. Internationaal gezien is er nog niet zoiets op de markt en het ontwerp kan, mits goed uitgevoerd, voor een goede internationale positie zorgen. PLT heeft ten opzichte van de podotherapeuten ook een unique selling point, niemand anders biedt zolen aan die gemakkelijk aangepast kunnen worden. Podotherapeuten zouden veel minder tijd kwijt kunnen zijn aan de zolen. Hierdoor kunnen zij meer verschillende patiënten helpen op een werkdag, wat de wachttijden verkleint en zorgt voor meer tevredenheid bij de patiënten. Hierdoor heeft de podotherapeut die gebruik maakt van de dynamische zool weer een pluspunt t.o.v. andere podotherapeuten. Echter is de voetzool een geheel nieuw ontwerp, nieuwe producten kunnen afschrikkend werken, maar kunnen ook extra aandacht opeisen. Het zou daardoor kunnen dat podotherapeuten die gebruik maken van de dynamische voetzool meer klanten krijgen, maar dit is een grote onzekerheid.

Economische aspecten dienen in het achterhoofd gehouden te worden, echter is dit een punt wat beter behandeld kan worden na de prototypefasen, wat dus buiten deze opdracht gaat vallen.

Onderzoek verschillende schoenen

Voetzolen variëren niet alleen, de omgeving waarin ze gedragen worden varieert ook. Met de omgeving wordt het schoeisel bedoeld, wat erg belangrijk is voor een juiste therapie. Veelal worden voetzolen voor specifieke schoenen ontworpen, zodat de voetzolen niet kunnen bewegen binnen de schoenen. Wanneer de voetzolen vervolgens in andere schoenen gedragen worden, kan het zijn dat de beoogde therapie niet wordt behaald. Een onderzoek naar verschillende soorten schoeisel en de daaruit volgende eisen is daarom noodzakelijk. Echter moet bij het onderzoek worden erkent dat schoenen per merk sterk verschillen en hierdoor is het lastig om een eenduidig resultaat te behalen uit een onderzoek. Het onderzoek zal daarom dienen als houvast, niet als exacte wetenschap.

Damesschoenen

Damesschoen zijn waarschijnlijk de lastigste groep omdat de schoenen erg variëren van bergschoenen naar hoge hakken en dansschoenen. De hoge hakschoen kan voor problemen zorgen omdat voetzolen die gemaakt zijn voor bergschoenen, een veel plattere schoen, niet geschikt zijn voor hakschoenen (te zien in afbeelding 13 aan de rode lijn). Dit probleem is hoogstwaarschijnlijk niet op te lossen door verschillende onderdelen dynamisch te maken. Op dit moment worden voor deze schoenen verschillende voetzolen gemaakt.



Afbeelding 13: Berschoen en hakschoen met grove stand van voet (rode lijn).

Verder verschillen de schoenen ook in demping, een bergschoen met een dikke zool zou een goede dempende werking kunnen hebben, maar een dansschoen met bijna geen zool heeft bijna geen demping. Verschillende elementen zouden aangepast kunnen zijn aan een bergschoen, wanneer de zool voor de bergschoen gedragen wordt in een dansschoen zou de therapie misgelopen kunnen worden doordat de schoenzool niet 'inzakt'. Het is mede daardoor niet aan te raden dezelfde zool in

verschillende schoenen te gebruiken.

Dansschoenen en bergschoenen, bijvoorbeeld, verschillen echter niet alleen in demping, maar ook in breedte. De breedte is erg belangrijk voor een perfect passende voetzool, het zal daarom ook meegenomen moeten worden in het te maken ontwerp.

Mannenschoenen

Mannenschoenen hebben een verschil in hakhoogte, net als vrouwenschoenen, alleen is het verschil in hakhoogte niet zo hoog als bij vrouwen. Het hoogteverschil is de hakhoogte minus de brandzool. Verder is het van belang dat schoenen gemaakt worden met hoogteverschil in y richting, dit betreft een verhoging onder de voetboog weergegeven in afbeelding 14. De zool wordt aangemeten wanneer de voet zich op een vlakke glasplaat bevindt, waar geen hoogteverschil in y richting in zit. Bij het ontwerpen van de dynamische voetzool moet hier rekening mee gehouden worden.



Afbeelding 14: Mannenschoen met hoogteverschil in y richting

Verder hebben mannenschoenen dezelfde problemen met breedte en demping als vrouwenschoenen, hier kan daarom in het ontwerpproces rekening mee gehouden moeten worden.

Verskil in breedte

In Europese maten wordt geen onderscheid gemaakt tussen vrouwen en mannen schoenmaten, 39 voor mannen is hetzelfde als 39 voor vrouwen. Echter, is er wel een groot verschil in breedte per schoen. De smalste schoenen beginnen bij AAA en eindigen bij EEE als breedste maat.^{19,20} Deze maten worden toegepast bij speciale schoenen, voor extra brede of extra smalle voeten. Het is belangrijk aan te merken dat het doel van dit onderzoek is dat de zolen een perfecte fitting hebben in de

schoen. Een zool ontworpen voor schoenmaat 39 EEE (de breedste maat), zal niet in schoenmaat 39 AAA moeten kunnen passen. Het grootste verschil in breedte zal daar door geen centimeters zijn, zoals het verschil tussen AAA en EEE wel is. Ten slotte is het verschil in breedte het belangrijkste bij de voorvoet, sommige speciale schoenen hebben hier een verbreding ten opzichte van andere schoenen. Een voordeel zal daardoor al behaald kunnen worden door de zool bij de voorvoet te kunnen verbreden. Later zou kunnen worden gekeken naar verbreding van de gehele voetzool.

Conclusie

Het is lastig om precieze cijfers te verbinden aan de grootte van de verbreding van de voetzolen of het verschil in hakhoogte. De beste bronnen hiervoor zijn waarschijnlijk de podotherapeuten, zij zijn daarom gevraagd en hier werd een maximaal breedte verschil van 4 mm door verkregen (aan beide zijdes). Verder kunnen verschillende zolen niet in verschillende schoenen worden gebruikt als de hakhoogte niet overeenkomt.

Druk op voetzolen

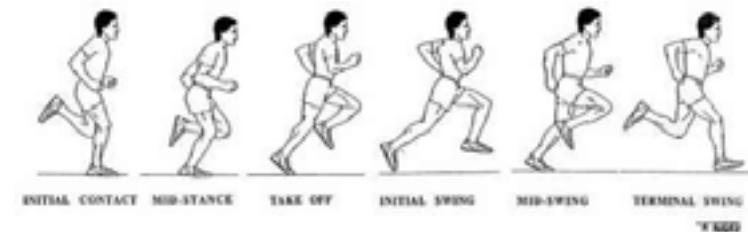
Voor het maken van een ontwerp voor een nieuwe voetzool is het verstandig om te bepalen wat de krachten op dit ontwerp zijn. Om dit te doen zijn verschillende wetenschappelijke studies en hun methodes om de druk op voetzolen (of voeten) te meten bekeken. Deze methodes zijn vervolgens voorgelegd aan een podotherapeut en in samenwerking met deze therapeut is een onderzoek uitgevoerd naar de druk op een voetzool. Wanneer de resultaten over de druk in specifieke plekken in de voetzool zijn verkregen, zal dit een indicatie geven over de stevigheid van een te maken ontwerp. Het ideale resultaat zou zijn wanneer berekend kan worden hoeveel kruip het materiaal vertoont, dus wanneer de voetzool ten minste vervangen zou moeten worden omdat het te veel is vervormd. Het berekenen van kruip is echter te lastig om te kunnen uitvoeren, daarom zullen statische simulaties met de gemaakte ontwerpen worden gedaan in Solid Works. Deze simulaties zullen een indicatie geven over bruikbaarheid van de gemaakte ontwerpen. Het gewenste resultaat uit deze simulaties is de vervorming van het ontwerp.

Ten slotte zullen de wetenschappelijke studies van anderen worden vergeleken met de behaalde resultaten, om te vergelijken of de verkregen resultaten correct zouden kunnen zijn.

Wetenschappelijke studies en hun methodes

Voor een indicatie van de druk op een voetzool, is het van belang dat wordt gekeken naar de hoogste druk. Wanneer een systeem wordt ontworpen voor de hoogste druk, zal dit systeem ook toegepast kunnen worden bij gebieden met lagere druk. Wanneer gekeken wordt naar de positie van de hoogste druk, komen de wetenschappelijke studies allemaal op het resultaat dat de grootste druk zich in de voorvoet bevindt.^{21,22,23}

Dit is geen vreemd resultaat omdat in een bewegingsfase het contactoppervlak van de voet met de grond het kleinste is bij de take off en de landingsfase. De landingsfase vindt plaats wanneer de hak van de voet de grond raakt en de take off fase vindt plaats wanneer de voet van de grond wordt gehaald. Tijdens de take off fase bevindt alleen nog de voorvoet zich op de grond en het volle gewicht van een persoon rust daarom hierop. Ook moeten personen kracht uitoefenen om zichzelf van de grond te 'duwen'.²⁴ De bewegingsfasen zijn weergegeven in afbeelding 15.



Afbeelding 15: Bewegingsfasen.

¹⁹<https://www.boot.com/bsizcv.htm#WidthTable>

²⁰ Tabel van healthyfeetstore.com, bijlage E

²¹ Chuckpaiwong, B. et al. (2008) *Gait & Posture*, Elsevier

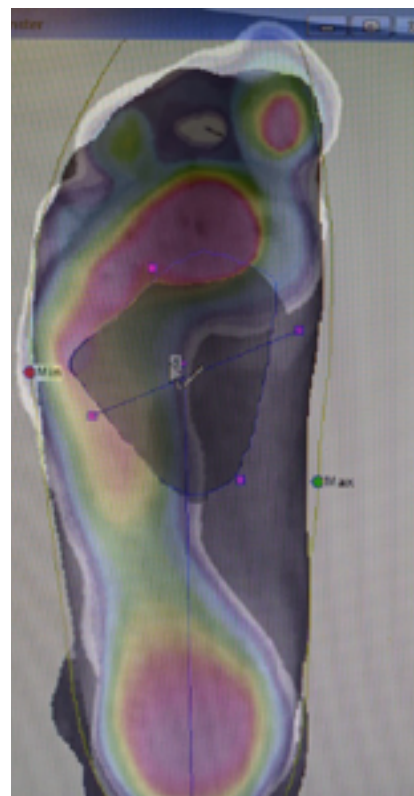
²² Laros, T., De Lange, T (2014) *Invloed vilt dikte op de plantaire drukken onder de voorvoet*. Fontys paramedische hogescholen

²³ Davidson, C. (2012) *Investigating the suitability of laser sintered elastomers for running footwear applications*. Loughborough University Institutional Repository

²⁴ Wong, P. I., et al. (24 November 2006) *Difference in plantar pressure between the preferred and non-preferred feet in four soccer related movements*. British Journal of Sports Medicine

Precieze positie van maximale druk en corresponderende element

Afbeelding 16 geeft de druk op een voet tijdens het lopen weer. Wanneer deze afbeelding wordt geanalyseerd, kan worden geconcludeerd dat de maximale druk tussen de 1^e en 2^e straal bevindt (tussen de grote en de 2^e teen gewrichten). Het corresponderende element is de pelotte, de pelotte is in afbeelding 16 licht grijs gekleurd. Deze afbeelding geeft dan weer waar de pelotte zich bevindt ten opzichte van het gebied met de maximale druk (roze kleur). In de afbeelding is te zien dat de pelotte (transparant grijs gekleurd) zich verder proximaal bevindt dan het gebied met de maximale druk. Echter, moet aangemerkt worden dat dit niet de uiterste distale positie van een pelotte is, maar één van de mogelijke posities. De pelotte zou dus verder distaal kunnen liggen, wat ervoor zorgt dat het gebied met de maximale druk en de pelotte meer corresponderen. Verder is het ook nog mogelijk dat het gebied met de maximale druk een verschuiving proximaal krijgt door de werking van de pelotte. Daarom wordt er tijdens het onderzoek vanuit gegaan dat de maximale druk in een voetzool zich op een pelotte bevindt.

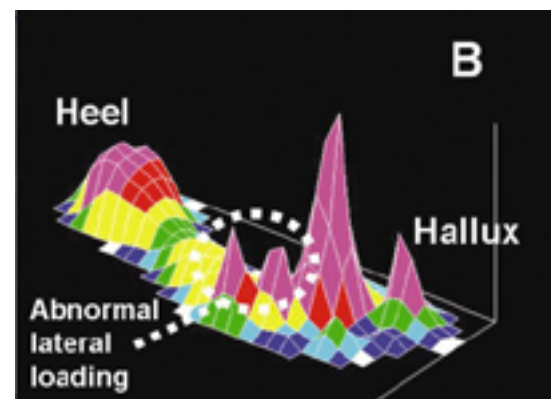


Afbeelding 16: drukverdeling op een voet tijdens lopen

Om de hoogst mogelijke druk te verkrijgen op een pelotte, zal de pelotte 'extreme' afmetingen moeten hebben. Dat betekent dat de pelotte zo hoog mogelijk en zo puntig mogelijk moet zijn ($P=F/A$). Verder zal de pelotte op de positie van de hoogste druk moeten worden geplaatst, tussen de 1^e en 2^e straal.

Grootte van de druk volgens andere onderzoeken

Overige wetenschappelijke onderzoeken tonen aan dat de maximaal verkrijgbare druk zich rond de 750 kPa bevindt. Dit onderzoek is echter op zoek gegaan naar een extreme situatie, proefpersonen die springen bijvoorbeeld. Een onderzoek dat van belang is, is het onderzoek van Davidson. Dit onderzoek neemt namelijk 3d geprinte voetzolen onder de loop en komt op een F_{max} van 1250 N bij een 50-60 kg wegende athlete. Het onderzoek van Wont, P. et al komt uit op een peak pressure van 340Pa bij een proefpersoon van 81 kg. Deze cijfers geven een indicatie voor het eigen onderzoek, wanneer de resultaten in deze range liggen kan met enige zekerheid worden gezegd dat het onderzoek juist is uitgevoerd. De waardes bij het onderzoek zullen hoogstwaarschijnlijk iets hoger zijn dan de waardes uit de reeds gedane onderzoeken omdat de pelotte zorgt voor een kleiner contactoppervlak ($P=F/A$).

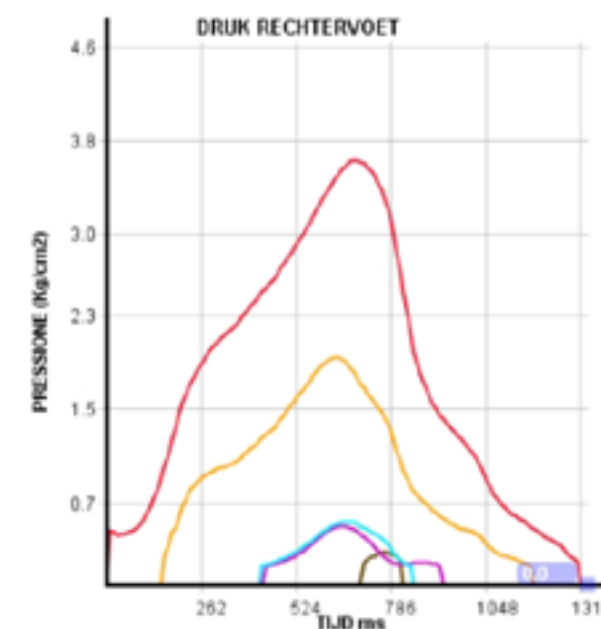


Afbeelding 17: drukverdeling op een voet tijdens lopen

Concluderend

Het onderzoek zal worden uitgevoerd met een pelotte met extreme afmetingen op de positie van de hoogste druk. De pelotte zal worden vervaardigd door een podotherapeut en ook door dezelfde therapeut op de positie van de hoogste druk worden geplaatst. De proefpersoon (80 kg) zal langzaam tot snel lopen om druk bij normaal gebruik te verkrijgen en de resultaten zullen worden verkregen door het Insole Systeem. Dit is een systeem dat werkt met verschillende drukgevoelige plakkers die onder de zool worden geplakt. De resultaten en een samenvatting van het onderzoek zijn bijgeleverd in bijlage D.

Resultaten onderzoek



Afbeelding 18: Resultaten in grafiek

Bovenstaande grafiek is een onderdeel van de gevonden waardes. De grafiek geeft de waardes weer in Kg/cm² per seconde (Nm/s). De piek ligt net onder de 3.8 kg/cm². Dat is ongeveer 373 kPa.

De rode lijn, de lijn met de hoogste piek, is de plakker recht onder de pelotte geweest. Dit is nummer 5 in afbeelding 20.

RECHT PIEK DRUK	(Kg/cm2)
1	4.1
2	0.0
3	0.0
4	2.3
5	0.5
6	0.8
7	0.8
8	0.0

Afbeelding 19: resultaten in tabel

De resultaten van het onderzoek zijn bijgeleverd in bijlage D. Uit het onderzoek blijkt dat de druk op een pelotte wel degelijk hoger is dan wanneer geen pelotte wordt gebruikt. Dit is geheel volgens de verwachting, omdat het oppervlak waar de druk over verdeeld wordt, wordt verkleind. De verkregen peak pressure is 3.8 kg/cm², dit is 373 kPa voor een persoon van 80 kg. Om een veiligheidsmarge in te bouwen, wordt uitgegaan van een persoon van 140 kg, de nieuwe peak pressure wordt dan: 653 kPa.



Afbeelding 20: InSole systeem met zool

Conclusie analysefase: Ontwerprichtlijnen

De analysefase zal geconcludeerd en samengevat worden en hier zullen de volgende ontwerprichtlijnen uit worden gedestilleerd. Hierin zal zo bondig mogelijk worden verteld welke eisen volgen uit de uitgevoerde analysefase, te beginnen met het begrip Dynamisch en te concluderen met een programma van eisen.

Dynamisch

Het dynamisch maken van een voetzool wil zeggen dat bepaalde gebieden/elementen in de voetzool aangepast kunnen worden na de productie. Dit zal verschillen per gebied/element, sommige gebieden/elementen zullen alleen in hoogte aanpasbaar worden, sommige in hoogte en positie. Echter is de mogelijkheid om gehele onderdelen te vervangen of toe te voegen een eigenschap om te overwegen.

Korte uitleg huidige situatie

In de huidige situatie worden al 3D geprinte zolen gemaakt. Deze worden geprint voor een bedrijf genaamd Paromed en worden dus al gebruikt. Na het printen van de complete voetzool, gaat een dekkende leerlaag over de zool. Dit wordt gedaan om de voetzool een comfortabele laag te geven. Deze leerlaag zit dus in de weg, wil er van bovenaf de zool aangepast worden maar biedt wel enige versteviging.

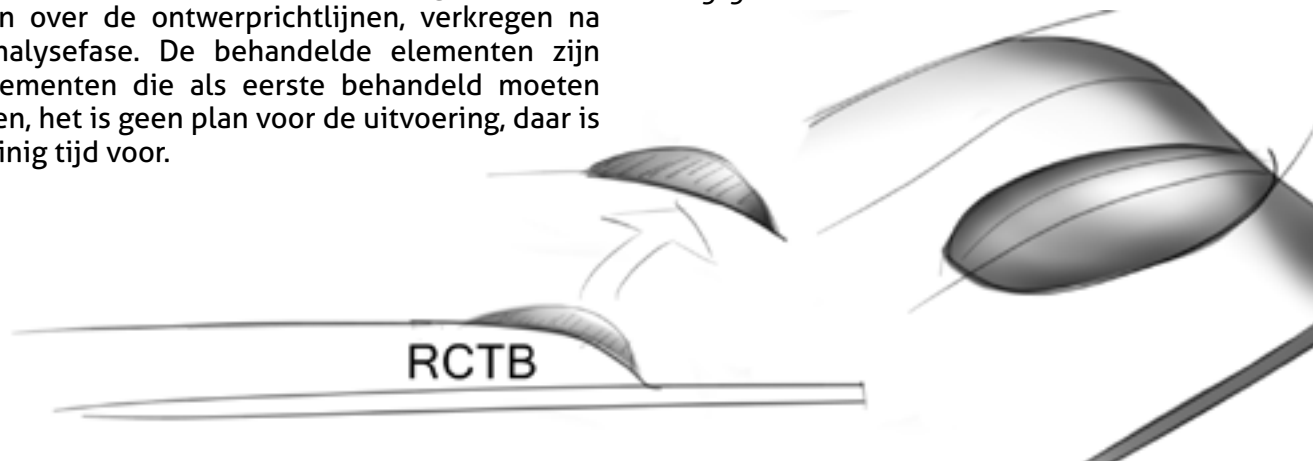
Ontwerprichtlijnen

Bij het ontwerpen van de dynamische voetzool moeten een aantal eigenschappen behaald en behouden blijven. Hier zal een bondige conclusie volgen over de ontwerprichtlijnen, verkregen na de analysefase. De behandelde elementen zijn de elementen die als eerste behandeld moeten worden, het is geen plan voor de uitvoering, daar is te weinig tijd voor.

Pelotte

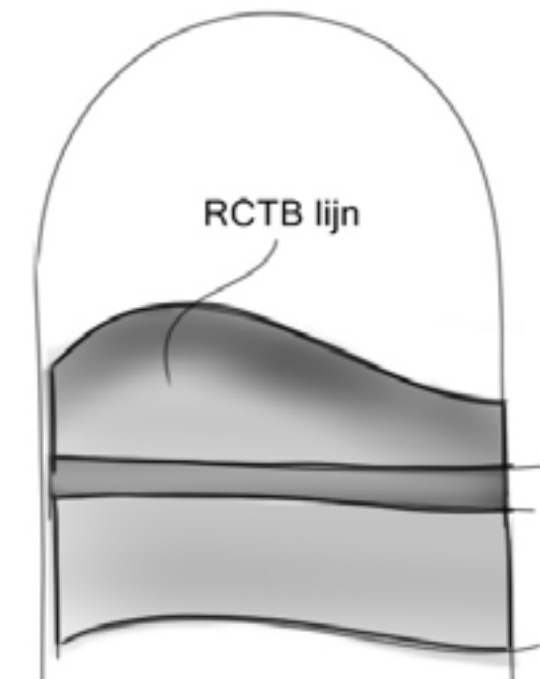
De pelotte moet kunnen worden verplaatst (in x-y richting), en verhoogd (in z-richting). De dimensies die bij deze verplaatsingen horen zijn in y-richting: ± 12 mm, in x-richting ± 6 mm en in z-richting ± 6 mm. Deze dimensies volgen uit het onderzoek van bijlage C en consult met de heer Wender en andere podotherapeuten. Bij de pelotte is het van belang dat de podotherapeut de beoogde therapie moet kunnen veranderen, de patiënt mag het element zelf niet kunnen verplaatsen. Dit geldt overigens voor de gehele voetzool, patiënten zelf mogen de voetzool niet aan kunnen passen. Het verplaatsen zou op verschillende manier kunnen gebeuren, deze manieren worden behandeld in de idee -en conceptfase. Verder heeft de pelotte altijd een gemeenschappelijke positie met de RCTB, mits beiden aanwezig. Dit zorgt ervoor dat de pelotte niet gemakkelijk apart te verplaatsen is. Door de bolle vorm van de RCTB is de pelotte, wanneer deze los genomen wordt, hol gevormd aan de onderkant (zie afbeelding 21). Hierdoor past de pelotte maar op 1 positie perfect op de RCTB, echter is het zo dat de RCTB-lijn (RCTB-Lijn hierna uitgelegd) en de pelotte samen te verplaatsen mogen zijn. De mogelijkheden om de pelotte te verplaatsen en verhogen worden behandeld in de idee -en conceptfase. Ten slotte is de x richting van de pelotte evenwijdig aan de RCTB lijn. De pelotte moet in mediale en laterale richting altijd evenwijdig aan de RCTB lijn verplaatst worden.

Afbeelding 21: Pelotte met RCTB grof weergegeven



RCTB

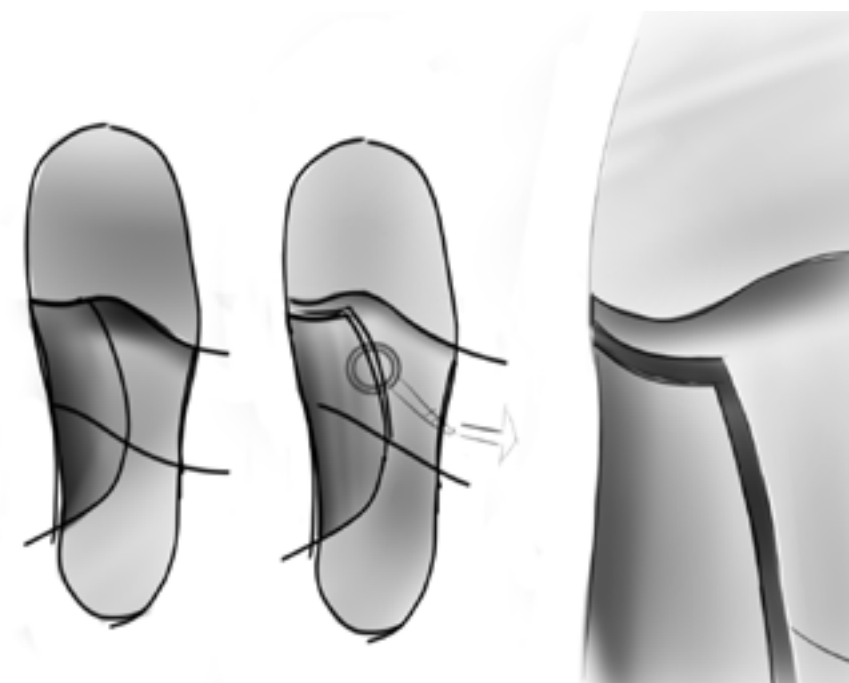
De RCTB is, zoals al eerder aangegeven, een veel gebruikt element, het dynamisch maken van dit element is daarom een logische keuze. Dit element loopt over de gehele breedte van de voetzool, de positie in breedte richting is daardoor niet aan te passen. De hoogte en de positie in lengterichting zijn echter wel aan te passen, de hoogte is over het gehele onderdeel hetzelfde. Dit is positief voor het ontwerpen van een systeem voor het aanpassen van de hoogte. Een dergelijk systeem zal onderzocht worden in de idee -en conceptfase. In lengterichting heeft dit element sterk te maken met de voetboogondersteuning, het loopt in dit element over. De RCTB zal alleen bij de RCTB lijn aangepast hoeven worden in distaal en proximaal richting, dit is het voorste gedeelte van het element. Wanneer de gehele RCTB een verschuiving distaal krijgt na de productie, kan een opening ontstaan tussen de voetboogondersteuning en RCTB. Dit is weergegeven in afbeelding 22, dit is niet gewenst en wordt voorkomen door alleen de RCTB lijn te verschuiven. De RCTB lijn zal een verschuiving van ± 12 mm in y-richting en de gehele RCTB ± 6 mm in z-richting moeten krijgen.



Afbeelding 23: RCTB-lijn

Afstanden in mm →	x-richting (breedte)	y-richting (lengte)	z-richting (hoogte)
Pelotte	± 6	± 12	± 6
RCTB	-	± 12	± 6
Voetboogondersteuning	-	-	± 12

Afbeelding 24: Dimensies verplaatsingen



Afbeelding 22: Kloof tussen voetboogondersteuning en RCTB

Voetboogondersteuning

De voetboogondersteuning vult de voetboog op, het zorgt ervoor dat de relatief zachte voetboog ondersteund wordt en de druk over de gehele voet verlicht wordt omdat de voetboog een gedeelte van de druk opvangt ($P=F/A$). Dit element kan ook zorgen voor actieve correctie van de middenvoet, door de ondersteuning te verhogen of verlagen. Het is erg wenselijk om een dergelijk element aan te kunnen passen en dit zal in het ontwerp van de dynamische zool daarom uiteindelijk gedaan worden (hoogstwaarschijnlijk buiten de opdracht). Waar bij dit element op gelet moet worden, is dat de positie in lengterichting niet verandert. De voetboog bevindt zich nou eenmaal op dezelfde positie. Het is echter wel wenselijk om de hoogte in lengterichting aan te kunnen passen. De therapie verschilt wanneer bijvoorbeeld de hoogte (gemeten vanaf de schoenzool, de zogeheten brandzool) verandert. Daarom is een ontwerprichtlijn voor dit element om de hoogte op meerdere posities aan te passen, zodat het hoogste punt kan verschuiven in lengterichting. Het hoogteverschil bedraagt ± 12 mm.

Materiaal

Het materiaal zal minstens dezelfde eigenschappen moeten kunnen bieden als het huidige beschikbare EVA, maar wenselijk is het verbeteren van de eigenschappen. Een van deze eigenschappen is het behouden van de vorm voor een aanzienlijke tijd. Het materiaal zal echter op sommige punten flexibel kunnen (of moeten) zijn, afhankelijk van het ontwerp. De richtlijnen voor het materiaal worden niet specifiek gedefinieerd, het zal afhankelijk zijn van de te maken conceptontwerpen. Het gebruiken van combinaties van materialen is ook een mogelijkheid. Door combinaties van materialen te gebruiken, zou een dempende werking kunnen worden gerealiseerd bij bijvoorbeeld de hiel door op die positie 'kussentjes' te plaatsen (een dempend materiaal ipv PA). Verder is er al onderzoek gedaan naar het materiaal voor de 3D printer betreffende het gebruik hiervan. In de huidige situatie plaatst PLT lamellen (verstevigingen) onder de zool, die zorgen voor extra versteviging terwijl de zool niet (te) dik wordt. Door slim gebruik te maken van de lamellen zouden oplossingen voor mogelijke ontwerpproblemen kunnen ontstaan. Verder dienen lamellen (weergegeven afbeelding 23) ter hoogte van de ballijn (bal van de voet) voor stijfheid, deze eigenschap is essentieel om drukverlaging in de voorvoet te creëren.



Afbeelding 23: Lamellen onder een 3D geprinte voetzool

Lamellen

De hiervoor genoemde lamellen lopen in de huidige situatie in 1 richting. Door deze specifieke richting geven ze goede ondersteuning in y richting. Een mogelijkheid zou zijn om deze richting aan te passen door de lamellen op een specifieke plek een kwartslag te draaien. Daardoor wordt het materiaal flexibeler in y richting en heeft de zool andere stijfheidseigenschappen.

Breedte van de voetzool

De breedte van de voetzool is erg belangrijk wil de voetzool perfect in de schoen passen. Normaal gesproken kan dezelfde zool in meerdere verschillende soorten schoenen gedragen worden, mits de hakhoogte en breedte van het voorblad overeenkomen. Pumps en platte laarzen hebben bijvoorbeeld geen overeenkomende hakhoogte en een zool gemaakt voor een platte ondergrond, kan niet gedragen worden in een zool met een grotere hakhoogte. Ook hebben pumps in vergelijking met laarzen of andere schoenen een andere breedte, dit verschil is in relatie tot de gehele breedte niet groot, maar groot genoeg. De dynamische voetzool zou daarom baat hebben bij een breedte die aan te passen is, in ieder geval zodat ze in verschillende soorten overeenkomende schoenen gedragen kunnen worden. Met overeenkomende schoenen worden schoenen bedoeld die voor hetzelfde doeleinde worden gebruikt, bijvoorbeeld voor alledaags gebruik. Zolen gemaakt voor sporten zijn vaak anders dan zolen gemaakt voor alledaags gebruik.

Lengte van de voetzool

De voetzool moet bij voorkeur perfect passen in de schoen waarin deze gedragen wordt. De lengte speelt hierbij een belangrijke rol en in het huidige geval kan deze niet meer aangepast worden. De te ontwerpen voetzool zou bij voorkeur een lengte moeten hebben die naderhand nog aan te passen is. Deze lengte zou dan waarschijnlijk aan de voorkant van de voetzool aangepast kunnen worden, aangezien zich hier een plat gebied zonder therapie bevindt (meestal). Dat maakt het verlengen van de zool makkelijker. Een andere mogelijkheid zou zijn om een verlenging aan de achterzijde te maken. Een schoen kan ervoor zorgen dat de voet naar voren wordt gedrukt in de schoen. Hierdoor past de voet niet meer perfect op de zool en wordt de therapie misgelopen.

Aanpassen van de zool door patiënten

Wanneer patiënten de zool aan zouden kunnen passen, wordt een voordeel behaald door de patiënten instructies mee te geven hoe deze de zool voor meerdere doeleinden kan instellen. De patiënt zou bijvoorbeeld een stand voor sporten en een stand voor normaal gebruik kunnen hebben. Echter, valt dit voordeel in het niet bij het grootste nadeel: de patiënten zijn geen podotherapeuten. Podotherapeuten weten wat het beste is in welke situatie, wanneer een patiënt hier zelf mee bezig gaat is er een kans dat de patiënt de zool verkeerd gebruikt en de beoogde therapie niet wordt behaald. Het is daarom niet wenselijk dat de patiënten de zool aan kunnen passen.

Overig

Bij het ontwerpen van de voetzool moet altijd de wens van de podotherapeut vooropgesteld worden, het wordt uiteindelijk een voetzool voor de podotherapeuten. PLT biedt deze voetzool exclusief aan, wanneer de voetzool goed bevalt zal PLT daardoor erg veel voetzolen kunnen produceren en verkopen. Echter is het niet minder belangrijk dat de te ontwerpen voetzool binnen het bedrijfsplan van PLT past.

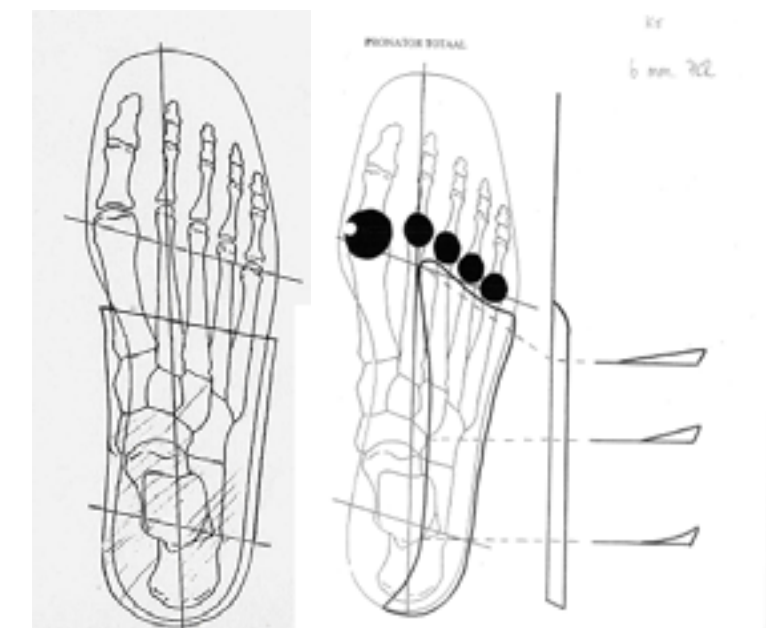
Bij het ontwerpen van de voetzool mag de kwaliteit niet achteruit gaan ten opzichte van de op de huidige markt aanwezige voetzolen. De elementen mogen daarom niet vervormen als gevolg van gebruik en de te ontwerpen voetzolen moeten even ergonomisch als de huidige voetzolen zijn.

Optionele elementen: AsC (Ascendens Posterior)

Dit relatief grote element wordt redelijk veel toegepast, ook is er, net als bij elk ander element, een mate van onzekerheid of de juiste therapie wordt gehaald wanneer dit element wordt toegepast. Het zou daarom wenselijk zijn wanneer dit element naderhand geplaatst of verwijderd kan worden. Het element is ook relatief simpel, het kan onder de zool worden bevestigd en dient slechts voor een verhoging. Daarom zou een oplossing zijn om de onderkant van de te ontwerpen zool geschikt te maken voor een eventuele AsC (of PT). Er zal echter rekening gehouden moeten worden dat door een AsC (of PT) meerdere elementen ook verhoogd worden. Het zijn elementen die in ieder geval buiten de opdracht vallen, maar belangrijk zijn om genoemd te hebben.

Optionele elementen: PT (Pronator Totaal)

Voor de PT geldt hetzelfde als de AsC. Beiden zijn weergegeven in de afbeeldingen hieronder, afbeeldingen 24 & 25.



Afbeelding 23 & 25: PT & AsC (resp.)

PvE (programma van eisen)

Hoewel de ontwerprichtlijnen bedoeld zijn als een soort programma van eisen, is een puntsgewijs PvE bijgevoegd in bijlage G.

Concluderend

De onderzochte elementen kunnen niet allemaal uitgevoerd worden, er zal worden begonnen met het dynamisch maken van de pelotte. Het dynamisch maken van dit element is gezien de eisen het lastigst, daarom zal dit de tijd voldoende opvullen en de weg vrijmaken voor de overige elementen. Ook staat de grootse belasting op de pelotte, wanneer na tetst blijkt dat de concepten voldoende zijn voor deze belasting, zijn ze dat ook voor overige delen van de voetzool.