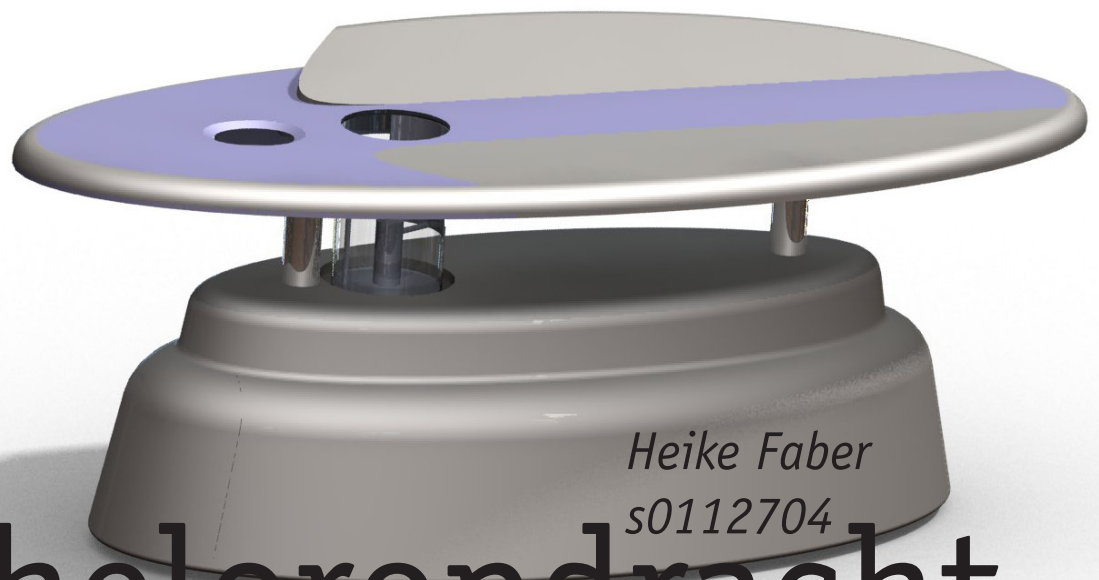


Herontwerp van de Photoacoustic Mammoscope



Heike Faber
s0112704

Bacheloropdracht

Industrieel Ontwerpen
september-december 2008

pagina's: 64

bijlagen: A t/m E

Summary

In 2003, the Institute for Biomedical Technology (BMTI) completed the photoacoustic mammoscope (PAM). This is the first clinical prototype of a breast imaging instrument based on the technique of photoacoustics which combines optical and ultrasound imaging. The PAM was used for pilot experiments in 2006 where symptomatic and suspect breasts of patients were imaged to detect breast cancer. This study demonstrated the feasibility of using photoacoustics for breast cancer detection, but also uncovered several drawbacks of the instrumental approach. A vastly improved instrument is necessary before any further research can be carried out.

This thesis presents the second prototype for the PAM and consolidates the decisions that were taken to arrive at the design. The design focuses on three main aspects: patient and user friendliness, ergonomics and implementation of Computed Tomography.

The first chapter deals with the different aspects which could be useful for the redesign of the PAM. It describes the results of interviews with clinicians who have been involved in experimentation using the PAM and volunteers and clinicians who participated in user tests to ascertain comfort responses. This chapter also discusses the use of related mostly conventional medical imaging devices, of which some elements have inspired the design. A list of specifications was drawn up taking into consideration technical requirements and capabilities of the BMTI together with the outcome of the orientation phase.

Chapter 2 develops three concepts based on the list of required specifications. These concepts are examined against the requirements and critically discussed. The concepts are then proposed to the stakeholders. This evaluation gives advice on the choice of design based on the preferred concept.

Chapter 3 details the chosen concept and presents a breakdown of the important functional elements of the design.

Finally Chapter 4 critically evaluates the final design against the specifications and requirements. This chapter ends with several recommendations for the implementation of the design and presents photographs of a scaled mock-up fabricated in the workshop.



Present prototype of the photoacoustic mammoscope -
Huidig prototype van de photoacoustic mammoscope

Samenvatting

In 2003 is binnen BMTI (instituut voor biomedische technologie) de photoacoustic mammoscope (PAM) gebouwd. Fotoakoestiek, een combinatie van optische en ultrageluid beeldtechnieken, wordt in dit apparaat gebruikt als nieuwe toepassing voor de detectie van borstkanker. De PAM heeft gediend als prototype tijdens experimenten op patiënten waarbij in de borst knobbels voelbaar waren (2006). Deze studie heeft de realiseerbaarheid van het gebruik van fotoakoestiek bij de detectie van borstkanker bewezen, maar ook een aantal technische problemen zijn hierbij gevonden. De toepassing van fotoakoestiek in mammografie zal door BMTI doorontwikkeld worden, maar hiervoor zal een nieuw bed voor de PAM ontworpen moeten worden.

De opdracht, die in dit verslag beschreven is, luidt dan ook het herontwerpen van een nieuw prototype voor de PAM. Het verslag beschrijft de weg naar dit herontwerp. Aandachtspunten in het herontwerp zijn patiëntvriendelijkheid, gebruiksvriendelijkheid voor het verplegend personeel en het op de juiste manier integreren van Computed Tomography.

In het eerste hoofdstuk wordt er georiënteerd op de verschillende aspecten die van toepassing kunnen zijn voor het herontwerp van de PAM. Zo wordt verslag gedaan van interviews met betrokkenen tijdens experimenten op de PAM, is er een gebruikstest uitgevoerd waarbij de ergonomische aspecten van het apparaat onder de loep worden genomen en is er een analyse gedaan van soortgelijke medische apparaten. Samen met de opdrachtgever en de informatie die uit de oriënterende fase naar voren is gekomen is een programma van eisen en wensen opgesteld.

In het tweede hoofdstuk zijn voor verschillende functionaliteiten van de PAM concepten gegenereerd. De concepten zijn vervolgens getoetst aan het programma van eisen en voorgelegd aan stakeholders. Deze evaluatie van de concepten heeft geleid tot een uiteindelijke conceptkeuze.

Van de conceptkeuze is een definitief ontwerp uitgewerkt in hoofdstuk drie. Van het definitieve ontwerp is een 3d render gemaakt en een zichtmodel.

In hoofdstuk vier wordt het hele project geëvalueerd en diverse aanbevelingen voor de implementatie van het ontwerp gedaan.



Redesign of the photoacoustic mammoscope -
Herontwerp van de photoacoustic mammoscope

Voorwoord

Beste lezer,

Voor u ligt het verslag van mijn bacheloropdracht. De bacheloropdracht is de afsluitende opdracht van mijn bacheloropleiding industrieel ontwerpen (Universiteit Twente). Vanwege mijn interesse in het medische vakgebied ben ik terecht gekomen bij BMTI waar men onder andere onderzoek doet naar het gebruik van fotoakoestiek in mammografie.

De opdracht is uitgevoerd in opdracht van BMTI (institute for biomedical technology) in Enschede. Graag wil ik mijn persoonlijke begeleider vanuit BMTI, Srirang Manohar, hartelijk bedanken voor de hulp en begeleiding tijdens het project. Ook wil ik Johan van Hespren, technisch medewerker bij BMTI bedanken voor het meedenken over mijn ontwerpen.

Daarnaast wil ik speciaal de medewerkers van het Medisch

Spectrum Twente bedanken, omdat zij het mogelijk maakten dat ik in het ziekenhuis een gebruikstest kon uitvoeren en mee kon lopen om ideeën op te doen voor mijn herontwerp. Speciaal wil ik daarvoor radioloog Frank van den Engh en radiodiagnostisch laboranten Kristel Lenfert en Ron Höfte bedanken voor hun hulp en ideeën. Ook was het erg interessant om met Tonnie Keijzers en zijn collegae, technici van de dialyse afdeling MST Ariënsplein, te spreken over veiligheidsmaatregelen die getroffen moeten worden bij het gebruik van water en elektriciteit bij patiënten.

Anaïs Leproux wil ik bedanken voor haar enthousiaste rondleiding in Philips Research en voor de mogelijkheid om Philip's optical mammoscope van dichterbij te kunnen bekijken.

Ook Mascha van der Voort wil ik bedanken voor haar begeleiding vanuit de opleiding.

Heike Faber



Medisch Spectrum Twente - locatie Oldenzaal

Inhoudsopgave

2	Summary
3	Samenvatting
4	Voorwoord
5	Inhoudsopgave
7	Inleiding
8	Hoofdstuk 1 - Oriëntatie
10	1.1 - Photoacoustic mammoscope
13	1.2 - Computed Tomography
15	1.3 - Gebruiksonderzoek
22	1.4 - Analyse soortgelijke apparaten
30	1.5 - Programma van eisen
34	Hoofdstuk 2 - Conceptgeneratie
36	2.1 - Concepten
44	2.2 - Toetsing aan programma van eisen
48	2.3 - Discussie met stakeholders
50	2.4 - Conceptkeuze
52	Hoofdstuk 3 - Detaillering
54	3.1 - Het definitieve ontwerp
58	3.2 - Productie en kosten
60	Hoofdstuk 4 - Evaluatie
62	4.1 - Conclusie
63	4.2 - Aanbevelingen
64	Literatuur

Inleiding

Het BMTI (institute for biomedical technology) is een onderzoeksinstituut van de Universiteit Twente. Er wordt belangrijk onderzoek gedaan op allerlei gebieden binnen de (bio)medische technologie, waarvoor het instituut wereldwijd erkenning krijgt. Veel onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met ziekenhuizen en het bedrijfsleven. Op dit moment werken zo'n 200 onderzoekers van verschillende disciplines aan diverse vraagstukken. Het instituut is onderverdeeld in elf groepen. Deze bacheloropdracht heeft plaatsgevonden binnen de groep '*biophysical engineering*', die ondermeer onderzoek doet naar *molecular biophysics*, *nanobioscience* en *biomedical optics*.

Onlangs is binnen de *biophysical engineering* groep een nieuwe technologie ontwikkeld voor de detectie van borstkanker. De techniek is gebaseerd op *photoacoustic imaging* en is geïntegreerd in de *Photoacoustic Mammoscope (PAM)* (figuur 1.1.1, blz 8). In het ziekenhuis in Oldenzaal zijn verschillende experimenten op dit prototype uitgevoerd bij vrouwen, bij wie in de borsten knobbels te voelen zijn (2006). De resultaten van het onderzoek zijn veelbelovend, maar de techniek staat nog in zijn kinderschoenen en zal verder ontwikkeld moeten worden. BMTI heeft hiervoor een verbeterde versie van de PAM nodig.

De doelstelling van deze bacheloropdracht is het ontwikkelen van een tweede generatie van de PAM. Centraal staat hierbij de verandering van een *planar* geometrie scansysteem naar een *computed tomography* geometrie (CT). Hiervoor zal een nieuwe indeling van de technische apparatuur moeten worden bedacht. Verder wordt gekeken naar het ontwerpen van een meer comfortabele en ergonomische interface voor de patiënt. Voor het verplegend personeel dat het apparaat moet bedienen is een verbetering van de gebruiksvriendelijkheid van het product nodig. Andere aandachtspunten zijn esthetiek en veiligheid. Bovendien moet er rekening gehouden worden met de beschikbare middelen binnen BMTI om het apparaat te kunnen produceren. Er zal niet gekeken worden naar het werkingsprincipe van de PAM.

De opdracht kan gerealiseerd worden door een gebruiksonderzoek uit te voeren. Ook wordt gekeken naar de werking van soortgelijke medische apparaten. Aan de hand van

de resultaten van deze analyses kan een programma van eisen worden opgesteld, waarmee het herontwerpen kan worden gestart. Uiteindelijk zal een voorstel voor herontwerp worden geleverd dat is uitgewerkt tot en met een grove beschrijving van de maatvoering. Ook zal een 3d render en een schaalmodel gepresenteerd worden. BMTI zal het herontwerp gebruiken bij de ontwikkeling van een nieuw prototype van de PAM. De opdracht zal uitgevoerd worden in een periode van drie maanden.

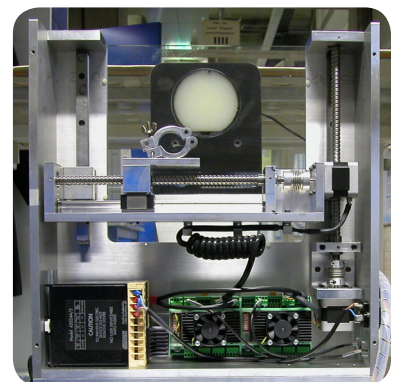
De doelstelling is geformuleerd in een vraagstelling. De centrale vragen hierin zijn: *Welke knelpunten worden gevonden tijdens het gebruik van de PAM?*, *Hoe werken gelijksoortige apparaten met betrekking tot de interface voor de patiënt en voor het verplegend personeel?*, *Aan welke eisen moet het herontwerp voldoen?*, *Hoe moet het Computed Tomography onderdeel er uit zien?* en *Tot welk herontwerp wordt gekomen aan de hand van het programma van eisen?*. In bijlage A is een overzicht van de gehele vraagstelling te vinden.

Aan het begin van de opdracht zal begonnen worden met het vergaren van informatie over de PAM. Dit wordt gedaan door het doen van literatuuronderzoek en interviews met betrokkenen tijdens experimenten met de PAM. In het ziekenhuis in Oldenzaal en Enschede op de afdeling mammacare en radiologie is de mogelijkheid om mee te lopen en vragen te stellen aan doktoren en verplegend personeel. Op deze manier kan goed inzicht worden verkregen in de werking van soortgelijke medische apparaten. Ook wordt een casestudy in de vorm van een gebruiksonderzoek uitgevoerd op de huidige PAM.

De resultaten van de analyses kunnen zo worden vertaald in een programma van eisen. Aan de hand hiervan worden concepten ontwikkeld waarvan één na een toetsing aan het programma van eisen definitief wordt uitgewerkt.

Oriën

	pagina:
1.1 Photoacoustic Mammoscope	10
1.2 Computed Tomography	13
1.3 Gebruiksonderzoek	15
1.4 Analyse soortgelijke apparaten	22
1.5 Programma van eisen en wensen	30



tatie • Hoofdstuk 1



1.1 Photoacoustic mammoscope

Photoacoustic imaging

Technologiën als (röntgen)mammografie en echografie worden standaard gebruikt om borstkanker te kunnen detecteren of diagnosticeren, maar deze hebben hun tekortkomingen. Zo zal er altijd een biopsie moeten plaatsvinden om uitsluitsel te geven over de goed- of kwaadaardigheid van een tumor. Daarnaast komt bij een mammografie schadelijke ioniserende straling vrij en kan een behandeling door de patiënt als onprettig worden ervaren doordat de borst sterk geklemd moet worden tussen twee platen. Photoacoustic imaging is een nieuwe technologie die ontwikkeld is om deze tekortkomingen te verhelpen.

Bij photoacoustic imaging wordt licht (laser) in pulsen door de borst gestuurd. De verschillende weefsels in de borst absorberen het licht (energie in de vorm van fotonen) in verschillende mate afhankelijk van hun absorptie eigenschappen.

Geabsorbeerde fotonen zorgen voor een plaatselijke temperatuurverhoging die leidt tot een thermische uitzetting. Deze uitzetting zorgt weer voor een drukgolf die zich door de borst verspreidt. Met behulp van meerdere ultrageluiddetectoren (dezelfde detectoren die in echografie gebruikt worden) kunnen zulke golven worden opgevangen en worden vertaald in een beeld.

Een belangrijk verschil met de conventionele detectietechnieken is dat photoacoustic imaging bloedvaten

kan onderscheiden van het overige borstweefsel. Als zich om een onregelmatigheid heen veel bloedvaten bevinden, is dat een aanwijzing voor de aanwezigheid van een (kwaadaardige) tumor. Daarnaast is het bij deze techniek niet nodig om de borst onder grote kracht in te klemmen. Een milde druk is voldoende.

De photoacoustic mammoscope (PAM)

Om de nieuwe technologie photoacoustic imaging te kunnen testen is een prototype gebouwd: de photoacoustic mammoscope (PAM). Het prototype bestaat uit een oud ziekenhuisbed waaronder zich de benodigde meetapparatuur bevindt. In figuur 1.1.1 is een foto van het prototype te zien met een overzicht van de onderdelen.

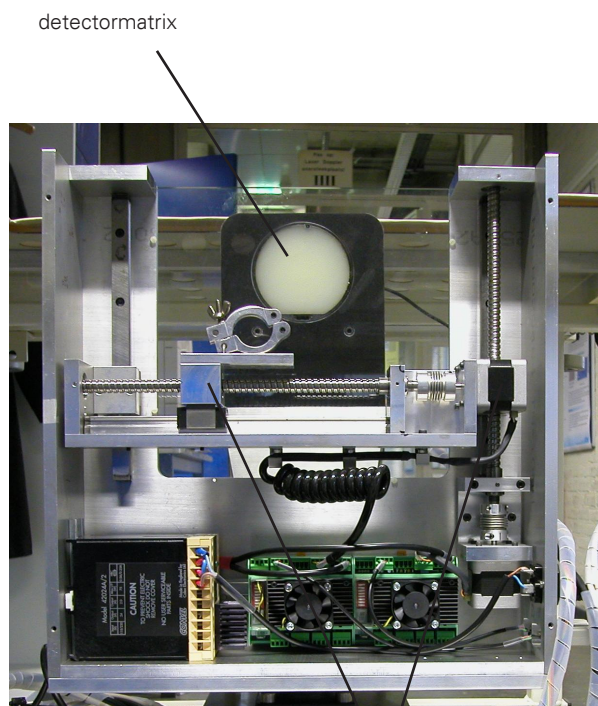
Onder de opening voor de borst bevindt zich de detector (figuur 1.1.2) en een glazen plaat, waarachter de laser zich bevindt. De laser is verbonden aan een articulated arm die geautomatiseerd in twee richtingen over de glazen plaat kan worden bewogen met behulp van twee stepmotoren.

De detector bestaat uit ongeveer 500 elementen die in een cirkel zijn opgesteld. De detector kan met behulp van een draaiwiel naar de glazen plaat worden bewogen om een lichte compressie op de borst te kunnen uitoefenen. De detector is ook in hoogte verstelbaar.

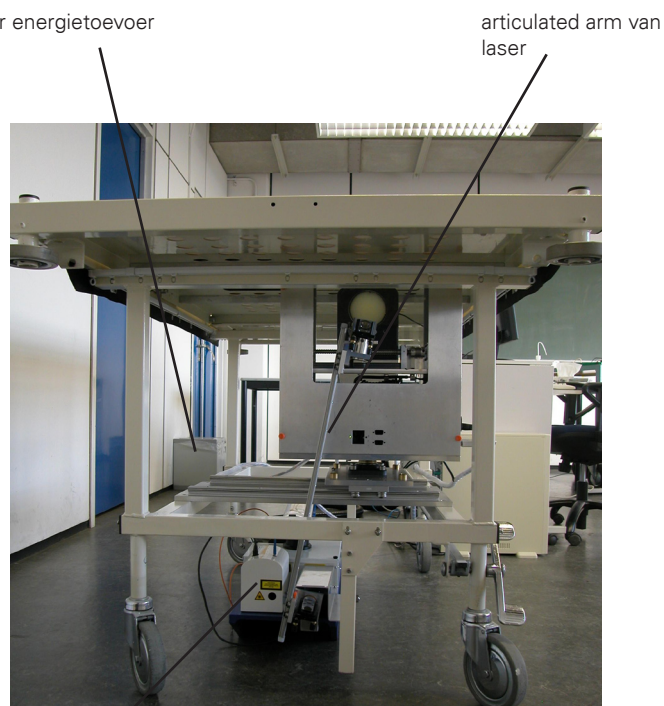
Naast het apparaat zijn er een kastje voor de energievoorziening van de laser en een computer.



FIGUUR 1.1.1 - PHOTOACOUSTIC MAMMOSCOPE (PAM); a opening voor de borst, b ultrageluid detector matrix, c glazen plaat, d scansysteem compartiment, e laser, f gordijn voor de veiligheid van de laser tijdens gebruik, g electronica voor communicatie tussen detector en computer, h wiel om de detectormatrix met lichte druk tegen de borst te kunnen positioneren, i bediening van de laser, j energievoorziening van de laser.



steppermotoren, beweegbaar over x- en y-as



FIGUUR 1.1.2 - PAM twee verschillende aanzichten

laser

De gebruikswijze van de PAM

In het Medisch Spectrum Twente (MST) in Oldenzaal zijn een aantal experimenten uitgevoerd met de PAM. De proefpersonen voor deze experimenten waren patiënten van het ziekenhuis bij wie in de borsten een knobbel (met de hand voelbaar) was waar te nemen. Mogelijk ging het hier om een kwaadaardige tumor. Na het ondergaan van een mammografie scan en een echografie werd het experiment met de PAM gedaan.

De proefpersonen werd gevraagd om met ontbloot bovenlijf op het bed te gaan liggen, zodanig dat de desbetreffende borst door de opening van de tafel naar beneden kon hangen. De radiodiagnostisch laborant die ook de mammografie bij de proefpersoon uitvoerde, positioneerde de borst zo tussen de glazen plaat en de ultrageluiddetector dat het gebied rond de tumor goed kon worden gescand. De detector werd door de laborant naar de glazen plaat bewogen met behulp van een draaiwiel. Op deze manier werd de borst geklemd tussen de glazen plaat en de detector. De druk op de borst werd opgevoerd tot een sterkte, die de patiënt nog net niet als onplezierig ervoer. Om een beter contact tussen de borst en de inklemming te maken, werd *coupling gel* gebruikt.

Na het juist positioneren van de borst werd de patiënt geacht tijdens proces van photoacoustic imaging niet te bewegen. De maximale duur van de scan mocht maximaal 45 minuten

bedragen volgens het advies van het medisch ethisch comité van het MST. De gemiddelde scantijd bedroeg in de praktijk 30 minuten. De scantijd duurde relatief lang vanwege de uitleestijd van de apparatuur. De verschillende elementen van de detector kunnen alleen in serie worden uitgelezen en niet parallel. Bovendien zijn er honderd metingen nodig per element om alle ruis te kunnen elimineren terwijl de frequentie van de laser maar 10 Hz is, oftewel 10 seconden meettijd heeft per element.

Gedurende de behandeling werden door de glazen plaat lichtpulsen gestuurd met behulp van een laser. De pulsen gingen door de borst en zorgden zo voor meetbare signalen voor de ultrageluid detector. Deze detector is eigenlijk een soort matrix van verschillende kleine detectoren die de vertraging van opgevangen signalen ten opzichte van elkaar kunnen meten. Met de gemeten informatie berekent de computer beelden en geeft een plaatje van de inwendige borst weer.

Knelpunten tijdens de experimenten

In het artikel van Manohar et al. (2007) zijn twee redenen genoemd waarom verkregen resultaten niet bruikbaar waren voor het onderzoek. De eerste is dat de tumor niet te zien was op het verkregen beeld. Dit kwam door het verkeerd instellen van coördinaten voor het te scannen gebied, een te kleine borstgrootte of doordat de tumor zich te dicht tegen de

borstkas bevond.

Een tweede reden waardoor foute signalen werden gemeten, is dat er te weinig contact was tussen de borst en de detector. Dit zou veroorzaakt worden door het feit dat de borst niet strak genoeg was ingeklemd of door het gebruik van te weinig *coupling gel*.

Mogelijke overige knelpunten tijdens de experimenten

Naast de hiervoor beschreven oorzaken van foute metingen zijn er mogelijke knelpunten tijdens het gebruik van de PAM te bedenken.

Zo bevindt het draaiwiel dat de borst tussen de glazen plaat en de detector kan inklemmen zich onder het bed. Dit lijkt erg onhandig voor het verplegend personeel dat het draaiwiel moet bedienen.

Ook valt op dat er maar één borstgat in het bed zit. Het lijkt hierdoor alsof de patiënt niet comfortabel ligt en misschien kan de te diagnosticeren borst niet ver genoeg naar beneden hangen doordat de ander borst in de weg zit. Bovendien moet de patiënt zo'n 30 minuten lang stil liggen. Op dit bed lijkt dat niet eenvoudig vol te houden. Als laatste valt op dat het bed niet verstelbaar is in hoogte. Het zou kunnen zijn dat patiënten hierdoor moeite hebben om op het bed te komen.

Ook de uitstraling van het bed kan patiënten een onveilig gevoel geven, doordat het apparaat er primitief uitziet. Deze veronderstelde knelpunten zullen meegenomen worden in de interviews met betrokkenen tijdens de experimenten (hoofdstuk 1.3) om erachter te komen of deze werkelijk overeen komen met de werkelijkheid.

BMTI wil een tweede generatie van de PAM ontwikkelen.

Hierbij zal gebruik gemaakt worden van een nieuwe scanmethode: Computed Tomography. Dit houdt in dat de borst vanuit verschillende hoeken gescand zal worden in plaats van uit een vlak (planar geometrie). Op deze manier kan een betere resolutie van het beeld verkregen worden.

Voor deze CT methode is een nieuwe indeling van de laser en de detectoren nodig. Er wordt gedacht om een articulated arm die de laser om de borst kan bewegen te maken. Ook de detectoren moeten hierdoor om de borst worden bewogen, afhankelijk van de positie van de laser.

Voordeel van het gebruiken van CT naast het verkrijgen van een grotere resolutie is dat de borst niet meer hoeft worden ingeklemd tussen de glasplaat en de detector. De borst zal namelijk hangen in een bak met water, waar de laser en de detectoren om heen draaien (figuur 1.1.3). In hoofdstuk 1.2 zal verder ingegaan worden op CT geometrie.

1.2 Computed Tomography

Wat is Computed Tomography?

Computed Tomography is het maken van een driedimensionaal beeld door het maken van meerdere (2d) foto's rondom een object heen. Een object wordt dus vanuit verschillende hoeken benaderd. Tomography komt van het Griekse *tomos*, wat stuk of schijf betekent en van *grafein* wat beschrijven betekent. Eigenlijk is tomography dus het weergeven van verschillende lagen in een object (meestal een lichaamsdeel) aan de hand waarvan het hele object beschreven wordt. Het woord computed in CT betekent niet meer dan dat de gemeten waarden met behulp van een computer worden omgezet in een beeld.

CT in medische apparaten

CT is het meest bekend geworden door zijn toepassing in radiografie. Door verschillende röntgenfoto's om (een deel van) de patiënt heen te maken, worden door de computer verschillende beelden (dwarsdoorsneden) berekend. In ziekenhuizen wordt het apparaat dat met deze techniek werkt de CT-scan genoemd. CT kan echter ook met behulp van andere technologieën functioneel zijn. Zo wordt CT bijvoorbeeld ook toegepast bij bekende medische apparatuur zoals MRI (magnetic resonance imaging) en de PET-scan

(positron emission tomography). Ook bij de Ultrasound CT in hoofdstuk 1.4 wordt gebruik gemaakt van CT.

Voordelen voor de PAM

Het integreren van een CT geometrie in de PAM biedt een aantal voordelen.

Wanneer CT wordt geïntegreerd in de PAM betekent dit dat de borst in een reservoir met water (op lichaamstemperatuur) hangt, in plaats van dat deze wordt ingeklemd (figuur 1.2.1). Het water dient als een goede *coupling* tussen de borst en de laser. Deze manier van positioneren van de borst is prettiger voor de patiënt, omdat het mogelijk als onplezierig ervaren inklemmen van de borst hiermee overbodig wordt. Ook kan CT wellicht een stukje angst bij de patiënt wegnemen, omdat het inklemmen van de borst soms geassocieerd wordt met het maken van een mammogram, wat vaak als onprettig wordt ervaren.

Het integreren van CT geometrie heeft in de eerste plaats voordelen voor de kwaliteit van scannen. Om het waterreservoir met de borst draait de laser heen en de detectormatrix draait tegenover de laser in het water mee. Uit verschillende hoeken rondom de borst worden dus signalen gemeten. Het combineren van deze signalen zorgt voor een sterker signaal en dus voor een beter beeld. De resolutie van het verkregen beeld is hierdoor ook beter.

Voor de laborantes die op de PAM de borst moesten positioneren is het integreren van CT ook een voordeel. Omdat de borst in een reservoir met water hangt, wordt het positioneren van de borst voor hen veel eenvoudiger, want de borst hoeft alleen maar ongeveer in het midden van het reservoir te liggen. De hele borst wordt met CT gescand in plaats van alleen een gebied van interesse rondom een tumor, zoals bij de huidige PAM gebeurt. Het is ook gemakkelijker om de borst te positioneren.

Nadelen voor de PAM

Een nadeel van CT is dat het ronddraaien van apparatuur extra problemen met zich mee kan brengen. Ook moet het water dat in het reservoir is op temperatuur gehouden worden, omdat een wisseling van temperatuur gevolgen heeft voor de beeldreconstructie resultaten. Bovendien moet na elke behandeling het water worden ververs in verband met



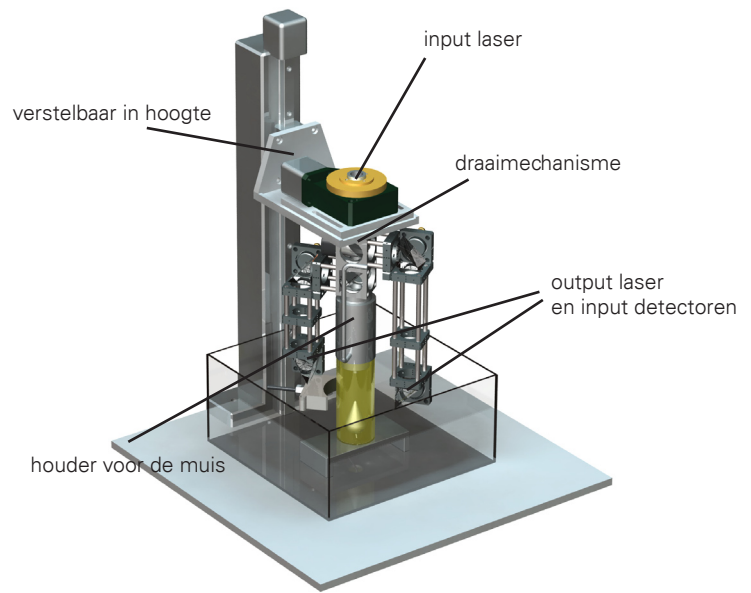
FIGUUR 1.2.1 - CT SCAN PHILIPS (BOVEN) EN GE (ONDER): Voorbeelden van Computed Tomography

de hygiëne. Verder dienen alle elektrische componenten beschermd te worden tegen het water om gevaarlijke situaties te voorkomen.

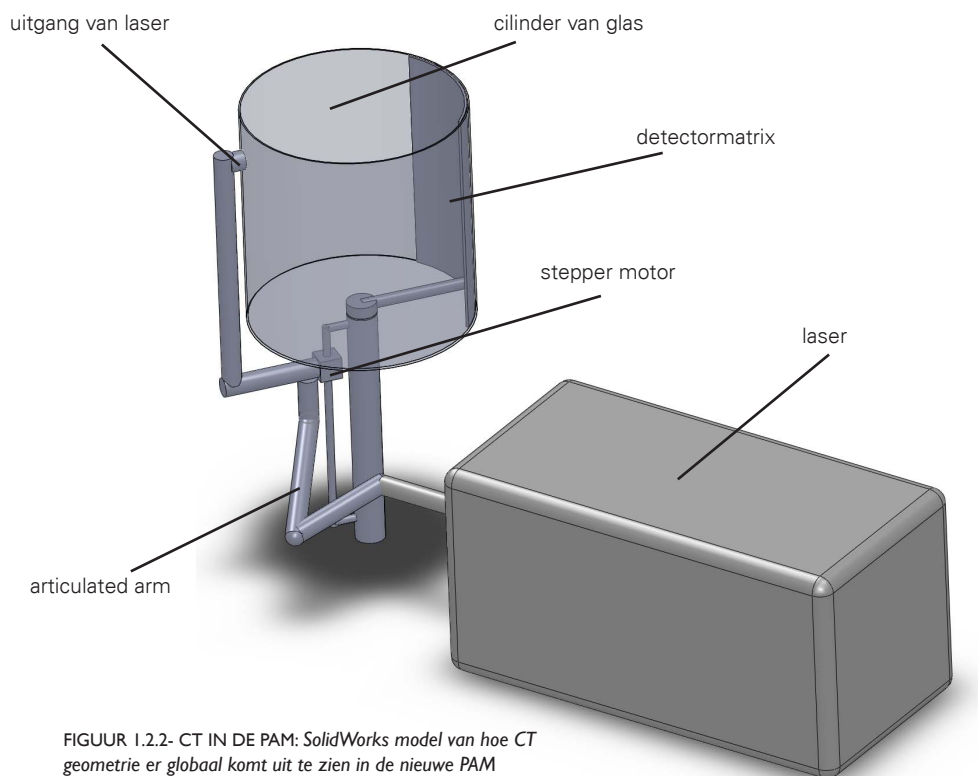
Een nadeel van het niet meer inklemmen van de borst is dat de borst nu gevoelig is voor bewegingen van het lichaam van de patiënt, zoals die van de borstkas door ademhaling. Elke beweging van de borst komt de kwaliteit van de metingen niet ten goede.

De small animal imager

Bij BMTI worden op dit moment testen met photoacoustic imaging gedaan met een *small-animal imager*. Deze imager werkt ook met CT geometrie (figuur 1.2.2). De implementatie van CT in de PAM zal een soortgelijk mechanisme betreffen, alleen is het hele scansysteem dan omgedraaid (figuur 1.2.1), omdat de borst in het bed naar beneden hangt. Momenteel zijn de resultaten die met deze imager worden verkregen nog niet goed genoeg. De verwachting van BMTI is echter dat het geen probleem zal zijn om CT ook in de nieuwe PAM te integreren, dit verslag gaat daar dan ook vanuit.



FIGUUR 1.2.3- SMALL-ANIMAL IMAGER: foto van de *small-animal imager* ontwikkeld bij BMTI



FIGUUR 1.2.2- CT IN DE PAM: SolidWorks model van hoe CT geometrie er globaal komt uit te zien in de nieuwe PAM

1.3 Gebruiksonderzoek

Om meer inzicht in het gebruik van de PAM te krijgen, is een gebruiksonderzoek uitgevoerd. Dit bestaat uit twee delen: interviews en een daadwerkelijke gebruikstest. Het doel van het gebruiksonderzoek is om een antwoord te krijgen op de vragen: *Hoe wordt de behandeling door de patiënt ervaren?*, *Hoe wordt de behandeling door het verplegend personeel ervaren?* en *Welke kenmerken van de PAM kunnen worden verbeterd?*

De interviews

De interviews zijn gehouden onder betrokkenen tijdens de experimenten die beschreven zijn in hoofdstuk 1.1. De geïnterviewde betrokkenen zijn de radioloog en twee laboranten die medewerking aan het experiment hebben verleend. Ook drie vrijwilligers vanuit BMTI zijn geïnterviewd. Zij hebben de PAM als eersten getest op comfort. Het is niet mogelijk om de patiënten uit de experimenten te ondervragen, omdat zij geheel anoniem hun medewerking aan het onderzoek hebben verleend. De onderwerpen die tijdens het interview aan bod komen zijn de ervaringen van de patiënt die van het verplegend personeel. In bijlage B zijn de vragen te vinden die tijdens het interview gesteld zijn. De verwachte uitkomst van deze interviews zijn genoemd in hoofdstuk 1.1: *mogelijke knelpunten tijdens de experimenten*.



FIGUUR 1.3.1 - PAM: Testopstelling van de gebruikstest

De gebruikstest

Tijdens de gebruikstest is aan drie vrouwen gevraagd om een scan van één van hun borsten te laten maken op de PAM (figuur 1.3.1). De scan is niet daadwerkelijk uitgevoerd met de laser, omdat dit geen extra toevoeging voor de test is, terwijl dit wel extra voorbereidingsmaatregelen zou vereisen. Het protocol dat gebruikt is voor experimenten met de PAM is wel zoveel mogelijk in acht genomen.

Het aantal van drie proefpersonen is te gering om een goede afspiegeling te vormen van de werkelijkheid, maar de gebruikstest kan wel een goede indicatie geven.

Een radiodiagnostisch laborante die ook bij de eerdere experimenten haar medewerking heeft verleend, heeft het proces begeleid.

De nadruk van de gebruikstest ligt op een drietal punten:

- Er wordt gezocht naar een lighouding waarbij het comfort van de patiënt zo hoog mogelijk is.
- Tegelijkertijd wordt de meest ideale houding gezocht waarbij de borst zo diep mogelijk door de tafel kan hangen. Dit is belangrijk om een zo groot mogelijk gedeelte van de borst te kunnen scannen.
- Ook is gekeken of de borst in een niet ingeklemde positie gevoelig is voor bewegingen van het lichaam. Bij het integreren van CT geometrie zal de borst hangen in een bak water wat beweging van de borst mogelijk maakt. Elke beweging is tijdens het scannen ongewenst.

Gedurende de test zijn observaties gedaan en achteraf is een aantal vragen aan de proefpersonen gesteld in de vorm van een enquête. Het protocol voor de gebruikstest en de enquête zijn te vinden in respectievelijk bijlage C en D.

Resultaten interviews

De interviews hebben plaatsgevonden op de werkplek van de geïnterviewden. Het bleek hierdoor, vooral in het ziekenhuis, nogal eens lastig om een rustig moment voor een interview te vinden. Soms werden interviews onderbroken. Sommige vragen bleken niet zinnig te zijn voor alle geïnterviewden: zo kon de radioloog geen vragen beantwoorden over de gevoelens van de patiënt of over de bediening van de PAM door het personeel. Dit komt omdat hij tijdens de experimenten alleen de verkregen beelden heeft beoordeeld en verder niets bij de

PAM heeft gedaan.

Ook de radiologisch laboranten konden weinig vragen beantwoorden over de ervaring die de patiënt beleefde tijdens de behandeling op de PAM, want zij hebben alleen een klein gedeelte van elke behandeling tijdens de experimenten meegewerkt.

De radiodiagnostisch laboranten

Uit het interview met een radiodiagnostisch laborante blijkt dat vooral de bediening van het apparaat erg onhandig is. De laborant wordt geacht om onder het bed te kruipen, en de detector kan maar in een richting verplaatst worden met het draaiwiel. Hierdoor moet de patiënt vaak gevraagd worden om naar links of rechts te gaan verliggen. Bij andere apparaten in het ziekenhuis gaan veel dingen automatisch en kost het weinig moeite voor de laborante om deze te bedienen.

Verder vindt deze laborante de behandeltime van het apparaat veel te lang voor de patiënt. Mensen hebben ook vaak een stijve nek na afloop.

Een andere laborant is van mening dat het erg onhandig is dat je de apparatuur onder het bed niet in drie richtingen kunt verplaatsen, maar in slechts één. De patiënt moet zich daarom zelf verplaatsen, wat lastiger is en langer duurt.

Over de uitstraling van het bed zijn de laboranten eensgezind. Beiden vinden dat het apparaat er wel erg primitief uit ziet. Ook is het lastig om de borst ver genoeg door het bed te kunnen laten hangen, omdat het matras te dik is. Zo kan het gedeelte van de borst dichtbij de borstkas niet worden gescand. Een toekomstige versie van de PAM moet volgens één van de laboranten op het stereotactisch biopsieapparaat lijken die in het ziekenhuis in Enschede staat (Medisch Spectrum Twente). In *hoofdstuk 1.4.7 stereotactisch biopsieapparaat* is meer over de werking en voordelen van deze behandelafel te lezen.

Als suggestie voor het herontwerp wordt eenzelfde afel als bij het stereotactisch biopsieapparaat voorgesteld, maar dan met een gat voor het hoofd van de patiënt, zoals dat ook te zien is bij massagetafels. Ook de uitschuifbare voetsteun van deze afel wordt als verbetering gesuggereerd.

Verder kunnen de laboranten weinig vertellen over de ervaring die de patiënt met de PAM heeft beleefd. Ze hebben telkens alleen de borst gepositioneerd. Daarna deden studenten metingen en gingen zijzelf verder met hun werk. Maar ze hebben in ieder geval geen echte klachten van patiënten over

de PAM gehoord. Er was zelfs een patiënt op de afel in slaap gevallen.

De BMTI medewerkers

Bij BMTI heeft een aantal vrouwelijke medewerkers deelgenomen aan een onderzoekje voorafgaand aan de experimenten met de PAM. Hierbij werd het apparaat getest op mechanische kwaliteiten en ook op patiëntvriendelijkheid. Naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoekje is het bed aangepast door een dikker matras aan te brengen voor meer comfort. Ook de metalen platen die de borsten inklemmen, zijn voorzien van een leren hoezen ter verhoging van het comfort. De PAM had dus tijdens de experimenten met echte patiënten een wat dikker matras en was bekleed met leer.

Het onderzoekje heeft plaats gevonden in 2003 en ligt niet meer vers in het geheugen van de medewerkers. Drie proefpersonen uit het onderzoek zijn kort ondervraagd over hun ervaringen. Uit de interviews blijkt dat alle drie de proefpersonen de meetapparatuur een sobere, zakelijke en simpele uitstraling vinden hebben. Ze vinden het apparaat er verder niet intimiderend uit zien door de vele (losse) onderdelen, maar dat kan komen, zoals zij zelf aangeven, doordat ze in hun werk veel met soortgelijke apparatuur te maken hebben en er daardoor niet voor terugschrikken. Het bed werd tamelijk hoog gevonden, waardoor erop stappen nogal moeilijk was. Ook kon men zich niet goed aan het bed vasthouden bij het erop stappen. De ondervraagden zelf hadden hier overigens geen moeite mee, maar zij dachten dat oudere vrouwen hier zeker problemen mee zouden ondervinden.

Daarnaast was het bed totaal niet comfortabel, en zeker niet geschikt om langer dan 20 minuten op te liggen, omdat het matras veel te dun was. Men kreeg er een stijve rug en/of nek van. Ook was de inklemming tussen de platen door de scherpe randen eraan niet prettig. Het zou kunnen zijn dat deze problemen niet meer van toepassing zijn op de huidige PAM, omdat deze een iets dikker matras heeft en de scherpe randen bekleed zijn met leer.

Opvallend was wel dat twee van de drie proefpersonen geen enkele moeite hadden met de compressie op de borst tijdens de inklemming, terwijl de derde persoon het erg onprettig vond. Ze vond de behandeling van het maken van een mammografie

(waarbij een vele malen hogere compressie wordt gebruikt) zelfs aangener, omdat de inklemming daar niet zo lang aanhield.

Resultaten gebruikstest

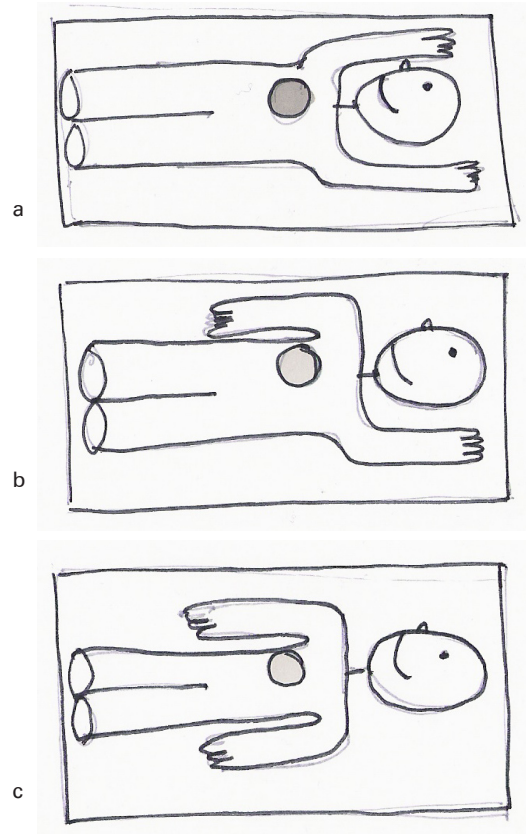
De drie proefpersonen die aan de gebruikstest hebben deelgenomen zijn vrouwen van 54, 56 en 58 jaar. De maat van hun borsten is respectievelijk cup 80C, 80G en 75D. De vrouwen die het meest behandeld zullen worden op de PAM zijn vrouwen boven de 50 jaar aangezien in deze leeftijdscategorie borstkanker het meest voorkomt. De drie proefpersonen passen dus goed binnen de doelgroep van de PAM.

Stap 1-4 (bijlage C)

Uit het eerste deel van de gebruikstest waarbij de eerdere experimenten met de PAM in vijf minuten zijn nagebootst, is een aantal zaken wat betreft gebruiksvriendelijkheid en discomfort van het ligoppervlak naar voren gekomen. De vrouw werd geacht om gedurende vijf minuten stil op de PAM te liggen in de houding die ook gekozen is bij eerdere experimenten op de PAM (figuur 1.3.2 a). De vrouw ligt daarbij op haar buik en heeft haar beide armen naar voren gestrekt. Tijdens de vijf minuten werd er niet daadwerkelijk gescand, maar werd de vrouw wel geacht om helemaal stil te liggen. Ook werd het geluid dat de laser maakt afgespeeld, om de proefopstelling van een paar jaar geleden na te bootsen. Daarom werd de borst ook mild ingeklemd tussen de glazen plaat en de detector.

Tijdens het positioneren van de borst zijn de laboranten die deze handeling uitvoerden geobserveerd. Het bleek moeilijk voor de laboranten om goed onder de tafel te kunnen werken, aangezien deze laag was. Ze moesten dus op hun hurken de borst van de proefpersonen positioneren. Ook het positioneren zelf was lastig, omdat alleen de detector in de richting van de borst kon worden ingesteld. Dit betekende dat de proefpersoon op aanwijzingen van de laborant in een juiste positie moest gaan liggen opdat een inklemming gerealiseerd kon worden waarbij de borst zowel goed contact maakte met de glazen plaat als met de detectormatrix.

Het vervelendste drukpunt, dat door alle drie de proefpersonen genoemd werd, is de bovenkant van de detector die op de rib aan de onderkant van de borst drukt (figuur 1.1.1, onderdeel b). Twee van de drie proefpersonen vonden het drukpunt zelfs heel erg pijnlijk. Verder werd door één proefpersoon veel spanning in de schouders en nek door de



FIGUUR 1.3.2- VERSCHILLENDE HOUDINGEN TIJDENS DE GEBRUIKSTEST: a) met twee armen omhoog, b) met een arm omhoog en een arm naar beneden, c) met twee armen naar beneden. De patiënte ligt in alle gevallen op haar buik.



FIGUUR 1.3.3- HOOFDKUSSEN (BOVEN) ZIJKUSSEN (ONDER)

onprettige manier van liggen genoemd (plat op de buik met twee armen omhoog, figuur 1.3.2 a). Deze proefpersoon heeft altijd al last van haar schouders, maar de spanning door het liggen op de tafel verergerde dit. De andere twee proefpersonen hadden hier geen problemen mee. Zij dachten ook niet dat dit problemen zou opleveren wanneer ze voor een langere tijd op het bed zouden moeten liggen.

Door één proefpersoon werden ook drukpunten op de ellebogen en op de kin waargenomen. Ze vermeldde daar echter bij dat deze zo gering waren dat ze over een periode van 30 minuten niet als vervelend zouden worden ervaren. Ook was er bij deze proefpersoon een vervelend drukpunt op de enkels. Dit werd veroorzaakt doordat de proefpersoon met haar voeten buiten het bed stak door haar lengte en haar enkels daardoor op de harde metalen rand van het bed lagen.

Over de milde compressie die op de borst kwam te staan, zeiden de proefpersonen alle drie dat deze niet vervelend aanvoelde, hooguit een beetje irriterend. Daarbij zouden ze zeker geen moeite hebben om dit voor een periode van 30 minuten te moeten ervaren.

De laatste minuut van de vijf minuten dat de proefpersonen gevraagd werd stil te liggen, is extra gelet op het maken van eventuele bewegingen door de proefpersonen. Deze zijn echter niet waargenomen. De proefpersonen zelf vertelden ook dat het stil liggen hen geen enkele moeite kostte.

Stap 5 (bijlage C)

In het tweede deel van de test was het de bedoeling de lengte van de borst van de onderkant van de tafel tot de tepel te meten in drie verschillende posities waarbij er geen compressie op de borst uitgeoefend werd. De lengtes zouden gemeten worden met een schuifmaat. Omdat echter bleek dat deze manier van meten te onnauwkeurig was, vanwege het feit dat de schuifmaat slecht onder de tafel kon worden geplaatst zonder daarbij de proefpersoon te bezeren, is ter plekke besloten om de verschillende houdingen achtereenvolgens uit te voeren, waarbij alleen werd gemeten of de borst dieper in de tafel kwam te liggen door de schuifmaat schuin onder het bed te plaatsen.

Bij de drie proefpersonen werden dezelfde resultaten gemeten. De borst lag het minst ver door de tafel wanneer beide armen boven het hoofd werden geplaatst (figuur 1.3.2 a). De borst lag het meest ver door de tafel wanneer een arm omhoog en een arm naar beneden werd geplaatst (figuur 1.3.2 b). Ongeveer

net zo ver door de tafel lag de borst bij de houding met twee armen naar beneden (figuur 1.3.2 c). Om een idee te geven van het verschil in afstand tussen de houding met twee armen omhoog (figuur 1.3.2 a) en de andere twee houdingen (figuur 1.3.2 b en c) is een grove schatting gedaan van iets minder dan een centimeter, bij alle drie de proefpersonen. Gedurende de rest van de gebruikstest is niet meer gemeten hoe ver de borst door de tafel hing, omdat het noodzaak was om de schuifmaat tussen de verschillende stappen van de gebruikstest onder de tafel weg te halen. Hierdoor was het vergelijken met de eerder gemeten maten niet meer mogelijk, omdat dit te onnauwkeurig zou zijn.

Stap 6 en 7 (bijlage C)

Bij stap 6 werd de proefpersoon gevraagd in de houding te gaan liggen waarbij de grootste lengte van de borst onder tafel werd gemeten. Bij alle drie de proefpersonen ging dit dus om de houding met een arm omhoog en een naar beneden. De proefpersoon moest drie minuten stilliggen en achteraf aangeven waarbij drukpunten werden gevoeld en of het liggen over een langere periode onprettig zou zijn. Alle drie de proefpersonen vonden de houding prettig liggen en zeker prettiger dan de houding met twee armen omhoog zoals in het eerste deel van de gebruikstest. Het drukpunt op de rib net onder de borst werd nog steeds gevoeld, maar in mindere mate doordat deze houding meer steun gaf. Ook nam de druk op de schouders en nek van de proefpersoon die hier eerder last van had af.

Vervolgens werd een hoofdkussen (figuur 1.3.3 boven) onder het hoofd van de proefpersonen geplaatst waarna weer werd gevraagd drie minuten in deze positie stil te liggen. Het kussen heeft een soort u-vorm, zodat de proefpersoon zelf kan kiezen of hij met zijn hoofd naar beneden wil liggen, of schuin opzij. Het bleek echter niet goed mogelijk te zijn om met het hoofd naar beneden te liggen, want het kussen was daar niet stevig genoeg voor. De proefpersonen gingen allemaal automatisch met het hoofd opzij op het kussen liggen.

Alle drie de proefpersonen vonden het hoofdkussen te hoog, waardoor ze dachten last van hun nek te krijgen wanneer ze voor een langere periode stil zouden moeten liggen. Uit de test kan niet gehaald worden of een lager kussen wel een gunstig effect zou kunnen hebben.

Als laatste werd een wigvormig kussen (figuur 1.3.3 onder) onder de kant van het lichaam geplaatst van de borst die

niet door het gat hing. Na weer drie minuten stil te hebben gelegen werd gevraagd naar de voordelen van het kussen. Twee proefpersonen vonden het kussen erg prettig liggen en veel steun geven. Eén proefpersoon vond het juist minder prettig liggen dan zonder kussen in de zij. Ook ontstond er een soort vervelende torsie in de onderrug doordat het bovenlichaam door het schuine kussen een stukje gekanteld werd. Ondanks het feit dat de lengte van de borst niet meer kon worden gemeten kon wel worden opgemerkt, door onder de tafel te kijken, dat de borst dieper door het gat hing, maar dat de mediale kant van de borst minder ver naar beneden hing en de laterale zijde juist meer.

Stap 8 (bijlage C)

In stap 8 van het protocol werden stap 6 en 7 herhaald, maar dan in de houding met twee armen naar beneden, omdat hierbij de op een na grootste lengte onder de tafel werd gemeten. Daarnaast is het voor patiënten met schouder- en/of rugklachten vaak lastig om een arm naar boven het hoofd te bewegen.

Drukpunten die zonder kussen genoemd zijn, zijn weer die op de rib vlak onder de borst en de schouders. Ook een gespannen gevoel in de nek werd wederom genoemd.

Met hoofdkussen ervoer men dezelfde drukpunten. Ook de nek bleef gespannen. De proefpersonen gaven weer aan dat ze het kussen te hoog vonden.

Bij het zijkussen werden weer dezelfde drukpunten genoemd, en ook dat er een drukpunt was op de schouder die niet op het schuine kussen lag. Wel vonden twee van de drie proefpersonen dat het schuine kussen steun gaf, waardoor ze beter stil

konden blijven liggen. De derde proefpersoon vond dit juist onprettiger liggen.

Stap 9 (bijlage C)

In het laatste onderdeel van de gebruikstest werd gekeken welke invloed bewegingen van het lichaam hebben op de borst. Hiervoor moest de proefpersoon in de houding waarbij de

grootste lengte werd gemeten gaan liggen, dus met één arm omhoog en één naar beneden, zonder dat de borst ingeklemd werd. Achtereenvolgens werd gevraagd om bepaalde bewegingen te maken (zie bijlage C, stap 9) waarbij onder het bed gekeken werd of de borst ook meebewoog.

De waarnemingen die gedaan zijn, zijn bij alle drie de proefpersonen hetzelfde, waarbij in een enkel geval een beweging van de borst iets verschilde in intensiteit. Dit kan veroorzaakt zijn door de hevigheid van de bewegingen.

Bij het bewegen van de hand en voet was geen enkele beweging van de borst waar te nemen. Bij het bewegen van de armen en benen werd wel duidelijk een beweging waargenomen.

Zo kwam de borst een even stukje omhoog en deze schudde daarna heen en weer. Hetzelfde gebeurde ook wanneer

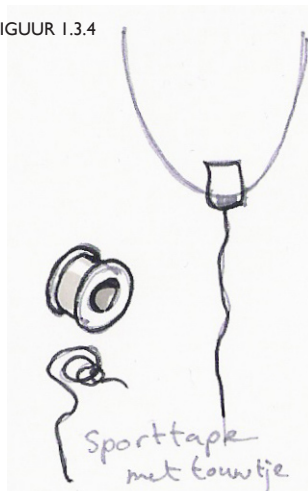
de proefpersonen wat gingen verliggen met hun lichaam, alleen dan nog iets heftiger. Wanneer de proefpersoon diep ademhaalde, schudde de borst ook een beetje heen en weer.

Als laatste onderdeel werd de proefpersoon gevraagd om een minuut lang stil te liggen, waarbij de bewegingen van de borst onder de tafel nauwkeurig werden geobserveerd.

Het blijkt dat de proefpersonen zodanig stil kunnen liggen dat de borst ook niet beweegt in die ene minuut. Natuurlijk blijft het wel de vraag of een patiënt dit ook een kwartier lang kan volhouden. Overigens was de mate waarin de borst kon bewegen opvallend. Bij de minste of geringste beweging van de proefpersoon schudde de borst heen en weer. Dit komt weer doordat de borsten van deze proefpersonen, drie vrouwen van 54, 56, en 58 jaar, minder stevig zijn dan die van jonge vrouwen. Dit komt doordat rond het begin van de menopauze het borstklierweefsel afneemt en verandert in vetweefsel. De menopauze treedt bij de meeste vrouwen rond de 50 jaar in. Borstkanker komt het meest voor bij vrouwen boven de 50 jaar. Er zal dus rekening moeten worden gehouden met het feit dat de grootste doelgroep van het apparaat vrouwen met minder stevige borsten zijn. Het nieuwe ontwerp zal hierop moeten in spelen.

Om te weten te komen of de bewegingen van de borst kunnen worden beperkt of vermeden is dezelfde stap 9 herhaald, met als toevoeging dat de borst met behulp van een touwtje tussen de tepel en onderkant van de tafel met een stukje tape werd vast gehouden (figuur 1.3.4). De proefpersonen werd gevraagd om eerder genoemde bewegingen nogmaals te maken. Bij het bewegen van de hand en voet bewoog de borst ook nu niet

FIGUUR 1.3.4



mee. Bij het bewegen van de armen en benen bewoog de borst ook weer mee, maar schudde minder heen en weer. Door het touwtje bleef de borst beter op zijn plek. Ook bij het verliggen van het lichaam bewoog de borst wel mee, maar ook minder hevig dan zonder touwtje. Hetzelfde gebeurde bij het diep ademen.

Ook nu werd de proefpersonen gevraagd een minuut lang stil te liggen. Wederom was er geen beweging in de borst waar te nemen.

In het herontwerp van de PAM zal de borst in een bak met water hangen. Het gedrag van de borst in water is uiteraard anders dan in lucht. De verwachting is wel dat water de borst iets meer stabiliteit geeft dan lucht.

De enquête

Aan het einde van de gebruikstest is de proefpersonen gevraagd een enquête in te vullen (bijlage D). De drie proefpersonen benoemen de uitstraling van de PAM als zakelijk en een persoon gebruikte de term saai. Op de vraag of de proefpersonen moeite hadden met het plaatsnemen op het bed antwoordden ze allen ontkennend, maar ze dachten dat dit voor oudere vrouwen of fysiek minder handige personen wel een probleem zou kunnen vormen.

Over het gaan liggen op het bed in de juiste houding in het eerste gedeelte van de gebruikstest zijn de meningen onder de drie proefpersonen verdeeld. Twee proefpersonen hebben geen problemen gehad tijdens het plaatsnemen op het bed. Dit bleek hooguit wat lastig. De andere proefpersoon vond de druk op haar rib vlak onder de borst erg pijnlijk, waardoor alleen het liggen op het bed al als vervelend werd ervaren.

De proefpersonen gaven, in meer of mindere mate, aan dat het inklemmen van de borst zelf niet plezierig was. Twee proefpersonen noemen in dit verband de vervelende druk onder de borst op de rib. De derde proefpersoon noemde dit vervelende drukpunt niet, maar gaf aan dat zij gespannen was, omdat ze niet wist wat er ging gebeuren met haar borst onder het bed.

Uit de gebruikstest zelf blijkt dat de houding met een arm omhoog en een arm naar beneden een de meest comfortabele houding is voor de proefpersonen. De antwoorden in de enquête bevestigen dit. Van de drie ingenomen houdingen vonden de drie proefpersonen deze houding het prettigst. Twee proefpersonen vonden de houding met beide armen

omlaag het minst prettig, omdat ze hierdoor pijn in hun nek kregen en er veel druk op het hoofd en schouders kwam te staan. Ook het vervelende drukpunt op de rib vlak onder de borst ging meer pijn doen. De andere proefpersoon vond de houding met beide armen omhoog het minst prettig omdat ze hierdoor pijnlijke armen en schouders kreeg. Bovendien kon zij deze houding niet lang vol houden.

Over de verschillende kussens waren de meningen onder de proefpersonen verdeeld. Een proefpersoon vond alle kussens vervelend en wilde liever geen kussens. De andere twee proefpersonen vonden het schuine kussen juist prettig, omdat hen dit steun gaf bij het liggen. Het hoofdkussen ervoeren sommigen als vervelend. Geen beschouwde het als een verbetering.

Geconcludeerd kan worden dat het gebruik van het hoofdkussen geen positieve bijdrage levert aan het comfort. Proefpersonen krijgen er pijnlijke schouders en een pijnlijke nek van. Een lager kussen kan mogelijk een beter effect sorteren, maar het is ook mogelijk dat een hoofdkussen de lengte van de borst door de tafel negatief beïnvloedt. In deze gebruikstest was dit helaas niet goed meetbaar, maar toch lijkt de borst door het hoofdkussen een stukje omhoog te komen. Daarom is het niet aan te raden om in het herontwerp van de PAM een verhoging voor het hoofd aan te brengen.

Over het schuine kussen kan geconcludeerd worden dat het een positieve toevoeging kan zijn voor het comfort van de patiënt. Dit kussen geeft meer steun aan het lichaam. Een proefpersoon echter vond het schuine kussen juist niet prettig. Dit kwam omdat haar schouder niet lekker op het kussen lag en haar borsten zo groot waren dat de borst op het kussen in de weg lag. Het schuine kussen lijkt ook een voordeel te zijn voor de afmeting waarmee de borst door het bed kan liggen. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de mediale kant van de borst juist omhoog komt. Dit is een ongewenste situatie wanneer de PAM wordt gebruikt bij vrouwen bij wie van tevoren bekend is dat de tumor zich aan de mediale zijde tegen de borstkas aan bevindt.

Een radiodiagnostisch laborant die meehielp tijdens de gebruikstest vertelde dat wanneer dit het geval is bij een patiënt die een behandeling op een stereotactisch biopsieapparaat (hoofdstuk 1.4.7) moet ondergaan, de patiënt met beide armen naar beneden wordt gepositioneerd zodat de borst mediaal iets dieper komt te liggen. Het is daarom

een goed idee om in een nieuw ontwerp van de PAM de mogelijkheid te creëren verschillende houdingen aan te nemen.

Aan het eind van deze resultaten moet wel vermeld worden dat de proefpersonen telkens zelf mochten kiezen welke borst ze door het gat wilden laten hangen. Dit kan enige invloed hebben gehad op de resultaten betreffende het comfort dat de proefpersonen ondervonden. Mensen geven er namelijk de voorkeur aan om op een bepaalde zijde van het hoofd te liggen. Als de proefpersonen hun minst favoriete zijde hadden moeten kiezen, dan was hun perceptie van comfort misschien weer anders geweest. Toch geven de gemeten resultaten wel een goede indruk.

Conclusie

Uit het gebruiksonderzoek (de interviews en de gebruikstest) zijn verschillende conclusies te trekken:

- Voor het verplegend personeel is het vervelend dat de apparatuur onder het bed van de PAM maar in één richting instelbaar is en dat men onder het bed moet kruipen om goed bij deze apparatuur te kunnen komen.
- Voor de patiënt blijkt dat de uitstraling van het bed te wensen over laat. Het blijkt dat de uitstraling als primitief, saai, zakelijk en sober wordt benoemd.
- Het opstappen op het bed werd in het gehele gebruiksonderzoek als lastig ervaren. Dit komt omdat het bed te hoog is en er geen grip was op het bed zelf. De deelnemers uit de interviews en in de gebruikstest hadden geen echte moeite om op het bed te klimmen, maar ze dachten wel dat dit moeilijkheden met zich mee zou brengen voor oudere of fysiek minder handige vrouwen.
- De behandeltijd van drie kwartier op de huidige PAM wordt veel te lang bevonden. Uit het gebruiksonderzoek blijkt dat een behandeltijd van 20-30 minuten als een maximum gezien wordt om nog comfortabel op het bed te kunnen liggen.
- Het inklemmen van de borst wordt als niet prettig ervaren. Uit de gebruikstest blijkt dat dit vooral komt door een vervelend drukpunt op de rib vlak onder de borst. Uit

de interviews met betrokkenen tijdens de experimenten is dit niet te halen, maar dit vormt wel een aannemelijke reden. De compressie op de borst zelf wordt niet als zo vervelend beschouwd, hooguit een beetje irriterend.

- De afstand die de borst door het bed hangt tijdens een behandeling op de PAM is niet ideaal. Dit komt doordat het bed te dik is waardoor het gedeelte van de borst tegen de borstkas niet volledig gescand kan worden. Uit de gebruikstest blijkt dat het beste is om de houding met één arm omhoog en één arm naar beneden aan te nemen, omdat de borst zo wat dieper door het gat komt te hangen. Ook geeft dit meer steun en dus comfort voor de patiënt die op de tafel ligt dan wanneer zij met twee armen omhoog zou liggen. Wel moet rekening gehouden worden met het feit dat de mediale kant van de borst juist iets meer omhoog komt.
- Toevoegingen in de vorm van kussens kunnen voordelig of nadelig zijn voor het comfort van de patiënt. De meningen zijn hierover verdeeld. Wel lijkt het erop dat een hoofdkussen zorgt voor extra klachten in de nek en schouders en dat een zijkussen juist extra steun geeft aan deze gespannen lichaamsdelen. Ook kan het zijkussen een voordeel zijn voor de diepte die de borst door het gat kan hangen.

Suggesties voor het herontwerp van de PAM zijn een tafel zoals ook bekend is van de stereotactische biopsietafel (hoofdstuk 1.4.7). Een ander idee is om de mogelijkheid te creëren het bed aan de zijanten een stukje omhoog te kunnen kantelen om een zijsteun voor het lichaam te kunnen bieden. Het is wel belangrijk dat de optie wordt open gehouden om in meerdere houdingen op het bed te kunnen liggen, zodat zowel de mediale als laterale kant van de borst dieper in de tafel kunnen liggen, afhankelijk van welke zijde het meest gewenst is om te scannen. Verder lijkt het handig om een gat in de tafel te maken, zodat patiënten hun hoofd op kunnen leggen, zoals ook te zien is bij massagetafels. Op deze manier zit de kin niet in de weg als men het hoofd recht naar voren wil neerleggen.

1.4 Analyse soortgelijke apparaten

De analyse van soortgelijke apparaten heeft tot doel om informatie te verkrijgen die nuttig kan zijn voor het herontwerpen van de PAM. Bij deze analyse kan een onderscheid gemaakt worden tussen a. nieuwe borstkanker detectieapparaten, zoals PAM en b. conventionele borstkanker detectieapparaten. Alle geanalyseerde apparaten maken, net als de PAM, gebruik van *in-vivo* beeldtechnieken, het stereotactisch biopsieapparaat uitgezonderd.

De analyse van de nieuwe borstkanker detectieapparaten zal gebeuren aan de hand van een literatuuronderzoek en door een bezoek te brengen aan Philips Research (Eindhoven) waar hun Optical Mammoscope bekeken kon worden. De conventionele borstkanker detectieapparaten worden geanalyseerd door de apparatuur in de mammapolikliniek in Oldenzaal (MST) ter plaatse te onderzoeken.

Per apparaat zal een beknopte beschrijving van de werking gegeven worden, gevolgd door verschillen met de PAM.

Vervolgens zal geprobeerd worden aan te geven welke verbeteringen in de PAM op basis van deze analyse kunnen worden aangebracht.

Nieuwe borstkanker detectie apparaten:

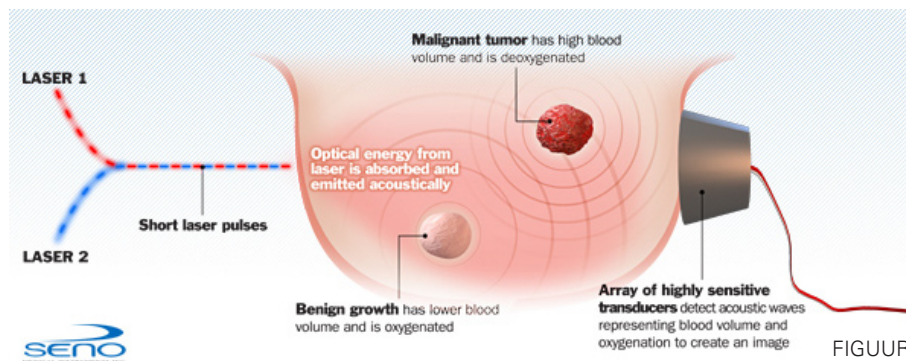
1.4.1 *Optoacoustic imaging system - Senomedical systems*

Senomedical systems heeft een apparaat ontwikkeld dat net als de PAM werkt met behulp van photoacoustic imaging (Seno Medical Instruments Inc., 2006-2008). Senomedical systems spreekt van optoacoustic imaging, maar dat is alleen een andere term voor dezelfde techniek (figuur 1.4.1). Het doel van het optoacoustic imaging system is om afbeeldingen van de borst te genereren waarop ook bloedvaten te zien zijn om zo uitspraken te kunnen doen over de mate van kwaadaardigheid van een tumor.

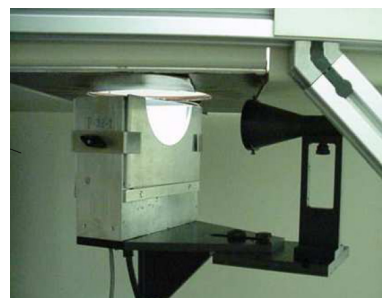
Versillen met de PAM

Als naar de testopstelling van het optoacoustic imaging system gekeken wordt (figuur 1.4.2), valt op dat deze erg op de PAM lijkt. Een verschil is echter dat het ligoppervlak veel hoger is dan bij de PAM.

Senomedical systems heeft ook een apparaat gemaakt waarmee de technologie op kleine dieren getest kan worden (figuur 1.4.3). Alle meetapparatuur is netjes weggewerkt in een kast



FIGUUR 1.4.1 - Schematisch figuur optoacoustic imaging van Senomedical Systems



FIGUUR 1.4.2 - Testopstelling van het optoacoustic imaging system (Senomedical Systems)

en het apparaat is qua uiterlijk vergelijkbaar met conventionele ziekenhuis apparatuur.

Voor- en nadelen

Een voordeel van een hoger ligoppervlak is dat het verplegend personeel de borst op de juiste plek kan positioneren zonder te hoeven bukken. Maar tegelijkertijd lijkt het bed op het plaatje wel zo hoog dat het gevaarlijk kan zijn als iemand er vanaf valt. Doordat alle meetapparatuur netjes is weggewerkt (figuur 1.4.3) achter een kast krijgt het apparaat een veel vriendelijker uitstraling. Dit kan helpen patiënten zich wat meer op hun gemak te laten voelen.

1.4.2 Thermoacoustic Computed Tomography - Optosonics

Optosonics heeft een Thermoacoustic Computed Tomography (TCT) borstscan ontwikkeld (Kruger et al., 2002). Er worden, nadat radiogolven door de borst zijn gestuurd thermoacoustische signalen gemeten. De golven worden vanuit verschillende hoeken naar de borst gezonden waardoor er sprake is van Computed Tomography. De golven worden opgevangen door detectoren die in een halve bol om de borst heen zijn verdeeld (figuur 1.4.4).

Verschillen met de PAM

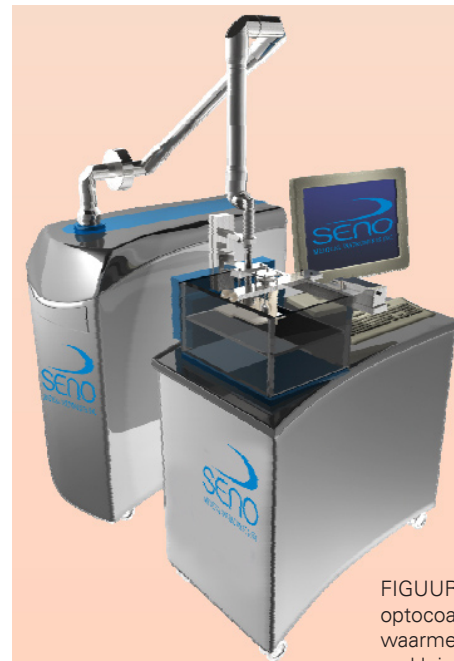
De waveguides die golven door de borst sturen bevinden zich om de borst heen. Bij PAM gebeurt dit tot nu toe alleen vanuit een vlak. In plaats van een coupling gel wordt water als contact tussen de borst en de detectoren gebruikt.

Voor- en nadelen

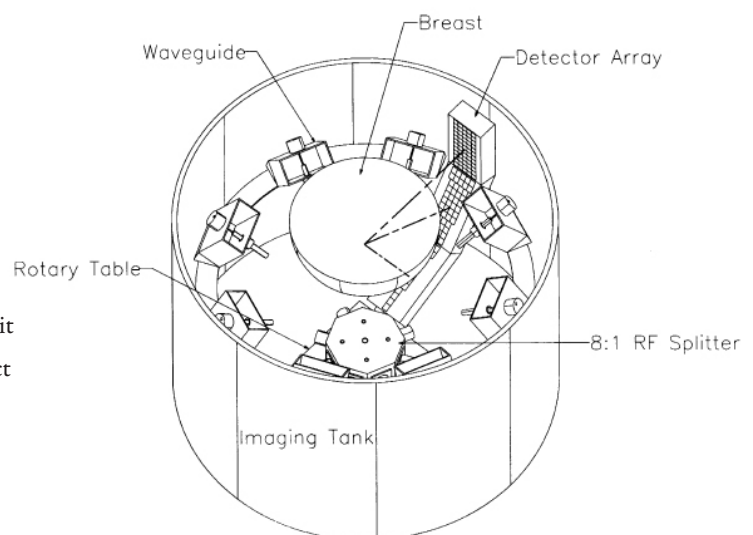
Een voordeel is dat er geen druk op de borst hoeft te worden uitgeoefend, waardoor de patiënt zich comfortabeler voelt.

Een voordeel van het gebruiken van water in plaats van coupling gel als medium is dat water verschillende temperaturen kan aannemen, terwijl de coupling gel altijd erg koud aanvoelt wanneer deze wordt aangebracht. Ook dit is dus gunstig voor het comfort van de patiënt.

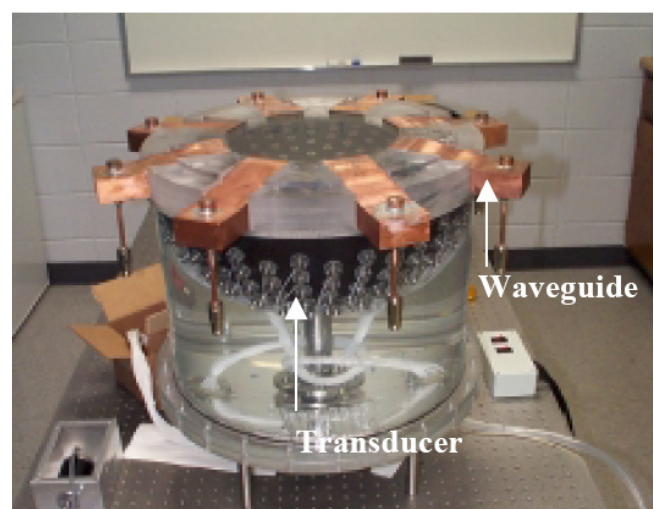
Verder is het gebruik van Computed Tomography een voordeel, omdat er uit verschillende hoeken metingen worden gedaan, waardoor een nauwkeuriger 3d beeld kan worden gevormd met een hogere resolutie. Er zijn, zoals al eerder vermeld, plannen om ook in de PAM CT geometrie toe te passen.



FIGUUR 1.4.3 - Versie van het optoacoustic imaging system waarmee testen gedaan worden op kleine dieren zoals muizen. (Senomedical Systems)



FIGUUR 1.4.4 - Schematische versie (boven) en model (onder) van de Thermoacoustic Computed Tomography (TCT) borstscan (Optosonics)



1.4.3 Ultrasound CT - Techniscan medical systems

De Ultrasound CT is het apparaat welke *Techniscan Medical Systems* (2005) aan het ontwikkelen is. De Ultrasound CT is zoals het woord al zegt een combinatie van ultrageluid en CT. De technologie lijkt op die van echografie, maar de Ultrasound CT meet de doorlating van geluid terwijl bij echografie de weerkaatsing van geluid wordt gemeten. De ultrasound CT kan twee soorten beelden reproduceren: een die gebaseerd is op de snelheid van geluid en een die gebaseerd is op de demping van geluid.

Tijdens het scannen draait een as met aan één kant de ultrageluidbron en aan de andere kant de ultrageluiddetector om de borst heen (figuur 1.4.5). Op deze manier hoeft de borst niet ingeklemd te worden. Figuur 1.4.5 toont screenshots van een filmpje. In de bronnenlijst is de website te vinden waar dit filmpje is te zien.

Verschillen met de PAM

Computed Tomography is geen onderdeel van de huidige PAM en is wel van toepassing in de Ultrasound CT.

Verder kunnen zowel het bed als de CT apparatuur in hoogte worden versteld, en is alle meetapparatuur weggewerkt in een kast.

In de glazen bak is een buisje zichtbaar dat tegen de tepel aankomt. Het is niet duidelijk uit het plaatje waar dit voor dient. Aannemelijk is wel dat het hier om een soort zuigmechaniekje gaat dat de borst op zijn plaats kan houden.

Voor- en nadelen

CT zou een voordeel zijn voor PAM, ten eerste omdat er op deze wijze beeldmateriaal verkregen wordt en ten tweede omdat de borst niet hoeft te worden ingeklemd. Dit laatste

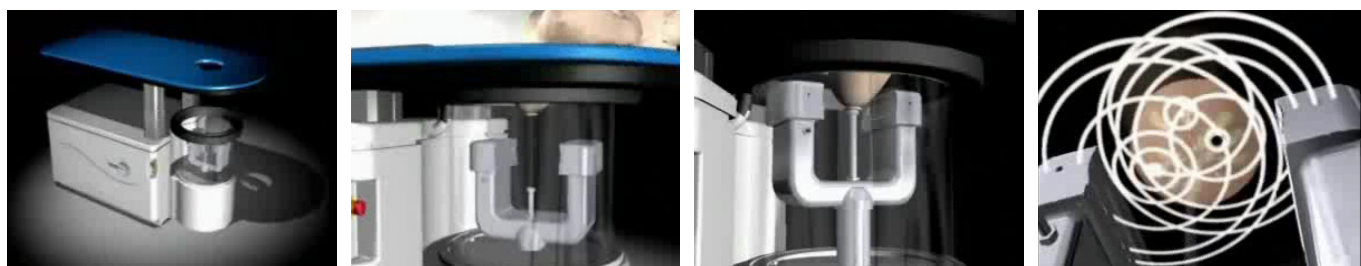


FIGUUR 1.4.6 - Model van optical mammography van Philips Healthcare

betekent ook dat er geen specifieke kennis nodig is om de borst op de juiste manier te positioneren wat de behandeling eenvoudiger maakt voor de verpleegkundigen of laboranten. Bovendien wordt er een beeld van de gehele borst verkregen in plaats van alleen van een bepaalde regio. Een nadeel van CT kan zijn dat een ingewikkelder techniek nodig is, omdat de meetapparatuur gedraaid moet worden.

Het wegwerken van meetapparatuur in een kast geeft het apparaat een plezieriger uitstraling, wat de gemoedsrust van de patiënt mogelijk ten goede komt.

Omdat de borst vrij in het water hangt, kan het verstandig zijn om deze enigszins vast te houden om bewegingen ervan te beperken. Door CT in de PAM zal de borst ook vrij in het water hangen. Een dergelijke oplossing als een buisje dat zich aan de tepel vastzuigt lijkt daarom geen slecht idee.



FIGUUR 1.4.5 - Model van de Ultrasound CT (Techniscan Medical Systems)

1.4.6 Philips Healthcare - Optical mammography

De werking van optical mammography lijkt erg op photoacoustic imaging (Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004-2008). Licht van een laser wordt door de borst gestuurd en wordt geabsorbeerd door een *contrast agent* vloeistof die zich ophoopt bij kankercellen. Het licht dat uitgezonden wordt door deze *contrast agent* wordt gemeten door lichtgevoelige detectors om de borst heen. Deze data kunnen worden omgezet in een 3d beeld van de borst. Dit is anders dan photoacoustic imaging, omdat daarbij niet het licht dat wordt uitgezonden wordt gemeten, maar de drukgolven die ontstaan door de absorptie van licht.

Philips Healthcare is nu bezig met experimenten op de optical mammograph in verschillende Nederlandse ziekenhuizen.

Versillen met de PAM

In figuur 1.4.6 is een 3d render van het apparaat van Philips te zien. Anders dan bij de PAM is alle apparatuur weggewerkt in een kast. Deze kast heeft veel ronde vormen. Het ligoppervlak van het apparaat is veel groter en heeft een andere vorm. Ook is het matras veel dikker dan bij de PAM en kan het middelste gedeelte eruit gehaald worden om schoongemaakt te kunnen worden.

De energie die vrijkomt bij het gebruiken van alle apparatuur in de kast, wordt gebruikt om het bed te verwarmen, waardoor deze nog comfortabeler is voor de patiënt.

Naast het bed staat een trapje om op het bed te kunnen stappen. Aan het bed bevinden zich twee displays, die gebruikt kunnen worden om vloeistof in en uit de cup te laten stromen. De vloeistof is geen water, maar Intralipid. Een vloeistof met gunstige eigenschappen voor optische mammografie. De vloeistof wordt verwarmd en wordt met behulp van een rollerpomp naar de cup gepompt.

Op de rand van de cup ligt een ring van schuim dat zorgt voor een verlichting van de druk rondom de borst. Ook zorg deze ervoor dat de borst en de cup zo op elkaar aansluiten dat er geen lucht in de cup kan komen tijdens de metingen. Verder zijn er vijf verschillende cups die in het bed worden geplaatst voor verschillende groottes borsten.

Philips heeft zelf onderzoek gedaan naar de meest ideale houding van de patiënt op het bed. Dit blijkt te zijn met een arm omhoog en een arm naar beneden, met daarbij een knie opgetrokken (zie figuur 1.4.6). Op deze manier ligt de patiënt

goed stabiel en is de cup het beste aangesloten op de borst. Als er lucht bij de cup komt, is dit namelijk nadelig voor metingen bij optische mammografie.

Voor- en nadelen

Het wegwerken van apparatuur in een kast geeft het apparaat een meer vriendelijke en betrouwbare uitstraling. De afgeronde vormen van het apparaat dragen ook bij aan een vriendelijker uitstraling. Ook het grote ligoppervlak geeft misschien een wat meer veilig gevoel aan de patiënt.

De dikte van het matras en het verwarmen ervan geeft meer comfort aan de patiënt. Het trapje maakt het makkelijk voor de patiënt om op het bed te stappen.

Conventionele borstkanker detectie apparaten:

1.4.5 Mammograaf

De mammograaf is het meest gebruikte apparaat bij het detecteren van borstkanker. Ook voor screening (tweejaarlijkse oproep tot bevolkingsonderzoek voor vrouwen boven de 50) wordt dit apparaat gebruikt (figuur 1.4.6).

De borst wordt geklemd tussen twee platen om een goede röntgenfoto te kunnen maken. Dicht weefsel zoals borstklierweefsel is wit op het mammogram. Als weefsel niet compact is, zoals vetweefsel, is dat op het mammogram als grijs te zien. Bij het maken van een mammogram komt straling vrij die schadelijk is voor de mens. De dosis is tegenwoordig echter zo klein dat de gezondheid van de patiënt hierdoor niet in gevaar komt.

In het ziekenhuis in Oldenzaal is sinds 2005 een digitale mammograaf beschikbaar (figuur 1.4.7). Foto's die gemaakt zijn, worden direct naar de kamer van de radioloog gestuurd om te beoordelen welke behandelstappen verder moeten



FIGUUR 1.4.6 - Oude mammograaf uit het ziekenhuis in Oldenzaal waarop een patiënte klaargemaakt wordt voor de foto (MST, 2004).



FIGUUR 1.4.7 - Boven: beeldscherm waarop foto's te zien zijn die zojuist op de digitale mammograaf zijn gemaakt. Onder: de digitale mammograaf in het ziekenhuis in Oldenzaal (MST 2008).



worden ondernomen. Er worden per patiënt standaard twee foto's per borst gemaakt: een van boven en een van schuin opzij.

Verschillen met de PAM

Bij de PAM wordt de borst ook ingeklemd, maar niet met zo'n sterke kracht.

De patiënt staat (of zit in een rolstoel) tijdens het maken van de foto. Bij de PAM moet de patiënt juist liggen. Ook is het mogelijk om het apparaat in hoogte en positie te verstellen.

Voor- en nadelen

Een nadeel is dat het inklemmen voor de patiënt allerm minst prettig is te noemen.

Een voordeel van de staande houding is dat er alleen contact tussen de patiënt en de machine is bij de borst. Bij de PAM ligt de patiënt met haar hele lichaam op het ligvlak. Dit is uit het oogpunt van hygiëne een nadeel. Bovendien bespaart het tijd wanneer de patiënt blijft staan. Daartegenover staat dat een liggende houding stabiel is. Onverwachte bewegingen kunnen zo beter voorkomen worden. Ook is door BMTI van te voren vastgesteld dat het contactoppervlak tussen het apparaat en de patiënt een ligbed moet zijn.

1.4.6 Echoapparaat

Het echoapparaat is in staat om met behulp van hoogfrequente geluidsgolven een beeld te creëren. De golven weerkaatsen op grenzen tussen weefsels met verschillende akoestische eigenschappen. In het ziekenhuis in Oldenzaal wordt een patiënt na het maken van een mammogram waarop verdacht weefsel te zien is, doorverwezen voor een echografie. De echografie wordt uitgevoerd door een radioloog. De patiënt ligt op de rug op een bed en de radioloog zit er naast. Met behulp van een scanner met coupling gel beweegt de radioloog over de borst (figuur 1.4.8). Op het beeldscherm is direct een beeld te zien van de inwendige borst. De radioloog kan aan de hand van dit beeld en aan de hand van het al eerder gemaakte mammogram inschatten of het nodig is om een biopsie uit te voeren. Deze biopsie kan direct op het bed worden uitgevoerd, want het is maar een kleine ingreep.

Verschillen met de PAM

Qua uiterlijk verschilt het echoapparaat enorm van de PAM. De enige overeenkomst is dat de patiënt ook op een bed ligt, maar in plaats van op de buik op de rug. Het is dan ook niet waarschijnlijk dat er informatie uit het echoapparaat te halen



FIGUUR 1.4.8 - Boven: Echogram. Onder: behandeling met het echoapparaat (MST, 2004).

is die toepasbaar is op de PAM. Toch was het niet zinloos dit echoapparaat van dichtbij te bestuderen: het heeft een goede indruk opgeleverd van de omgeving waarin de nieuwe PAM zal komen te functioneren.

1.4.7 Stereotactisch biopsieapparaat

Als een biopsie moet worden genomen uit de borst kan er voor gekozen worden om dit met behulp van een stereotactisch biopsieapparaat te doen (figuur 1.4.9 en 1.4.10). Meestal



FIGUUR 1.4.9 - Links: het stereotactisch biopsieapparaat. Rechts : gat in het bed voor de borst met gelkussens (MST, 2008).

gebeurt dit wanneer er alleen op het mammogram een onregelmatigheid te vinden is en niet bij de echo. De patiënte ligt met haar buik op het bed van het apparaat. De betreffende borst hangt door een gat naar beneden en wordt ingeklemd op dezelfde manier als bij een mammografie. Het apparaat maakt uit een aantal verschillende hoeken een röntgenfoto om de knobbel te detecteren. De computer rekent uit waar het biopt genomen moet worden. Het apparaat kan zelf door middel van x-, y- en z- coördinaten bepalen hoe het apparaat ten opzichte van de borst moet worden gepositioneerd. Een verpleegkundige begeleidt dit proces. Als alles juist is ingesteld komt de dokter om het apparaat de opdracht te geven de biopsienaald in de borst te schieten. De naald wordt een aantal keer in de borst geschoten totdat er genoeg stukjes weefsels verzameld zijn.

Verschillen met de PAM

Het bed is in hoogte verstelbaar in tegenstelling tot dat van de PAM. Wanneer de patiënt op het bed gaat liggen staat het bed

op zijn laagste stand en wanneer de verpleegkundige de borst gaat positioneren wordt het bed op de hoogste stand gezet. De borst bevindt zich nu op ooghoogte van de verpleegkundige, wanneer deze op een kruk zit.

Alle meetapparatuur onder het bed is in alle richtingen te verplaatsen. Bij de PAM is dit slechts in een richting mogelijk. Bij de PAM wordt de patiënt wel eens gevraagd zich meer naar links of rechts te verplaatsen, terwijl bij de stereotactische biopsietafel de verpleegkundige de apparatuur op elke gewenste manier om de borst kan bewegen.

Het bed van de biopsietafel verschilt van dat van de PAM. Het borstgat bevindt zich in het midden van de tafel, waardoor de patiënt zowel met het hoofd naar links als naar rechts op de tafel kan gaan liggen en de borst van alle kanten benaderbaar is.

Rondom het gat is het bed dunner dan aan de uiterste zijden. Dit is gedaan omdat de borst verder door het gat kan hangen wanneer het bed dunner is. En dat is belangrijk bijvoorbeeld wanneer een knobbel zich dicht tegen de borstkast bevindt. De meetapparatuur bevindt zich om diezelfde reden direct onder het gat. Om toch enig comfort voor de patiënt te kunnen realiseren liggen er om het gat gelkussens, die dun maar toch zacht zijn (figuur 1.4.9 rechts).

Verder is het bed veel strakker afgewerkt dan dat van de PAM en bevindt alle meetapparatuur onder het bed zich in kasten in plaats van achter een gordijn.

Voor- en nadelen

Het in hoogte verstelbaar zijn van het bed zou een grote verbetering vormen voor de PAM. Dit maakt het niet alleen voor de patiënt makkelijker om op het bed te gaan liggen, maar hierdoor hoeft de verpleegkundige ook geen moeite te doen om onder het bed bij de borst te komen.

Ook het kunnen verplaatsen van de meetapparatuur in alle richtingen lijkt een verbetering voor de PAM, omdat de verpleegkundige dan gewoon haar werk kan doen zonder dat de patiënt voor haar hoeft te gaan verliggen. Dit kan onder meer tijd schelen. Het is alleen wel de vraag of het positioneren van de borst in de nieuwe PAM met CT geometrie nog wel nodig is. De borst hangt waarschijnlijk in een cup met water, waardoor deze niet verder gepositioneerd hoeft te worden. Als het bed van de PAM zo gemaakt zou worden dat de patiënt zowel met het hoofd naar links als naar rechts kan gaan liggen, kan dat een voordeel zijn omdat de borst dan van alle kanten voor de verpleegkundige benaderbaar is. Hoe de patiënt het best kan gaan liggen is dan afhankelijk van waar de knobbel zich bevindt. Maar ook hierbij geldt dat wanneer CT geometrie in de nieuwe PAM wordt geïntegreerd deze ontwerp oplossing wellicht niet nodig is. Bij CT wordt namelijk een beeld gevormd van de gehele borst en hoeft de

borst dus niet gepositioneerd te worden.

Uit experimenten met de PAM blijkt dat de borst nogal eens niet ver genoeg door het gat kan worden gehangen. Daarom zou het goed zijn om, net als bij de stereotactische biopsietafel, een rond het borstgat zo dun mogelijk bed te creëren. Als laatste komt het uiteraard de uitstraling van de PAM ten goede wanneer het bed van de PAM strakker is afgewerkt en wanneer alle meetapparatuur zich in een kast bevindt.

Conclusie

De verschillende geanalyseerde borstkanker detectieapparaten zijn allemaal anders van uiterlijk en/of werking dan de PAM. Belangrijk zijn die verschillen die voor de PAM een verbetering kunnen opleveren:

- Het kan voordelig zijn om het ligbed in hoogte te kunnen verstellen voor het gebruiksgemak van het personeel en voor het comfort van de patiënt. De patiënt kan makkelijker op het bed komen en de verpleegkundige kan gemakkelijker onder het bed komen of kijken (Senomedical systems - optoacoustic imaging system, Techniscan medical systems - Ultrasound CT, Philips optical mammoscope, stereotactisch biopsieapparaat).



FIGUUR 1.4.10 - Het stereodactisch biopsieapparaat van Hologic in gebruik.

- Om het opstappen voor de patiënt gemakkelijker te maken kan ook een trapje naast het apparaat worden gebruikt (Philips optical mammoscope).
 - Het verwarmen van het bed, met behulp van energie die vrijkomt door het gebruik van de technische apparatuur in het bed, geeft meer comfort aan de patiënt (Philips optical mammoscope).
 - Het netjes wegwerken van apparatuur kan zorgen voor een meer vriendelijke en betrouwbare uitstraling van het apparaat (Senomedical systems - optoacoustic imaging system, Techniscan medical systems - Ultrasound CT, Philips optical mammoscope, stereotactisch biopsieapparaat, mammograaf).
 - Het gebruik van een CT geometrie heeft voordelen voor de kwaliteit van de beelden. De borst hoeft niet meer worden ingeklemd en ook is er geen koude coupling gel nodig, wat het comfort voor de patiënt verbetert. Ook wordt door het gebruik van CT het gereedmaken voor het scannen voor verpleegkundigen eenvoudiger (Optosonics - Thermoacoustic Computed Tomography, Techniscan medical systems - Ultrasound CT).
 - Het verplaatsen van meetapparatuur in drie richtingen (stereotactisch biopsieapparaat) is goed voor de gebruiksvriendelijkheid voor het verplegend personeel van het te ontwerpen apparaat.
 - Door het bed rond het gat voor de borst extra dun te maken, kan de borst zo ver mogelijk naar beneden hangen, maar is het toch comfortabel voor de patiënt doordat elders dikkere kussens gebruikt zijn (Philips optical mammoscope, stereotactische biopsietafel). Voor het herontwerp van de PAM is dit een verbetering. Een comfortabel ligoppervlak zorgt tevens voor het tegengaan van bewegingen van de patiënt, waardoor de borst zou kunnen gaan bewegen.
 - Door het ligoppervlak geschikt te maken om met zowel het hoofd naar links als naar rechts te kunnen liggen (stereotactisch biopsieapparaat), is de borst van elke zijde goed benaderbaar.
- De resultaten van deze analyse zijn nogmaals opgesomd in een tabel (tabel 1.4.11).

<i>Vershil met de PAM voor de patiënt</i>	<i>gevolg</i>
Wegwerken apparatuur in kast	vriendelijker, betrouwbaarder
Comfortabeler bed	patiëntvriendelijker en minder kans op bewegingen van de borst
Matras dun rondom borst gat	groter gedeelte van de borst kan worden gescand
CT geometrie	geen gevoeligheid of pijn, betere beeldkwaliteiten
Bed in hoogte verstelbaar	makkelijker op bed komen
Trapje naast bed	makkelijker op bed komen
Bed verwarmen	comfort verhogen
<i>Vershil met de PAM voor verpleegkundigen</i>	
Bed in hoogte verstelbaar	beter bij de borst en de apparatuur kunnen
Patiënt naar twee kanten op bed kunnen liggen	borst van alle kanten benaderbaar
Meetapparatuur drie richtingen beweegbaar	sneller positioneren van de borst
CT geometrie	nauwelijks/niet meer positioneren van de borst

TABEL 1.4.11 - Conclusie van de analyse in tabelvorm

1.5 Programma van Eisen *en wensen*

De laatste paragraaf van dit hoofdstuk behandelt het programma van eisen en wensen waaraan het herontwerp van de PAM moet voldoen. Het PvE kan gezien worden als een samenvatting van de conclusies uit hoofdstuk 1 in de vorm van eisen en wensen. Het PvE is onderverdeeld in de volgende onderdelen: het ligoppervlak, CT geometrie, de watertoevoer en het vasthouden van de borst.

Het ligoppervlak

Het ligoppervlak kan ook wel omschreven worden als de patiënt-apparaat interface, omdat niet alleen het bed bedoeld wordt. Hieronder vallen onder andere eisen die geformuleerd zijn vanuit het oogpunt van de patiënt en vanuit het oogpunt van de laboranten (tabel 1.5.1). Bij sommige eisen is een noot geplaatst.

<i>Eis</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Wens</i>
De patiënt ligt op haar buik op het apparaat		
De te scannen borst hangt naar beneden		
Elke borst kan gescand worden tot zo dicht mogelijk bij de borstkas ¹	<10 mm afstand	<7 mm
De vormgeving van het apparaat past binnen het interieur van een ziekenhuis	Betrouwbare, veilige, hygiënische, professionele uitstraling	
Technische apparatuur is voor de patiënt niet zichtbaar		
Het kost zo weinig mogelijk tijd om de patiënt voor te bereiden op het scannen ²	<5 minuten	<2 minuten
Het ligoppervlak is comfortabel genoeg om er gedurende de behandeling op te liggen ³	>15 minuten	>25 minuten
Vrouwen kunnen in verschillende houdingen op het bed liggen ⁴	met één arm naar beneden en één arm omhoog, met twee armen naar beneden	met opgetrokken benen
Het ligoppervlak biedt ondersteuning aan het gebied rond de borst zodat er geen pijnlijke drukpunten ontstaan		
Het bed biedt een comfortabele ondersteuning voor hoofd en nek		
Het bed biedt een comfortabele ondersteuning voor de zijkant van het lichaam wanneer de patiënt in de houding met één arm omhoog en één arm naar beneden ligt		
Het bed is in hoogte verstelbaar ⁵	tussen 0,75 meter en 1,3 meter	tussen 0,65 cm en 1,6
Het scannen is niet onaangenaam voor de patiënt	niet pijnlijk	niet gevoelig
Vrouwen van verschillende lengtes passen op het ligoppervlak	99%	
Zo veel mogelijk verschillende groottes borsten kunnen gescand worden ⁶	95%	99%
Vaardigheid in het bedienen van het apparaat is gemakkelijk aan te leren voor het verplegend personeel		
Technische apparatuur is makkelijk bereikbaar voor technici om aanpassingen te doen tijdens vervollexperimenten		
Het apparaat is mechanisch veilig voor alle betrokkenen		
Het produceren van het apparaat is zo goedkoop mogelijk ⁷	20.000 euro	15.000 euro
Het is mogelijk het apparaat te produceren ⁸	binnen BMTI en door uitbesteding	geheel binnen BMTI

TABEL 1.5.1 - Eisen en wensen voor het ligoppervlak

- 1 In de huidige PAM is er een ruimte van ongeveer 15 milimeter tussen de bovenkant van tafel en de hoogte van de hoogste stand van de laser. De ruimte hiertussen moet echter zo klein mogelijk zijn om een zo groot mogelijk gedeelte van de borst te kunnen scannen. Een afstand van maximaal 10 millimeter is een goed haalbare eis hiervoor.
- 2 Met het voorbereiden van het scannen wordt de tijd bedoeld dat het kost om een patiënt juist op het bed te positioneren en om andere voorbereidingen te treffen, zoals bijvoorbeeld water verversen voordat het scannen daadwerkelijk gestart kan worden. Deze tijd moet zo kort mogelijk zijn, zodat een totale behandeling niet te veel tijd inneemt.
- 3 Het ligoppervlak moet comfortabel zijn voor de patiënt om erop te liggen. Een gemiddelde behandeling op de PAM zal zo'n 15 minuten duren. 15 minuten is dus de onderste grens van de tijdsduur waarbij het liggen op het bed nog prettig moet zijn. Langer dan 25 minuten moet echter ook haalbaar zijn.
- 4 Uit de gebruikstest (hoofdstuk 1.2) blijkt dat de prettigste houdingen om in te liggen zijn met een arm omhoog en een arm naar beneden, en met twee armen naar beneden. In deze houdingen komt de borst ook het verst van de onderzochte houdingen door het bed te hangen. Afhankelijk van waar een tumor zich bevindt, of de voorkeur van de vrouw kan een van de twee houdingen gekozen worden tijdens een behandeling. Philips heeft onderzoek gedaan naar de meest ideale lighouding voor hun optical mammoscope. Dit bleek met een arm omhoog, een arm omlaag en een knie opgetrokken te zijn. Of dit ook voor de PAM nuttig kan zijn is niet onderzocht. Daarom is het een wens om ook de mogelijkheid open te houden om de knie te kunnen optrekken.
- 5 Het bed moet in hoogte verstelbaar zijn zodat patiënten gemakkelijk op het bed kunnen stappen en verpleegkundigen gemakkelijk onder het bed kunnen kijken. Voor de hoogte van het bed in de laagste stand is de eis dat deze maximaal 0,75 en de wens dat deze maximaal 0,65 meter kan zijn. Deze hoogtes zijn afgeleid uit de antropometrietabellen van DINED 2004 (bijlage E). $P_{\text{gemiddeld}}$ van de vuisthoogte voor vrouwen tussen de 20-60 is 75,5 centimeter. Het zou makkelijk zijn als het bed ook nog lager versteld kan worden, zodat ook de kleinste vrouwen gemakkelijk op het bed kunnen stappen ($P_1 = 65,5$ cm). De vuisthoogte is als maat genomen voor de ideale hoogte van opstappen, omdat de heup net hoger is dan de vuisthoogte. De waarden van vuisthoogtes van vrouwen van 60+ zijn niet meegenomen, omdat deze niet erg verschillen. Voor de minimale hoogte van de hoogste stand is als eis gekozen 1,3 meter en als wens 1,6 meter. Deze waarden zijn ook afgeleid uit de dined 2004 antropometrietabel. De gemiddelde ooghoogte van zittende mannen is 1,32 meter en P_{99} is 1,48 meter. Als de tafel ingesteld kan worden tot 1,6 meter hoog, hoeft de grootste verpleegkundige nooit lager dan op een krukje te zitten om goed onder de tafel te kunnen kijken.
- 6 De grootte van de opening van de tafel voor de borst bepaalt hoe groot de grootste borst mag zijn die nog door de tafel past. Als eis is gesteld dat 95% van de (Nederlandse) vrouwelijke borsten gescand kan worden. De wens is minimaal 99%.
- 7 Het produceren van het apparaat moet zo goedkoop mogelijk zijn. BMTI heeft een budget van 20.000 euro apart gezet voor de 'patiënt-apparaat interface'. Hier zijn naast materiaalkosten de kosten van manuren voor het produceren van het apparaat bij gerekend.
- 8 Onderdelen voor de nieuwe PAM kunnen besteld worden, of zelf bij BMTI worden gemaakt. Om kosten te drukken is het de wens om het prototype geheel binnen BMTI te kunnen maken.

Het vasthouden van de borst

Uit de gebruikstest (hoofdstuk 1.2) kwam naar voren dat de borst beweeglijk is wanneer deze niet is ingeklemd tussen twee platen. Omdat in de nieuwe PAM de borst vrij in een bak met water komt te hangen, kunnen er oplossingen bedacht worden om de borst zo vast te houden dat bewegingen zoveel mogelijk tegengegaan worden. Voor het vasthouden van de borst zijn aparte eisen en wensen opgesteld (tabel 1.5.2).

<i>Eis</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Wens</i>
De oplossing voor het vasthouden van de borst helpt het bewegen van de borst zo goed mogelijk tegen te gaan	bewegingen verminderen	geen beweging mogelijk
De oplossing voor het vasthouden van de borst mag het scannen niet hinderen		
Een zo groot mogelijk gedeelte van de borst moet gescand kunnen worden ¹	tot aan de tepel	geheel
De oplossing voor het vasthouden van de borst is niet onaangenaam voor de patiënt	niet pijnlijk	niet gevoelig
De oplossing voor het vasthouden van de borst mag de borst niet beschadigen		
Borsten van verschillende omvang zijn geschikt voor de oplossing om de borst vast te houden ²	95%	99%
Vaardigheid in het bedienen van de oplossing is gemakkelijk te leren voor het verplegend personeel		
Het kost zo weinig mogelijk tijd om de ondersteuning van de borst te bevestigen of te plaatsen bij de patiënt		
De oplossing om de borst op zijn plaats te houden moet gemakkelijk schoon te houden zijn		
De oplossing is mechanisch veilig voor alle betrokkenen		
De oplossing is elektrisch veilig voor alle betrokkenen		
De oplossing voor het vasthouden van de borst is zo goedkoop mogelijk te produceren		

TABEL 1.5.2 - Eisen en wensen voor het vasthouden van de borst

- 1 Wanneer voor een oplossing voor het vasthouden van de borst gekozen wordt, is het belangrijk dat deze het scannen niet in de weg zit. Maximaal toelaatbaar is dat er een ondersteuning op de tepel zit, zodat alleen de tepel niet zichtbaar is op de scan. In tepels is er een geringe kans op borstkanker, aangezien de tepel zelf weinig klierweefsel bevat.
- 2 Borsten (en tepels) bestaan in veel uiteenlopende vormen en maten. Het is belangrijk dat de oplossing voor het vasthouden van de borst hierop inspeelt.

CT geometrie

De nieuwe PAM zal in plaats van een planar geometrie een CT geometrie hebben. In grote lijnen staat vast hoe deze geïntegreerd wordt. De verschillende eisen die hierbij horen zijn beschreven in tabel 1.5.3.

<i>Eis</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Wens</i>
De te scannen borst hangt naar beneden		
Elke borst kan gescand worden tot zo dicht mogelijk bij de borstkas ¹	< 10 mm afstand	< 7 mm
Het scannen is niet onaangenaam voor de patiënt	niet pijnlijk	niet gevoelig
Zo veel mogelijk verschillende groottes borsten kunnen gescand worden	95%	99%
Vaardigheid in het bedienen van het scansysteem is in een zo kort mogelijke tijd aan te leren voor het verplegend personeel		
Technische apparatuur is makkelijk bereikbaar voor technici om aanpassingen te doen tijdens vervollexperimenten		
Het scannen van de borst gebeurt met behulp van photoacoustic imaging		
Het imagen gebeurt met behulp van CT geometrie		
De detectormatrix is zo groot mogelijk, en heeft een gebogen rechthoekige vorm ²	>80° gebogen	>180° gebogen

Als coupling tussen de borst en de detector wordt water gebruikt		
De bak met water is van glas en cilindervormig ³		
Laser mag alleen in contact komen met de borst		
De borst mag op geen enkele manier beschadigd raken		
Het scansysteem is mechanisch veilig voor alle betrokkenen		
Het scansysteem is elektrisch veilig voor alle betrokkenen		

TABEL 1.5.3 - Eisen en wensen voor CT geometrie

- 1 Net zo als bij de eis aan het ligoppervlak om de borst tot zo dicht mogelijk aan de borstkas te kunnen scannen, geldt dat ook voor de vormgeving van de CT geometrie. Deze kan hier op inspelen door ervoor te zorgen dat de laser een bereik heeft tot tegen de onderkant van de tafel aan.
- 2 De detector matrix zal van het formaat A5 zijn en is 80 graden gebogen. Deze maat staat vast, omdat deze maat de maximale omvang is die het bedrijf, waar BMTI de detector wil laten maken, kan produceren. De eis is wel om de detectormatrix zo groot mogelijk te laten zijn, omdat er in de toekomst misschien meer technische mogelijkheden zijn. De detector moet rechthoekig zijn, zodat dichter tegen de borstspier aan gescand kan worden. De huidige PAM heeft een ronde detectormatrix, waardoor dit lastiger is.
- 3 De bak met water is cilinder vormig om de intensiteit van laserreflectie te verminderen, omdat bij een te grote reflectie de laser kristal kan beschadigen.

De watertoevoer

Door het gebruik van Computed Tomography zal het systeem gebruik maken van water. Aan het water en de toevoer daarvan zijn verschillende eisen en wensen verbonden (tabel 1.5.4).

<i>Eis</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Wens</i>
Het water heeft een temperatuur die aangenaam is voor de patiënt ¹	30-32 °C	
De temperatuur van het water mag gedurende een behandeling niet van temperatuur veranderen ²	±0,5 °C	±0,1 °C
Het water kan na elke behandeling verversd worden ³		
Het apparaat is elektrisch veilig voor alle betrokkenen		
Het is mogelijk het apparaat automatisch te desinfecteren ⁴		
Het kost zo min mogelijk tijd om het water te verversen		
Het gebruikte water is <i>demi-water</i>		

TABEL 1.5.4 - Eisen en wensen voor watertoevoer

- 1 Het water moet een aangename temperatuur hebben voor de patiënt, aangezien haar borst direct in contact komt met het water. De specificatie van 30-32 °C is afgeleid aan de gemiddelde temperatuur van tropische zwembaden. De watertemperatuur daarvan ligt ook tussen de 30 en 32 graden.
- 2 Het water mag absoluut niet van temperatuur veranderen gedurende een behandeling, omdat dit invloed heeft op de kwaliteit van de metingen. Er wordt bij de beeldreconstructie namelijk een aanname gedaan van een bepaalde geluidssnelheid. De geluidssnelheid van water is gevoelig voor temperatuurveranderingen. Een verschil van een halve graad is nog net acceptabel, maar liever is het verschil maximaal 0,1 °C.
- 3 In verband met hygiëne met het water na elke behandeling verversd worden. De borst staat immers direct in contact met het water.
- 4 Omdat alleen het verversen van het water niet voldoende is om het waterreservoir vrij van bacteriën te maken, is het nodig om de bak te kunnen desinfecteren. Dit kan gedaan worden door het water een hoge temperatuur te laten bereiken.
- 5 Demi-water is water waar de mineralen zo veel mogelijk uit gehaald zijn. Dit water is anders dan leidingwater. Voor het gebruik van water in fotoakoestiek kan het beste demi-water worden gebruikt.

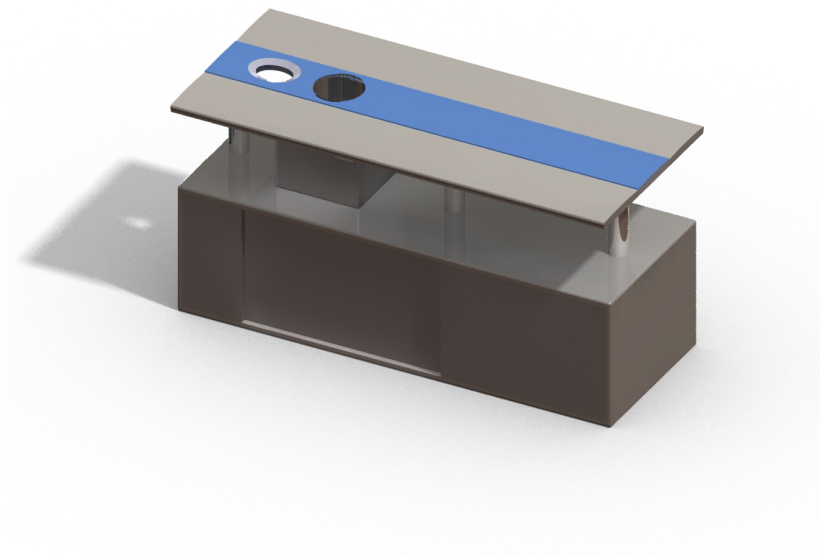
Concept

2.1 Concepten

2.2 Toetsing aan het Programma van eisen

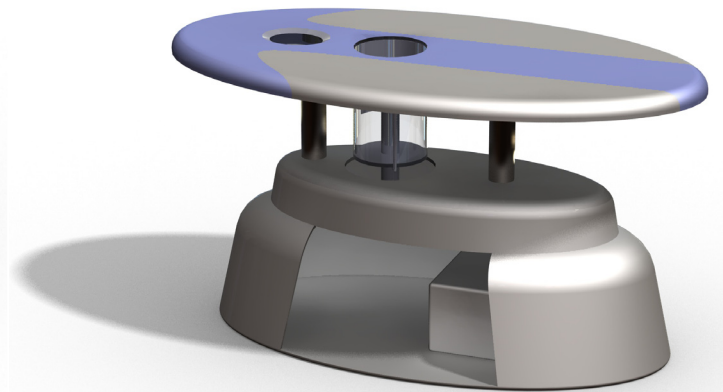
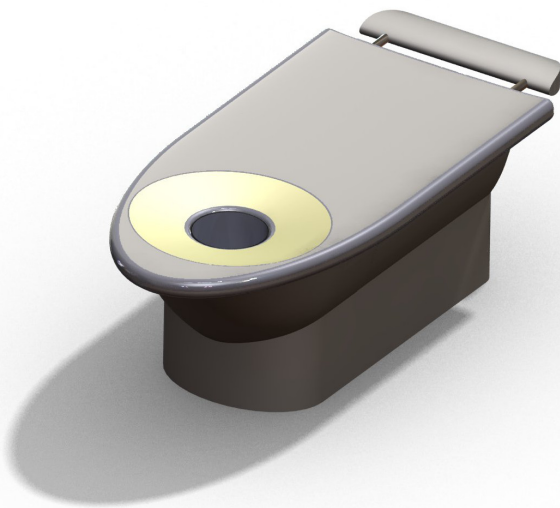
2.3 Discussie met stakeholders

2.4 Conceptkeuze



Hoofdstuk 2

generatie



Concepten

2.1

In dit hoofdstuk zullen de verschillende concepten gepresenteerd worden die aan de hand van het programma van eisen en wensen zijn ontworpen. Er is gekozen om van verschillende functionaliteiten van de PAM concepten te maken. Zo zullen een of meerdere concepten voor het ligoppervlak (comfort voor de patiënt), het vasthouden van de borst, Computed Tomography, het in hoogte verstellen van het bed en de watertoevoer worden besproken.

Het ligoppervlak

Het ligoppervlak is een erg belangrijk onderdeel in deze bacheloropdracht. In hoofdstuk 1 is veel aandacht besteed aan verbeterpunten voor het herontwerp van het ligoppervlak van de PAM. Er zullen drie concepten gepresenteerd worden. Er zijn verschillende verbeterpunten ontworpen voor het ligcomfort en voor de uitstraling van het apparaat.

Concept 1 (figuur 2.1.2)

Het eerste concept heeft een ligoppervlak waarbij de zijkanalen over de gehele lengte omhoog kunnen worden geklapt. Op deze manier kan het lichaam van de patiënt extra ondersteund worden wanneer de patiënt de houding met een arm omhoog en een arm naar beneden aanneemt (hoofdstuk 1.2). Bij deze houding wordt het lichaam namelijk iets gekanteld, waardoor het lichaam de borst in meer of mindere mate dieper door het bed duwt. Door het mogelijk te maken om de zijkanalen op te klappen, draagt dit concept bij aan de eis om het bed zo comfortabel mogelijk te maken voor de patiënt en aan de eis om de borst dicht mogelijk op de borstkast te kunnen scannen. Niet alle vrouwen zullen dezelfde helling als de prettigste ervaren, omdat mensen verschillen in lichaamsbouw. Zo zal een vrouw met grote borsten het minder prettig vinden om het bed aan een kant omhoog te klappen, omdat haar borst daarbij in de weg zal zitten. Een vrouw met kleinere borsten kan dit waarschijnlijk wel waarderen. Het bed kan daarom in vijf verschillende standen omhoog worden geklapt tot een helling van 45 graden met de rest van het bed. Het omhoogklappen gebeurt mechanisch, waarbij tijdens het optillen van de zijkant het bed gemakkelijk in de vijf standen springt.

Naast een gat voor de borst is ook een uitsparing voor het

hoofd in het bed gemaakt. Dit is om de patiënt extra comfort te bieden wanneer het handiger of prettiger is om in de houding met twee armen naar beneden te liggen. Op deze manier kan het hoofd dan ook recht naar voren liggen. Veel massagetafels hebben ook zo'n uitsparing voor het hoofd (figuur 2.1.1). De uitsparing kan ook worden afgesloten, zodat het hoofd, bij de houding, waarbij een arm naar boven en een arm naar beneden is gestrekt, op de tafel kan rusten.

Het materiaal voor het matras dat in dit concept wordt gebruikt is memory foam. Dit materiaal is erg zacht en daarom comfortabel, en vormt zich naar het lichaam. Op deze manier is het prettiger voor de patiënt wanneer de zijkant van het bed omhoog wordt geklapt. Waar druk wordt uitgeoefend door het lichaam zal het lichaam een beetje in het kussen wegzakken. Een schouder of grote borst krijgt hierdoor meer ruimte. Memory foam wordt tegenwoordig ook veel gebruikt in massagetafels vanwege het hoge comfort dat het biedt. Het matras van memory foam zal niet overal even dik zijn. Rondom de uitsparing voor de borst zal het schuim het dunst zijn. Dit is wederom om de borst zo dicht mogelijk bij de borstkast te kunnen scannen. Hoe dik het matras precies overal moet zijn is in dit concept niet uitgewerkt. De afstand tussen de bovenkant van de tafel en de maximale hoogte van de laser mag in ieder geval maximaal 10 millimeter zijn volgens het programma van eisen.

Het concept, zoals getoond in figuur 2.1.2, is verstelbaar in hoogte. Te zien is dat wanneer het bed omhoog is veresteld, de glazen cilinder uit de kast van het apparaat komt. Om de cilinder is een extra kastje gemaakt dat met een deurtje geopend kan worden. Dit is ontworpen om het voor verpleegkundigen mogelijk te maken de positie van de borst te bekijken. Het kastje om de glazen cilinder is gemaakt voor de veiligheid, in verband met het eventueel ontsnappen van laserstralen.

Het totale concept is ontworpen vanuit de gedachte dat het gemakkelijk te produceren moet zijn. Daarbij is in het achterhoofd gehouden dat de vormgeving van het apparaat binnen een ziekenhuisomgeving moet passen. Het hele apparaat is daarom eenvoudig vormgegeven. De vormen van het apparaat zijn vooral rechthoekig. Het is daardoor makkelijker mogelijk een dergelijk apparaat binnen BMTI te

ontwikkelen. Het kiezen voor gekromde oppervlakken maakt het produceren van het apparaat namelijk complexer. Er zal dan een mal gemaakt moeten worden waarover materiaal wordt gevormd. Rechthoekige vormen zijn makkelijker te maken, omdat er alleen plaatmateriaal aan elkaar hoeft te worden bevestigd.

De vormgeving van het apparaat is eenvoudig te noemen, maar past prima in een ziekenhuis vanwege de solide en betrouwbare uitstraling. Ook is het gemakkelijk om het bed hygiënisch te houden, doordat het eenvoudig schoon te maken is. Om het matras van memory foam is materiaal gespannen dat waterdicht is en daarom met een doekje schoon te houden is. Welk materiaal dit zou moeten zijn is in het concept niet bepaald.

Technische apparatuur is overal afgesloten van de buitenwereld en alleen toegankelijk via deuren. Zo blijft ook deze apparatuur schoon.

De kast van het apparaat waar de technische apparatuur zich in bevindt, is makkelijk bereikbaar voor technici door middel van de schuifdeuren.

afsluitbare uitsparing voor het hoofd



FIGUUR 2.1.1 - massagetafel met afsluitbare opening voor het hoofd

afsluitbare uitsparing voor het hoofd

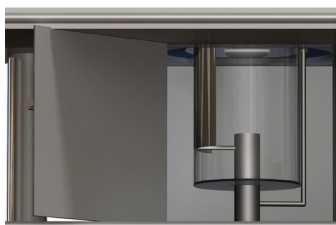
gesloten kast om waterreservoir

zijanten van het bed in vijf standen mechanisch omhoog te klappen

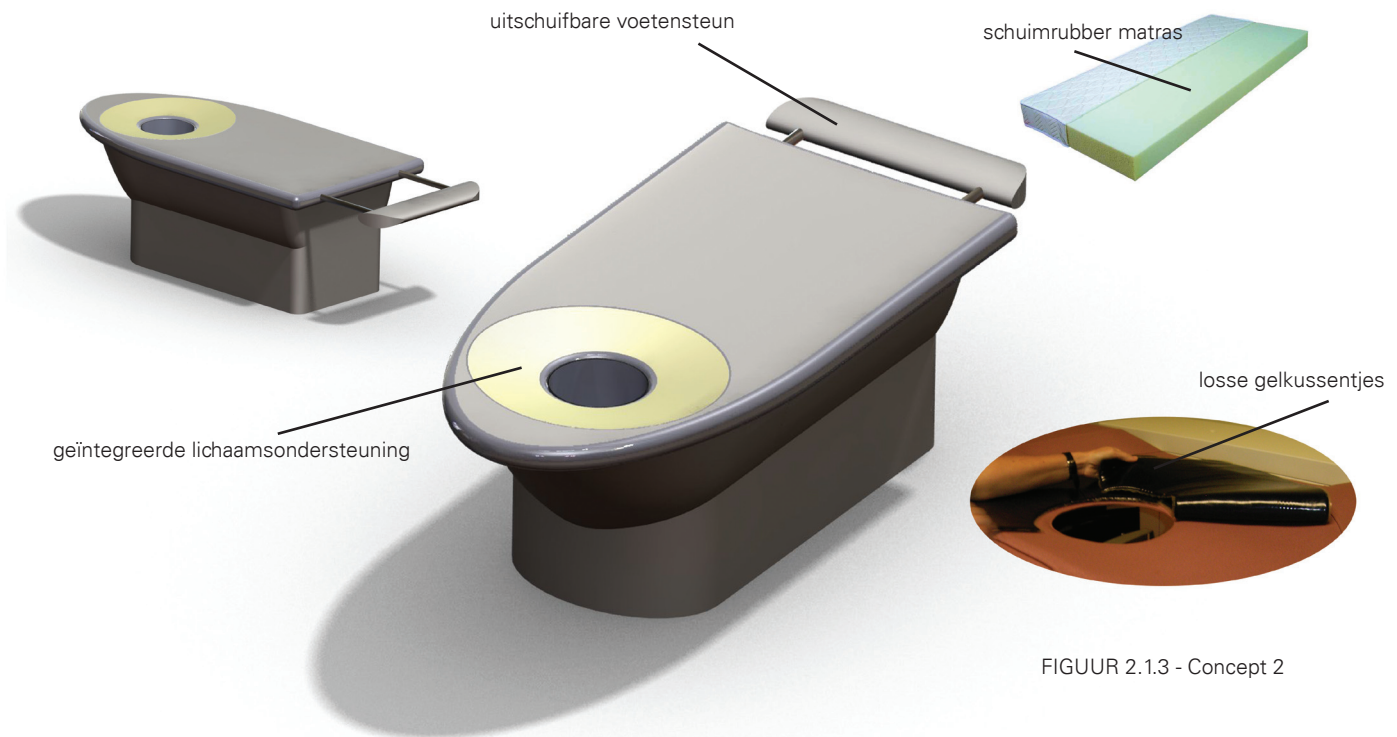
bed in hoogte verstelbaar

memory foam matras

rechthoekige kast met schuifdeuren



FIGUUR 2.1.2 - Concept 1



FIGUUR 2.1.3 - Concept 2

Concept 2 (figuur 2.1.3)

In het tweede concept zijn veel kenmerken van het stereotactische biopsieapparaat meegenomen. Het bed heeft een gekromd ligoppervlak rondom de opening voor de borst en loopt daar iets naar beneden. Op deze manier drukt het lichaam wat meer op deze plaats, waardoor de borst verder door het gat komt te hangen. Ook biedt deze vorm van het bed extra comfort aan de patiënt, omdat het hoofd op het schuine hellinkje komt te liggen. Volgens de laboranten in het Medisch Spectrum Twente wordt het bed van het stereotactische biopsieapparaat redelijk tot goed qua comfort gevonden door patiënten. Het stereotactische biopsieapparaat heeft een matras van schuimrubber met daarover heen een waterdichte coating. In concept 2 is daarom voor ditzelfde materiaal gekozen.

Het bed in het stereotactische biopsieapparaat is dun rondom de uitsparing voor de borst. Concept 2 heeft dit ook, aangezien het belangrijk is dat de borst zo ver mogelijk door de tafel kan komen te hangen. Om de druk op het lichaam rondom de borst te kunnen verlichten zijn er losse gelkussentjes bij het stereotactische biopsieapparaat geleverd. Het is een goed idee om dit ook bij concept 2 mee te leveren.

Het bed van het stereotactische biopsieapparaat en het bed

van concept 2 verschillen in lengte. Het biopsieapparaat is zo gemaakt dat patiënten op twee manieren op het bed kunnen liggen, met het hoofd op de linkerhelft van het bed of op de rechterhelft. Dit is zo ontworpen omdat verpleegkundigen hierdoor gemakkelijk bij de zijde van de borst waar de tumor zich bevindt kunnen komen. In het herontwerp van de PAM zal dit niet nodig zijn, omdat de gehele borst wordt gescand en de verpleegkundige sowieso niet met zijn of haar handen de borst kan en hoeft te positioneren doordat de afgesloten glazen cilinder dit verhindert.

Wel is er voor gekozen om net als bij het stereotactische biopsieapparaat een uitschuifbare voetensteun te maken om er zo voor te zorgen dat vrouwen van alle lengtes goed op het bed kunnen liggen. Ook zorgt de voetensteun voor extra comfort omdat de enkels op de voetensteun komen te liggen waardoor de voeten gewoon recht naar beneden wijzen.

Het hele apparaat kan in hoogte versteld worden in tegenstelling tot dat van concept 1, waarbij alleen het bed in hoogte versteld kan worden. Dit heeft als voordeel dat alle apparatuur in de kast ook omhoog kan worden gebracht waardoor er geen technische aanpassingen gedaan hoeven te worden. Concept 1 moet er namelijk rekening mee houden dat de detectormatrix, die zich in de cilinder bevindt, mee

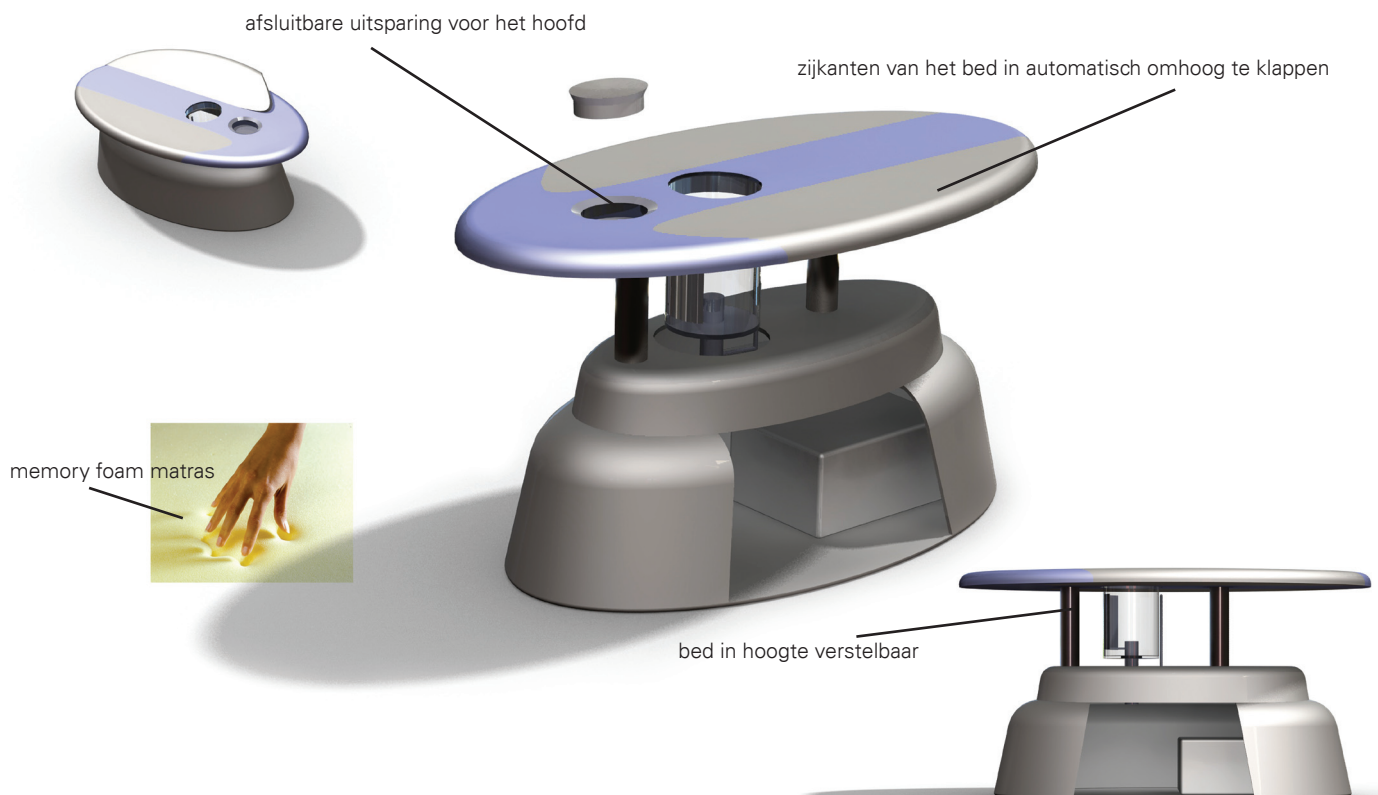
omhoog kan bewegen terwijl deze nog steeds verbonden moet blijven met de laser en energietoevoer. Wel zal het bij concept 2 extra energie kosten om telkens het gehele apparaat omhoog te verplaatsen.

In de kast van het apparaat ter hoogte van de glazen cilinder is een deurtje gemaakt waardoor verpleegkundigen en technici bij de apparatuur onder het bed kunnen komen.

Concept 3 (figuur 2.1.4)

Het derde concept heeft veel overeenkomsten met concept 1, maar is vooral wat het uiterlijk betreft anders. Het apparaat heeft veel ronde vormen waardoor het een zachtere uitstraling krijgt. Ook lijkt het apparaat door de ronde vormen meer op andere ziekenhuisapparatuur zoals bijvoorbeeld een CT of MRI scanner (hoofdstuk 1.2). Hierdoor ziet het apparaat er professioneler of geavanceerder uit dan dat van concept 1. Door het gebruik van ronde vormen is het wel weer lastiger om het apparaat ook daadwerkelijk te produceren. De gekromde oppervlakken zullen over een mal heen gevormd moeten worden. Er zal wellicht naar externe mogelijkheden moeten worden gezocht om het concept te produceren. Een ander verschil met concept 1 is dat de zijkanten van het

bed niet over de hele lengte kunnen worden opgeklapt, maar slechts tot iets boven de plaats waar de schouder komt te liggen, namelijk ter hoogte van de uitsparing voor het hoofd. Wanneer de patiënt in de houding met een arm omhoog en een arm omlaag ligt, komt de omhoogwijzende arm toch al enigszins boven het hoofd van de patiënt uit, waardoor het niet nodig is om het bed over de gehele lengte omhoog te klappen. Het opklappen gebeurt niet op een mechanische manier, maar op een elektrische manier. Dit maakt weliswaar een ingewikkelder constructie onvermijdelijk, maar zorgt er wel voor dat het bed in meer dan vijf standen is in te stellen. Net als het apparaat van concept 1 heeft dat van concept 3 een afsluitbare hoofduitsparing, is het matras gemaakt van memory foam en is het bed in hoogte te verstellen. Er is alleen om de glazen cilinder geen kastje gebouwd. Dit heeft als voordeel dat wanneer het bed omhoog wordt gesteld, de borst direct zichtbaar is voor de verpleegkundige. Een nadeel kan zijn dat de veiligheid in verband met de weerkaatsing van laserstralen minder wordt. Dit gevaar lijkt echter gering te zijn, omdat het apparaat alleen moet kunnen scannen wanneer het bed naar beneden is geplaatst en de glazen cilinder volledig in de kast hangt. Bed en kast sluiten dan volledig op elkaar aan.



FIGUUR 2.1.4 - Concept 3

CT geometrie

Door de beslissing om CT geometrie in de PAM te integreren ontstaan eisen die niet gelden voor de huidige PAM. De borst komt in een bak met water te hangen, waarbij het water, in plaats van coupling gel, zorgt voor de coupling. De bak met water is van glas. De bak moet cilindervormig zijn, omdat er bij het schijnen van de laser op de bak anders ongewenste reflectie zal plaatsvinden.

De detectormatrix heeft een gebogen oppervlak door de kromming van de cilinder en bevindt zich in het waterreservoir, omdat ultrageluid zo het beste kan worden waargenomen. Om deze reden moet de detectormatrix waterbestendig zijn.

In hoofdstuk 1.2 is te lezen wat Computed Tomography is en wat dit voor het herontwerp van de PAM betekent. In figuur 2.1.5 is te zien hoe de vormgeving van de scanonderdelen er ongeveer uit komt te zien. Alle onderdelen kunnen gekocht worden, of gemaakt worden bij externe bedrijven.

De werking van het model is heel simpel. De articulated arm maakt het mogelijk dat de laser rondom de glazen cilinder beweegt. De ultrageluidsdetector in de glazen cilinder beweegt met de laser mee, omdat deze aan elkaar zijn verbonden. Zowel de laser als de ultrageluid detector kunnen bewegen in de lengterichting met behulp van stepper motoren.

Het concept voor CT zoals hier is beschreven is het enige concept dat wordt voorgesteld, omdat dit min of meer al door BMTI is vastgesteld.

Het vasthouden van de borst

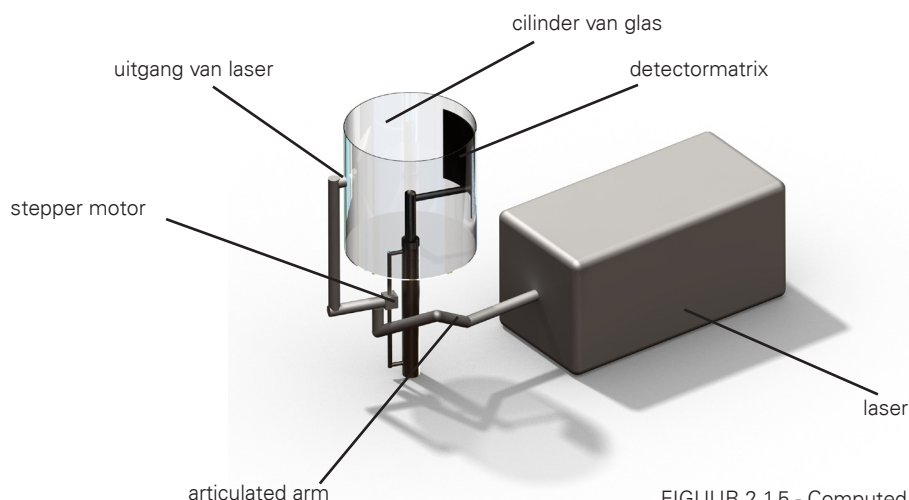
Omdat Computed Tomography wordt geïntegreerd in het herontwerp van de PAM, zal het inklemmen van de borst niet meer plaatsvinden. Hierdoor is het mogelijk dat de borst beweegt tijdens het scannen (zie hoofdstuk 1.3) en dat is niet gewenst.

Om dit bewegen enigzins tegen te kunnen gaan zijn een viertal concepten ontwikkeld die hieraan kunnen bijdragen.

Zuigmechanisme (figuur 2.1.6)

In het filmpje op de website van de Ultrasound CT (Techniscan Medical Systems)(figuur 1.3.4) is te zien dat de tepel wordt vastgehouden door een soort buisje. Aannemelijk is dat er een zuigmechanisme aan het uiteinde van het buisje gemaakt is dat de tepel vacuüm vastklemt om de borst op zijn plaats te houden.

Een ander voorbeeld van een tepel die wordt vastgeklemd door middel van een zuigmechanisme is te zien bij het zogen van pasgeboren kinderen of dieren. Een technische toepassing daarvan is gevonden in de melkindustrie waarbij aan de uiers van koeien of andere zoogdieren een zuigmechanisme wordt bevestigd om melk af te nemen. Ook bestaan er kolfsystemen voor vrouwen die geen borstvoeding kunnen of willen geven. Een dergelijke toepassing zou ook kunnen werken in het herontwerp van de PAM. Natuurlijk hoeft deze toepassing geen sterke zuigkracht te kennen. Een lichte zuiging om de tepel vast te zetten, is voldoende. Figuur 2.1.6 laat zien hoe een



FIGUUR 2.1.5 - Computed Tomography geometrie

dergelijk zuigmechanisme er in de PAM uit kan komen te zien. Het buisje zal buiten de glazen cilinder in hoogte kunnen worden versteld door de verpleegkundige. De vrouw hoeft haar borst nu alleen in het midden van de glazen cilinder te plaatsen, zodat het zuigmechanisme tegen haar tepel kan worden geplaatst en automatisch wordt vastgezogen. Een nadeel van dit idee is dat de vrouw haar tepel boven het uiteinde van het buisje moet plaatsen zonder dat ze zelf kan zien of het goed gaat. Dit moet de verpleegkundige haar vertellen. Voor de verpleegkundige is het een klein beetje onhandig, omdat ze niet met haar handen de tepel op de gewenste plek kan plaatsen. De glazen cilinder is immers overal gesloten.

Zuigmechanisme met magneetjes (figuur 2.1.7)

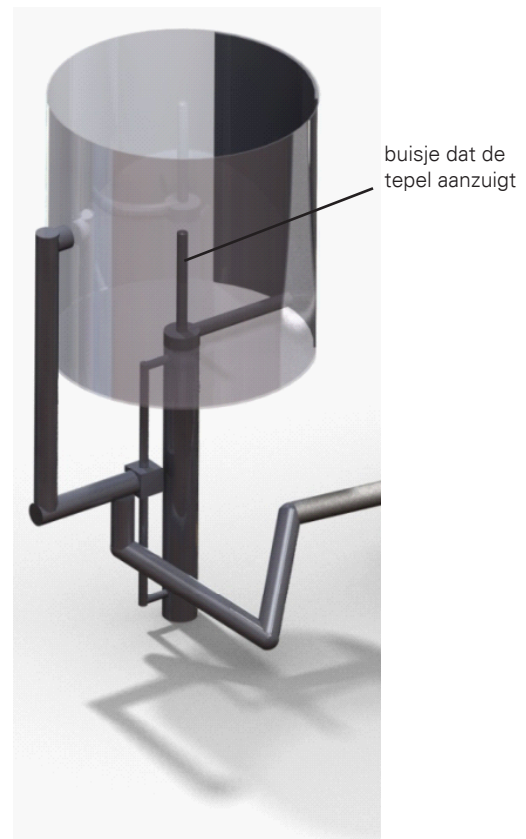
Om het probleem uit het concept 2.1.6, namelijk dat de patiënte met haar tepel recht boven het uiteinde van het buisje moet gaan liggen, te verhelpen, kan er gedacht worden aan het gebruik van twee magneetjes.

Er is een los deeltje dat aan de tepel kan worden vastgezet, wederom door deze vacuüm aan de tepel vast te zuigen, maar dan op een mechanische manier. De onderkant van het deeltje bevat een magneetje.

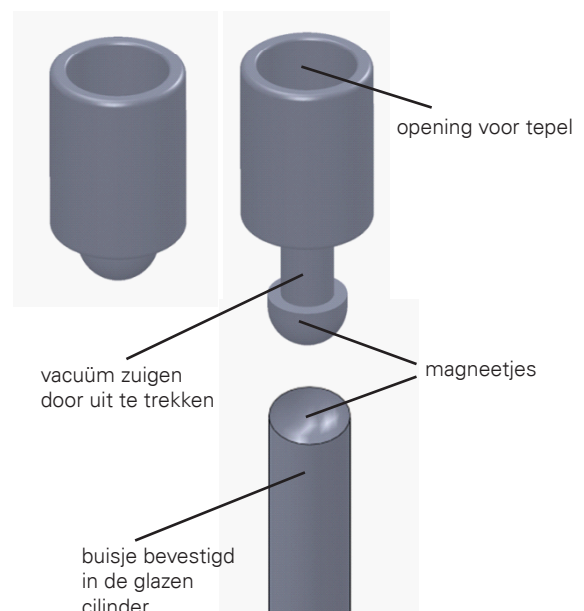
In de glazen cilinder bevindt zich nu een stangetje dat in hoogte te verstellen is. Aan het uiteinde hiervan bevindt zich eveneens een magneetje. Door het gebruik van dit magneetje zal de tepel automatisch naar het stangetje toe worden bewogen.

Een ander voordeel hiervan is dat er geen elektrisch systeem hoeft te worden toegepast om de tepel vast te zuigen. Bovendien kan men met de hand voelen of het deeltje goed vast zit.

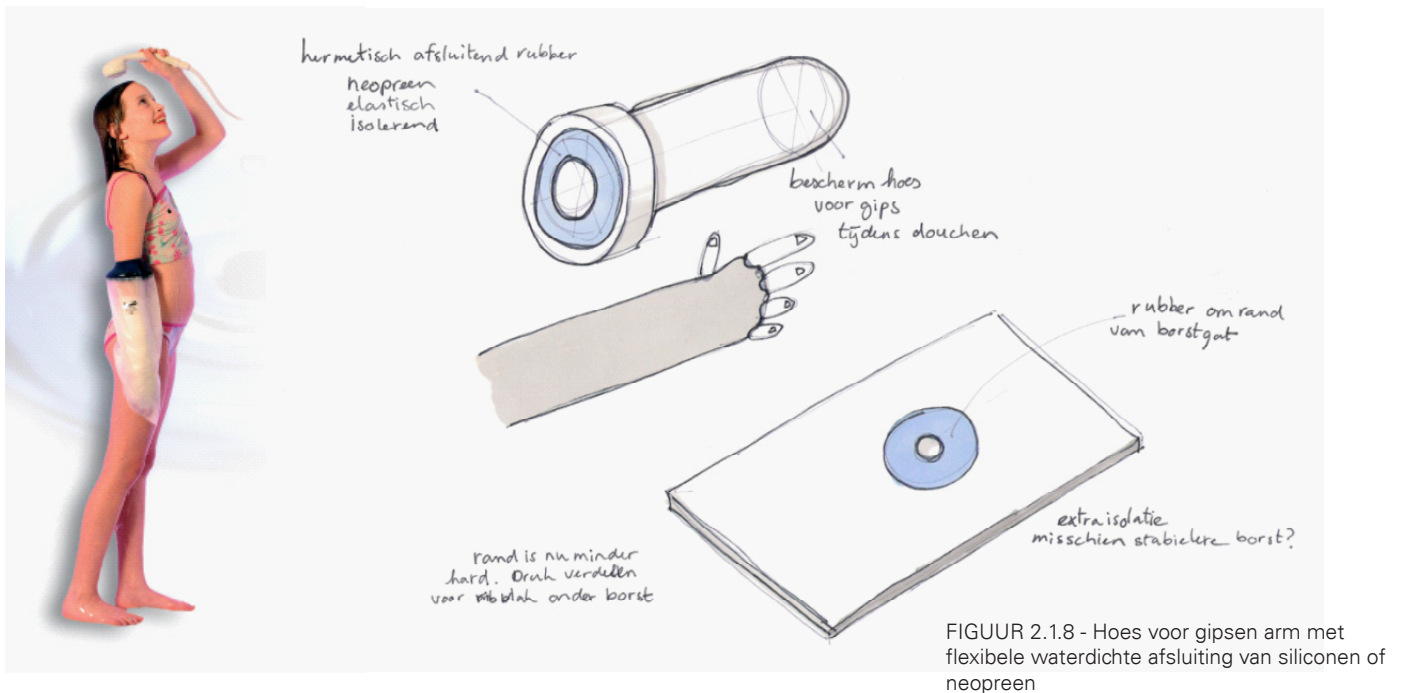
Een nadeel van zowel concept 2.1.6 als 2.1.7 is dat ze voor een klein discomfort voor de patiënt kunnen zorgen dat veroorzaakt wordt door het zuigmechaniek aan de tepel. De zuigkracht zal dan ook niet sterk moeten zijn, maar ook weer niet zo zacht dat de verbinding gemakkelijk verbreekt. Een voordeel van een los deeltje is dat deze in verschillende formaten gemaakt kunnen worden, geschikt voor verschillende tepels.



FIGUUR 2.1.6 - Zuigmechaniek geïntegreerd in glazen cilinder



FIGUUR 2.1.7 - Zuigmechaniek gecombineerd met magneten



FIGUUR 2.1.8 - Hoes voor gipsen arm met flexibele waterdichte afsluiting van siliconen of neopreen

Neopreen/siliconen afsluiting (figuur 2.1.8)

Een concept dat misschien ook kan bijdragen aan het voorkomen van bewegingen van de borst, maar dat niet bevestigd hoeft te worden aan de tepel, is een afsluiting tussen de opening van de glazen cilinder en de borst, gemaakt van een flexibel materiaal als neopreen of siliconen.

Voor het waterdicht afschermen van een gipsen arm kunnen speciale hoezen worden aangeschaft. Deze zijn voorzien van een neopreen afsluiting. De afsluiting zorgt voor een waterdichte en hermetische afsluiting van het te beschermen lichaamsdeel.

Deze afsluiting kan ook in het herontwerp van de PAM geïntegreerd worden. Als het materiaal in de opening voor de borst in het bed wordt geplaatst, kan dit de borst tegen de borstkas aan omsluiten. Dit geeft de borst een beetje extra steun om bewegingen tegen te gaan.

Daarnaast kan de afsluiting wellicht wat druk wegnemen rondom de borst en isoleert het materiaal de warmte van het water in de glazen cilinder.

Dit idee is eenvoudig en goedkoop te realiseren, maar het effect ervan is onzeker. Het grootste knelpunt is het omsluiten van de borst met het materiaal. Het is lastig om het materiaal om de borst heen te trekken, aangezien het niet goed mogelijk is om met de hand bij de borst te komen, terwijl de vrouw op tafel ligt. Bovendien moet het materiaal in ieder geval niet onder de tafel uit komen, omdat het scannen van de borst anders niet tot zo dicht mogelijk op de borstkas mogelijk is.

Glazen cilinder gevuld met transparante gel bolletjes

In alle voorgaande concepten is geprobeerd om de borst

ondersteuning te bieden, zonder dat het daarvoor gebruikte materiaal in het scangebied werd geplaatst. Door gebruik te maken van kleine transparante gel bolletjes is dit wel mogelijk. Binnen BMTI is een materiaal ontwikkeld dat transparant is en nagenoeg dezelfde akoestische eigenschappen heeft als water. Het materiaal is redelijk solide en een beetje flexibel. (Het materiaal is gebaseerd op poly(vinyl alcohol), Kharine, Manohar et al 2003)

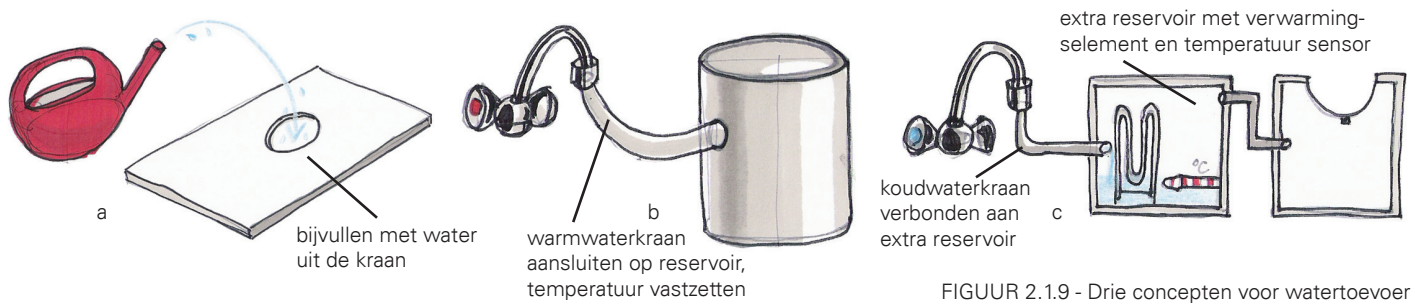
Een idee is om de glazen cilinder, nadat de borst er in is geplaatst, te vullen met kleine balletjes van dit materiaal en daarna nog te vullen met water voor een goede coupling. Op deze manier krijgt de borst van alle kanten ondersteuning en zal er minder beweging mogelijk zijn.

Een nadeel van dit concept is dat er een oplossing bedacht moet worden voor de toe- en afvoer van deze balletjes. Hoewel het materiaal niet duur is, moet er ook een oplossing bedacht worden om deze balletjes in grote hoeveelheden te kunnen produceren.

Watertoevoer

De borst komt direct in contact met het water in het waterreservoir. Om alles hygiënisch te houden zal het water na elke behandeling op de PAM moeten worden vervast. Ook moet het water op een aangename temperatuur (30-32 graden Celsius) worden gebracht voor het comfort van de patiënt en moet de temperatuur constant blijven om juiste metingen te kunnen doen. Er zijn verschillende manieren mogelijk om deze eisen in te willigen.

De bak met water zal vast zitten aan de tafel en kan er niet



worden uitgehaald om bijvoorbeeld bij de kraan met water te vullen. Dit zou niet handig zijn, omdat in de bak zich ook de kostbare detectormatrix bevindt, die geen onnodig risico op beschadiging moet lopen. Bovendien moet van het water bekend zijn welke temperatuur het heeft.

Warm water kan met een gieter worden gegoten in het reservoir door de behandelend verpleegkundige of laborante (figuur 2.1.9 a). Hierbij moet men zich realiseren dat deze simpele oplossing voor elke behandeling moet worden uitgevoerd. Het zou doeltreffender zijn wanneer het waterreservoir zich automatisch zou vullen. Bovendien moet er zich alsnog een elektrisch systeem in de bak met water bevinden om ervoor te zorgen dat het water niet van temperatuur verandert.

Een kraan koppelen aan het reservoir is ook een mogelijkheid (figuur 2.1.9 b). De temperatuur van het water dient hierbij in acht genomen te worden. Een warmwaterkraan zou bijvoorbeeld op een vaste temperatuur ingesteld moeten worden. Ook kan eraan gedacht worden koud water in een apart waterreservoir naast het waterreservoir waar de borst in zal komen te hangen te verbinden aan een koudwaterkraan (figuur 2.1.9 c). In het waterreservoir zal een verwarmingselement samen met een temperatuursensor de gewenste temperatuur reguleren. De implementatie hiervan vergt weer een extra stukje techniek, maar is uiteindelijk wel een efficiënte oplossing.

Uiteraard is het ook mogelijk om deze temperatuurregeling in het waterreservoir waar de borst in komt te hangen te plaatsen. Maar dit kan gevaarlijk zijn aangezien de borst zo in contact zou kunnen komen met het hete verwarmingselement.

Hoogte van het bed

De hoogte van het bed is zowel belangrijk voor de patiënt als voor de verpleegkundigen of laboranten die met het apparaat werken. Uit het gebruiksonderzoek (hoofdstuk 1.3) blijkt dat de proefpersonen allemaal van mening zijn dat het voor oudere of fysiek minder valide mensen lastig kan zijn om op het bed

te komen. Het bed van de huidige PAM bevindt zich ongeveer op navelhoogte en de proefpersonen hadden een opstapje nodig om het bed op te stappen. Ook zijn de randen van het bed van hard metaal dat het comfort van het opstappen niet bevordert. Bovendien kan men zich nergens aan het bed goed vastpakken.

Voor de laboranten is het bed juist te laag. Zij moeten onder het bed de borst van de patiënten positioneren. Om daar goed bij te kunnen moeten ze hurken of gebukt op een krukje zitten. Een goede oplossing voor deze problemen is om het bed in hoogte verstelbaar te maken. Wanneer de patiënt op het bed moet stappen, kan het bed helemaal naar beneden worden gezet om, zodra de patiënt ligt, weer helemaal omhoog gezet te kunnen worden, zodat de laborant zittend op een stoel goed bij de apparatuur kan.

Bij het stereotactische biopsieapparaat in het Medisch Spectrum Twente wordt het bed ook in hoogte versteld. Het in hoogte verstellen gebeurt automatisch met behulp van een controller die met de voet kan worden bediend.

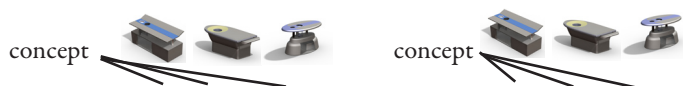
Een kanttekening bij dit deelconcept is dat de toepassing van een in hoogte verstelbaar bed als een luxe beschouwd kan worden. BMTI wil een nieuw prototype van de PAM maken en daarom kan het ongewenst zijn om extra geld aan deze oplossing uit te geven. Het is immers ook bij de huidige PAM niet onmogelijk voor de patiënt op het bed te komen. En de laborant kan onder het bed komen, al is dat wat lastiger dan wanneer het bed in hoogte verstelbaar zou zijn. Bovendien zal de rol van de laborant bij de nieuwe PAM kleiner worden aangezien het positioneren van de borst tussen twee platen niet meer nodig is.

Een goedkopere oplossing om makkelijker op het bed te komen is om een stevige trap aan het bed vast te maken in plaats van een los opstapje dat weggeschoven kan worden. Ook handvaten aan het bed of een leuning aan genoemd trapje geven de patiënt meer steun bij het op het bed komen.

2.2 Toetsing aan het PvE

De verschillende concepten zullen aan het programma van eisen en wensen getest worden, om te kijken welk concept het meest geschikt is. Per functionaliteit zal gekeken worden welk concept het beste aansluit. Dit wordt gedaan per concept aan te geven of er wel, niet of deels aan is voldaan. Dit is ook voor de wensen gedaan. Een x betekent dat het niet te controleren is of het concept aan de eis of wens voldoet.

Het ligoppervlak



Eis	Specificatie	1	2	3	Wens	1	2	3
De patiënt ligt op haar buik op het apparaat		ja	ja	ja				
De te scannen borst hangt naar beneden		ja	ja	ja				
Elke borst kan gescand worden tot zo dicht mogelijk bij de borstkas ¹	<10 mm afstand	x	x	x	<7 mm	x	x	x
De vormgeving van het apparaat past binnen het interieur van een ziekenhuis ²	Betrouwbare, veilige, hygiënische, professionele uitstraling	ja	ja	ja				
Technische apparatuur is voor de patiënt niet zichtbaar		ja	ja	ja				
Het kost zo weinig mogelijk tijd om de patiënt voor te bereiden op het scannen ³	<5 minuten	x	x	x	<2 minuten	x	x	x
Het bed is in hoogte verstelbaar ⁴	tussen 0,75 meter en 1,3 meter	ja	ja	ja	tussen 0,65 cm en 1,6	ja	ja	ja
Het ligoppervlak is comfortabel genoeg om er gedurende de behandeling op te liggen ⁵	>15 minuten	ja	ja	ja	>25 minuten	ja	ja	ja
Vrouwen kunnen in verschillende houdingen op het bed liggen ⁶	met één arm naar beneden en één arm omhoog, met twee armen naar beneden	ja	ja	ja	met opgetrokken benen	nee	ja	nee
Het ligoppervlak biedt ondersteuning aan het gebied rond de borst zodat er geen pijnlijke drukpunten ontstaan ⁷		nee	nee	nee				
Het bed biedt een comfortabele ondersteuning voor hoofd en nek ⁸		ja	nee	ja				
Het bed biedt een comfortabele ondersteuning voor de zijkant van het lichaam wanneer de patiënt in de houding met één arm omhoog en één arm naar beneden ligt		ja	nee	ja				
Het scannen is niet onaangenaam voor de patiënt ⁹	niet pijnlijk	ja	ja	ja	niet gevoelig	ja	ja	ja
Vrouwen van verschillende lengtes passen op het ligoppervlak ¹⁰	99%	ja	ja	ja				
Zo veel mogelijk verschillende groottes borsten kunnen gescand worden ¹¹	95%	x	x	x	99%	x	x	x
Vaardigheid in het bedienen van het apparaat is gemakkelijk aan te leren voor het verplegend personeel		ja	ja	ja				

Technische apparatuur is makkelijk bereikbaar voor technici om aanpassingen te doen tijdens vervollexperimenten		ja	ja	ja				
Het apparaat is mechanisch veilig voor alle betrokkenen		ja	ja	ja				
Het produceren van het apparaat is zo goedkoop mogelijk	20.000 euro	x	x	x	15.000 euro	x	x	x
Het is mogelijk het apparaat te produceren ¹²	binnen BMTI en door uitbesteding	ja	ja	ja	geheel binnen BMTI	deels	nee	nee

1 Het is niet te controleren of de concepten voldoen aan de specificatie of wens. Dit is afhankelijk van de dikte van het matras rondom het borstgat en de maximale hoogte van de laser. In alle drie de concepten is het even goed mogelijk om de specificatie en wens wel of niet te behalen.

2 Het is niet goed mogelijk om te oordelen of de vormgeving van de concepten binnen de omgeving van een ziekenhuis past. Toch wordt gesteld dat dit bij alle drie de concepten van toepassing is, omdat alle apparaten netjes zijn afgewerkt en er schoon en professioneel uitzien. Toch gaat een lichte voorkeur uit naar de vormgeving van concept 3 doordat deze het modernste en daarom het meest professioneel er uit ziet. (zie ook discussie met stakeholders, hoofdstuk 2.3)

3 Bij concept 1 moet het deurtje om de glazen cilinder geopend worden voordat de verpleegkundige naar de borst kan kijken. Dit kost extra tijd, omdat eerst de gehele kast uit te tafel omhoog moet worden gesteld, voordat het deurtje kan worden opgehaald. Het is niet altijd nodig om het bed helemaal omhoog te doen om te kunnen zien of de borst juist is gepositioneerd, zoals in concept 2 en 3. Er kan dus alleen gezegd worden of welk concept het minste voorbereidingstijd nodig heeft. Of de concepten ook aan de specificatie van 5 of 2 minuten voldoen, kan niet worden gezegd.

4 Het is mogelijk om bij alle concepten de bedden in hoogte te verstellen. Het is van de concepten niet af te leiden of ze ook aan de specificaties voldoen. Het hoeft geen probleem te zijn om zowel de eis als wens te interneren. Dit is hooguit afhankelijk van het beschikbare budget.

5 Het is niet daadwerkelijk controleerbaar of de concepten comfortabel zijn om gedurende 15 minuten of langer op te liggen, maar dit is wel aannemelijk. De matrassen van concept 1 en 3 zijn van memory foam, wat ook een hoog comfort geeft bij massagebanken. Ook concept 2 zou moeten voldoen aan de norm, aangezien deze het zelfde comfort heeft als het stereotactisch biopsieapparaat, welke gebruikt wordt in het ziekenhuis. Het comfort van het matras zal afhankelijk zijn van de dikte ervan. Deze is echter in de concepten niet bepaald.

6 Het is mogelijk om op alle drie de concepten in alle voorgestelde houdingen te liggen. Echter is het bij concept 1 en 3 niet goed mogelijk om de knie op te trekken wanneer de zijken van het bed omhoog zijn geklapt.

7 Geen van de concepten heeft extra aandacht besteed aan het gebied rondom de borst. Het is echter wel eenvoudig om dit in het definitieve ontwerp te integreren door simpelweg de rand van de glazen cilinder te bedekken met een zacht materiaal.

8 Concept 2 biedt geen extra oplossing voor het comfort van het hoofd. Dat wil echter niet zeggen dat dit bed niet comfortabel is voor het hoofd. Dit geldt alleen wanneer de patiënt het liefst in de houding met twee armen naar beneden ligt.

9 Er kan van uit gegaan worden dat behandelingen op een van de drie concepten niet onaangenaam is, doordat er gebruik wordt gemaakt van CT.

10 Vrouwen van alle lengtes passen altijd op de bedden van de drie concepten. Echter heeft concept

2 een voetsteun, waardoor het bed kan worden afgestemd op de lengte van de vrouw, waardoor deze comfortabeler ligt.

11 Het is niet te controleren hoeveel borsten gescand kunnen worden met de nieuwe PAM. Als in de concepten de glazen cilinder een omvang heeft, zoals het gat bij het stereotactisch biopsieapparaat (ongeveer 21 centimeter), kunnen vrijwel alle borsten gescand worden. In het Medisch Spectrum Twente is het nog nooit voorgekomen dat een borst niet door het borstgat paste.

12 Er wordt vanuit gegaan dat concept 1 het meest eenvoudig is om te produceren door zijn vierkante vorm. Het lijkt lastig om de gekromde oppervlakken in concept 2 en 3 zelf te maken in BMTI.

Conclusie Uit de toetsing van de eisen van het ligoppervlak blijkt dat alle drie de concepten redelijk tot goed voldoen aan de gestelde eisen. Toch sluit het tweede concept net wat minder aan dan concept 1 en 3, omdat er in concept 2 geen mogelijkheid is om extra steun aan de patiënt te bieden. Als voor een beste concept moet worden gekozen op basis op van het PvE, dan wordt gekozen voor concept 3. Dit concept sluit qua vormgeving beter aan bij de omgeving in een ziekenhuis en vergt de kortste voorbereiding voor dat een behandeling gestart kan worden.

Het vasthouden van de borst



De concepten: zuigmechanisme(1), magneetjes(2), flexibele afsluiting(3) en kleine balletjes(4)(hoofdstuk 2.1)

Eis	Specificatie	1	2	3	4
De oplossing voor het vasthouden van de borst mag het scannen niet hinderen		ja	ja	ja	ja
Een zo groot mogelijk gedeelte van de borst moet gescand kunnen worden ¹	tot aan de tepel	ja	ja	deels	ja
De oplossing voor het vasthouden van de borst is niet onaangenaam voor de patiënt ²	niet pijnlijk	ja	ja	ja	ja
De oplossing voor het vasthouden van de borst mag de borst niet beschadigen		ja	ja	ja	ja
Borsten van verschillende omvang zijn geschikt voor de oplossing om de borst vast te houden ³	95%	deels	ja	ja	ja
Vaardigheid in het bedienen van de oplossing is gemakkelijk te leren voor het verplegend personeel		ja	ja	ja	ja
Het kost zo weinig mogelijk tijd om de ondersteuning van de borst te bevestigen of te plaatsen bij de patiënt		x	x	x	x
De oplossing om de borst op zijn plaats te houden moet gemakkelijk schoon te houden zijn		ja	ja	ja	ja
De oplossing is mechanisch veilig voor alle betrokkenen		x	x	ja	ja
De oplossing is elektrisch veilig voor alle betrokkenen		x	ja	ja	ja
De oplossing voor het vasthouden van de borst is zo goedkoop mogelijk te produceren ⁴		deel	ja	ja	deels

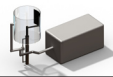
1 Concept 3 hindert mogelijk dat er niet tot zo dicht mogelijk bij de borstkas gescand kan worden, doordat de flexibele afsluiting niet helemaal tegen de borstkas gepositioneerd kan worden. Bij concept 1 en 2 kan de tepel niet gescand worden doordat daar een zuigmechanisme aan bevestigd is.

2 Het kan zijn dat concept 1 en 2 gevoelig zijn voor de tepel van de patiënt door het zuigmechanisme.

3 Het kan zijn dat niet alle tepels geschikt zijn om aan het zuigmechanisme van concept 1 vastgezoogen te worden. Concept 2 kan dit wel oplossen door verschillende onderdelen voor verschillende tepels te maken.

4 Concept 2 en 3 zijn relatief goedkoop te produceren. Concept 2 is namelijk niet elektrisch in tegenstelling tot concept 1. En voor concept 4 moet een systeem aangelegd worden voor de toevoer van de balletjes.

Conclusie Het tweede concept van het vasthouden van de borst, het concept met de magneetjes, sluit het beste aan bij het PvE. Het blijft echter wel de vraag in hoe verre kan worden ingeschat of de concepten daadwerkelijk effectief zijn. Dit zal in de toekomst verder onderzocht moeten worden.



Eis	Specificatie	Wens	CT
De te scannen borst hangt naar beneden			ja
Elke borst kan gescand worden tot zo dicht mogelijk bij de borstkas	< 10 mm afstand	< 7 mm	ja
Het scannen is niet onaangenaam voor de patiënt	niet pijnlijk	niet gevoelig	ja
Zo veel mogelijk verschillende groottes borsten kunnen gescand worden	95%	99%	ja
Vaardigheid in het bedienen van het scansysteem is in een zo kort mogelijke tijd aan te leren voor het verplegend personeel			ja
Technische apparatuur is makkelijk bereikbaar voor technici om aanpassingen te doen tijdens vervollexperimenten			ja
Het scannen van de borst gebeurt met behulp van photoacoustic imaging			ja
Het imagen gebeurt met behulp van CT geometrie			ja
De detector is ter grootte van een A5 formaat en 80 graden gebogen			ja
Als coupling tussen de borst en de detector wordt water gebruikt			ja
De bak met water is van glas en cilindervormig			ja
Laser mag alleen in contact komen met de borst			ja
De borst mag op geen enkele manier beschadigd raken			ja
Het scansysteem is mechanisch veilig voor alle betrokkenen			ja
Het scansysteem is elektrisch veilig voor alle betrokkenen			ja

Conclusie Het CT-geometrie concept sluit volledig aan bij de gestelde wensen. Het concept zal in de toekomst wel verder moeten worden verfijnd.

De watertoevoer

De concepten: gieter(1), kraan(2) en extra reservoir(3) (zie hoofdstuk 2.1)



Eis	Specificatie	1	2	3	Wens	1	2	3
Het water heeft een temperatuur die aangenaam is voor de patiënt	30-32 °C	ja	ja	ja				
De temperatuur van het water mag gedurende een behandeling niet van temperatuur veranderen	±0,5 °C	ja	ja	ja	±0,1 °C	ja	ja	ja
Het water kan na elke behandeling verversd worden		ja	ja	ja				
Het apparaat is elektrisch veilig voor alle betrokkenen		ja	ja	ja				
Het is mogelijk het apparaat automatisch te desinfecteren		ja	ja	ja				
Het kost zo min mogelijk tijd om het water te verversen ¹		nee	deels	ja				
Het gebruikte water is demi-water ²		ja	nee	ja				

1 Concept 1 voldoet het minst aan de eis om in een zo kort mogelijke tijd het water te kunnen verversen. Het kost meer tijd (en energie) om met een gieter het reservoir met water te vullen dan wanneer dit automatisch gaat.

2 Het is niet mogelijk om demi-water te gebruiken wanneer het reservoir (concept 3) is aangesloten op leidingwater.

Conclusie De verschillende concepten van de watertoevoer sluiten allemaal redelijk goed aan bij het programma van eisen. Concept 3 voldoet het best aan het PvE. Bij concept 1 (gieter) en concept 2 (kraan) zal het het verplegend personeel meer tijd kosten om het waterreservoir telkens te vullen. Door een extra reservoir met water dat op de juiste temperatuur is te gebruiken zal voorbereidingstijd worden uitgespaard.

2.3 Discussie met stakeholders

In het Medisch Spectrum Twente is met vier medewerkers geproken over de verschillende ontworpen concepten. De twee radiodiagnostische laboranten, die ook bij de gebruikstest hebben meegewerkt, is naar hun mening gevraagd over de concepten van het ligoppervlak en over het vasthouden van de borst. Met twee technische medewerkers op de dialyse afdeling is gediscussieerd over de mogelijkheden om water op een veilige manier op temperatuur te houden. In deze paragraaf zal worden toegelicht wat uit deze gesprekken naar voren is gekomen.

Radiodiagnostische laboranten

Aan de radiodiagnostische laboranten zijn afzonderlijk de verschillende concepten voorgelegd. Beide laboranten vinden het uiterlijk van alle drie de ligoppervlakken er goed uitzien. Vooral de uitstraling van concept 2 en 3 spreekt hen het meeste aan.

Over het idee om de zijkanten van het bed in hoogte te kunnen verstellen zijn de meningen een beetje verdeeld. Een laborant vindt het omhoogklappen geen nuttige toegevoegde functie. Ze verwacht niet dat het ondersteunen van de zijkant van het lichaam zal bijdragen aan het comfort van de patiënt, maar daar is ze niet zeker van. Ze vindt het niet verkeerd dat het bed opgeklapt kan worden, omdat je zelf kan beslissen of je er gebruik van maakt. Zelf denkt ze dat het omhoogklappen niet veel gebruikt zal worden en dat een plat bed voldoende is. Het ligoppervlak van concept 2, dat erg op het stereotactische biopsieapparaat lijkt, vindt ze het minst geschikt, omdat de helling rondom het borstgat kan zorgen voor een pijnlijke nek of rug van de patiënt. Een plat bed was volgens haar het best. De afsluitbare uitsparing bij het hoofd uit concept 1 en 3 vindt ze een prima idee, dat volgens haar sowieso geïntegreerd moet worden. Bij het stereotactische biopsieapparaat mist ze namelijk echt een uitsparing voor het hoofd. Er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de afstand tussen het de borst en het hoofd bij personen verschilt. Mocht het zo zijn dat een vrouw haar hoofd niet lekker door de uitsparing kan leggen, kan je besluiten om de uitsparing af te sluiten. Bij de vraag welk concept ze het best vindt, kiest de laborante voor concept drie, omdat ze deze het mooiste er uit vindt zien en omdat de glazen bak direct uit de

kast komt, wanneer deze omhoog wordt gesteld. Dat lijkt haar het meest praktisch, omdat je zo in één oogopslag kan zien of de borst goed gepositioneerd is. Van de concepten om de borst vast te houden, twijfelt ze of het genoeg is om de borst op zijn plaats te houden. Ze begrijpt dat het noodzakelijk is om een dergelijke oplossing als een zuigstelsel toe te passen. Daarom kiest ze voor het concept met de magneetjes.

De andere laborant lijkt het een goed idee om de zijkanten van het bed omhoog te klappen. Hij denkt dat dit extra steun kan geven aan het lichaam, omdat de patiënt in de houding met een arm omhoog en een arm omlaag ook al een stukje wordt gekanteld. Of het ook daadwerkelijk bijdraagt aan de lengte waarmee de borst door het bed komt te hangen gelooft hij niet echt en zal volgens hem niet meer dan een minimaal verschil kunnen opleveren.

Het belangrijkste volgens hem is dat de patiënt in een zo comfortabel mogelijke houding ligt. Of dat in de houding met een arm omhoog of met twee armen naar beneden is, doet er niet toe, zolang de arm aan de kant van de te scannen borst maar naar beneden is. Of een van de manieren van het omhoogklappen van concept 1 (de gehele lengte wordt omhoog geklapt) of concept 3 (het bed wordt tot aan de schouder omhoog geklapt) het beste is, kan hij niet inschatten. Als hij de drie concepten in zijn totaliteit bekijkt zou hij ook kiezen voor concept 3, omdat deze er het makkelijkst bedienbaar en het mooist vormgegeven uit ziet. Hij vindt het een goed idee dat de glazen cilinder uit de tafel komt wanneer het bed in hoogte wordt versteld.

De manieren waarop de borst kan worden vastgehouden lijken hem niet heel praktisch, maar hij denkt wel dat dit noodzakelijk is, aangezien een patiënt het niet vol kan houden om 15 minuten lang compleet stil te liggen zonder bijvoorbeeld te zuchten.

Reparateurs dialyse afdeling

Op de dialyse afdeling in het Medisch Spectrum Twente Enschede, is aan de onderhoudsmedewerkers van de dialyse apparaten gevraagd hoe het water in de PAM het beste verwarmd kan worden. De tekening in figuur 2.3.1 is voorgelegd met de vraag of het mogelijk is om op deze manier het water te verwarmen en de temperatuur te reguleren terwijl

het water direct in contact is met de borst van de patiënt.

Het antwoord op deze vraag luidde 'ja', maar er zullen wel extra maatregelen getroffen moeten worden om ervoor te zorgen dat alles veilig is voor de patiënt.

Het is zowel mogelijk om een verwarmingselement in een extern waterreservoir te plaatsen, dat het water naar de glazen cilinder pompt, of om een verwarmingselement in de glazen cilinder zelf te plaatsen. Dit geen verschil voor de veiligheid. Er moet alleen gezorgd worden dat de borst niet in direct contact kan komen met het verwarmingselement. Een diepere cilinder is daarvoor noodzakelijk.

Om koud water op lichaamstemperatuur te brengen zal een relatief groot verwarmingselement nodig zijn. Om de temperatuur vervolgens goed te kunnen bijsturen kan daarnaast een klein verwarmingselement geplaatst worden om de temperatuur constant te houden. In dialyse apparaten is het mogelijk om op een tiende graad precies temperatuur te regelen. Om de temperatuur overal constant te houden zal het tevens nodig zijn om het water in beweging te brengen, zodat het warme water goed gemengd wordt. Waarschijnlijk zal het draaien van de ultrageluiddetector in de cilinder hiervoor voldoende zijn, maar dit zal eerst getest moeten worden.

Om de temperatuur te regelen zijn er uiteraard temperatuursensoren nodig. Wanneer gekozen wordt voor een extern waterreservoir dat water pompt naar de glazen cilinder, zullen er minimaal twee temperatuursensoren nodig zijn. De sensoren moeten in de gaten houden of de temperatuur van het water niet te laag wordt, of niet te hoog. Wanneer het verwarmingselement zich direct in de glazen cilinder bevindt, is er minimaal één temperatuursensor nodig. Echter is het verstandig om in beide gevallen een extra sensor te plaatsen die het werk overneemt, zodra een andere temperatuursensor het begeeft. Dit voorkomt dat het water tot te hoge, en dus voor de patiënt gevaarlijke, temperaturen kan opwarmen.

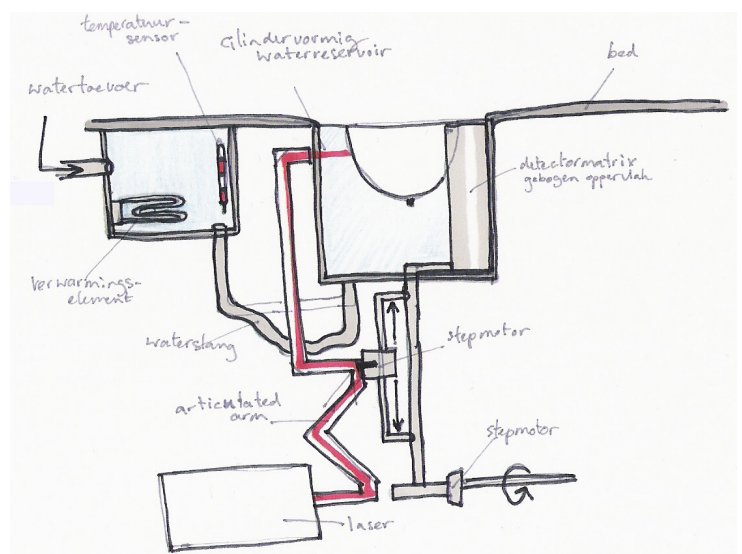
Om extra veiligheid betreffende electrocuterende gevaren te waarborgen is het belangrijk volgens de reparateurs om een goede scheidingstransformator te gebruiken. Dit kan voorkomen dat er ongewenste stromen gaan lopen wanneer er een fout ontstaat in de stroomkring. Er zal rekening gehouden moeten worden met de kosten van een goede scheidingstransformator die al gauw meer dan 800 euro kunnen bedragen.

Als tip voor de verwarmingselementen gaven de reparateurs aan te zoeken naar een verwarmingselement dat intern aan randaarde ligt, maar extern niet. Dit zorgt voor extra veiligheid

wanneer de patiënt in contact komt met andere elektrische apparaten. Ook werd geadviseerd om zoveel mogelijk laagspanningsonderdelen te gebruiken voor steppermotoren of waterpompjes. Dit brengt minder risico's met zich mee.

In ziekenhuizen gelden strenge eisen wat betreft stroomgebruik. Medische ruimtes worden verdeeld in elektrische veiligheidsklassen S-1, S-2 en S-3. Een S-3 kamer is noodzakelijk bij het gebruik van elektrische apparatuur in de bloedbaan in het coronaire gebied, zoals operatiekamers. S-3 kamers zijn hier speciaal voor gebouwd, opdat veiligheid van patiënt en medewerkers gewaarborgd wordt. Het systeem van de PAM zal een behandelkamer nodig hebben met minimaal de veiligheidsklasse S-2. Bij het organiseren van testen op de nieuwe PAM zal er dus rekening gehouden moeten worden met de mogelijkheid van het gebruiken van zo'n kamer. Ook geven de mannen de tip om onderdelen die in aanraking komen met het water te desinfecteren. Hier zijn verschillende mogelijkheden voor. Bij dialyseapparaten wordt doorgaans de temperatuur van het water tot 80 graden Celsius gebracht om alle bacteriën te doden. Ook kan gedacht worden aan een chemische reiniging, door bijvoorbeeld azijnzuur of alcohol als spoelmiddel te gebruiken. Er moet bij deze methodes rekening gehouden worden met de keuze van de materialen waar het water mee in contact komt. Deze moeten bestand zijn tegen de hoge temperaturen en/of chemische bestanddelen van het reinigende middel.

Al met al is tot de conclusie gekomen dat het zeker mogelijk is om het systeem elektrisch veilig te maken, maar dit zal een aanbeveling zijn om verder te gaan onderzoeken.

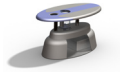


FIGUUR 2.3.1- CT IN DE PAM: globale tekening van hoe CT geometrie er in de nieuwe PAM komt uit te zien

2.4 Conceptkeuze

In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk zal worden toegelicht welke concepten worden uitgewerkt tot een definitief ontwerp.

Het ligoppervlak



De drie concepten voor het ligoppervlak zijn alle drie prima ontwerpen voor de nieuwe PAM. Er is gekozen om concept 3 uit te werken. De belangrijkste beweegredenen hiervoor zijn dat de vormgeving van concept 3 het meest aantrekkelijk is en ook goed in de omgeving van een ziekenhuis past. De voorkeur van de laboranten gaat ook uit naar concept 3 (hoofdstuk 2.3). De vormgeving vinden ze ook de beste keus, maar vinden ze het ook handig dat de glazen cilinder in de kast kan zakken. De borst is daardoor sneller zichtbaar dan wanneer een deurtje open gedaan moet worden (concept 1 en 2). In de toetsing van het programma van eisen komt concept 3 ook als beste naar voren, hoewel de andere twee concepten niet veel onder doen. Het verschil zit hem in de tijd dat het kost om een patiënt voor te bereiden op een behandeling, doordat de glazen cilinder sneller zichtbaar wordt. Daarnaast is het direct uit de kast komen van de glazen cilinder ook gebruiksvriendelijk te noemen. De glazen cilinder wordt met een druk op de knop (of voetbediening) zichtbaar. Van het tot op schouderhoogte kunnen opklappen van de zijkanalen van het bed kan meer comfort geven aan de patiënt en helpen om de borst dieper door het bed te laten hangen. Er zal in de toekomst nader bekeken moeten worden in hoe verre deze uitspraak waar is. Toch is het een goed idee om de opklapfunctie in het uiteindelijke ontwerp te integreren, omdat tijdens een behandeling op de PAM besloten kan worden om de functie wel of niet te gebruiken. De patiënt ondervindt uiteraard geen hinder van de opklapbare zijkant wanneer deze naar beneden is gesteld.



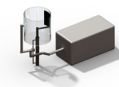
Het vasthouden van de borst

De verwachting is dat van de vier voorgestelde concepten de twee concepten met de zuigmechaniek het meest effectief en haalbaar zijn om te integreren in het definitieve herontwerp van de PAM. Uit de gebruikstest (hoofdstuk 1.2) blijkt dat het

vasthouden van de borst aan de tepel helpt om bewegingen van de borst tegen te gaan. Het moet mogelijk zijn om een zuigmechanisme op de tepel te bevestigen. Er wordt gekozen om het zuigmechanisme dat met behulp van magneetjes gepositioneerd wordt te gebruiken. Dit concept maakt het gemakkelijk voor het verplegend personeel om de borst te positioneren. Bovendien is er geen elektrisch systeem nodig en kan het concept geschikt gemaakt worden voor verschillende soorten tepels.

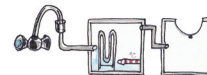
Het concept met de transparante bolletjes is ook een goede manier om de borst te stabiliseren. Het is echter heel lastig vast te stellen of het een haalbaar concept is. Om hier uitspraken over te kunnen doen, zal dit eerst verder onderzocht moeten worden.

De laboranten hebben ook het meeste vertrouwen in het concept met de magneetjes (hoofdstuk 2.3). Al met al is daarom gekozen om dit concept verder uit te werken.



CT geometrie

Er is één concept voor gesteld voor de manier waarop CT geïntegreerd kan worden in de PAM. Het concept voldoet aan alle gestelde eisen uit het programma van eisen (hoofdstuk 2.2). Het concept kan verder uitgewerkt worden tot een werkend model. Dit uitwerken zal in de toekomst gedaan worden door BMTI en zal niet verder in dit verslag ter sprake komen.



Watertoevoer

Uit de toetsing van het programma van eisen en wensen blijkt dat de drie concepten voor de watertoevoer (gieter, kraan en extern waterreservoir) goed voldoen aan de gestelde eisen en benoemde wensen. Verschil is te vinden in de snelheid waarmee het water ververs kan worden. Het eerste concept waarbij water met een gieter in het reservoir wordt gegoten valt daardoor als eerste af. Het proces van water verversen is voor het verplegend belastend en tijdrovend. De andere twee concepten zijn beide geschikt om te integreren in het herontwerp van de PAM.

Uit de discussie met stakeholders (hoofdstuk 2.3) blijkt dat

het van de overige twee concepten voor de veiligheid niet uitmaakt welk concept wordt gekozen.

Toch is de conceptkeuze gevallen op het concept waarbij een extern waterreservoir is geplaatst naast het reservoir voor de borst. In beide reservoirs zal zich apparatuur bevinden om de temperatuur van het water te reguleren. Het zou goedkoper zijn om een warmwaterkraan direct aan het reservoir te koppelen. Er zijn dan namelijk minder onderdelen nodig. Maar omdat het niet mogelijk is om water direct uit de waterleidingen te tappen, omdat er demi-water nodig is voor fotoakoestiek, zal altijd een extra reservoir nodig zijn voor de opslag van dit demi-water. Bovendien kan het water in het reservoir continu op de juiste temperatuur zijn en direct scanklaar worden gemaakt door het laten lopen van het water naar het reservoir voor de borst. Wanneer het water direct uit de kraan zou komen, zal het eerst op de juiste temperatuur moeten worden gebracht, alvorens het scannen kan worden begonnen. Het kiezen van een extra reservoir kost dus iets minder voorbereidingstijd.

Een deel van de gekozen concepten wordt verder uitgewerkt. In hoofdstuk drie is hiervan verslag gedaan. Het gaat om de gekozen concepten van het ligoppervlak en het vasthouden van de borst. Ook het concept van de toevoer van het water zal iets verder worden uitgewerkt.

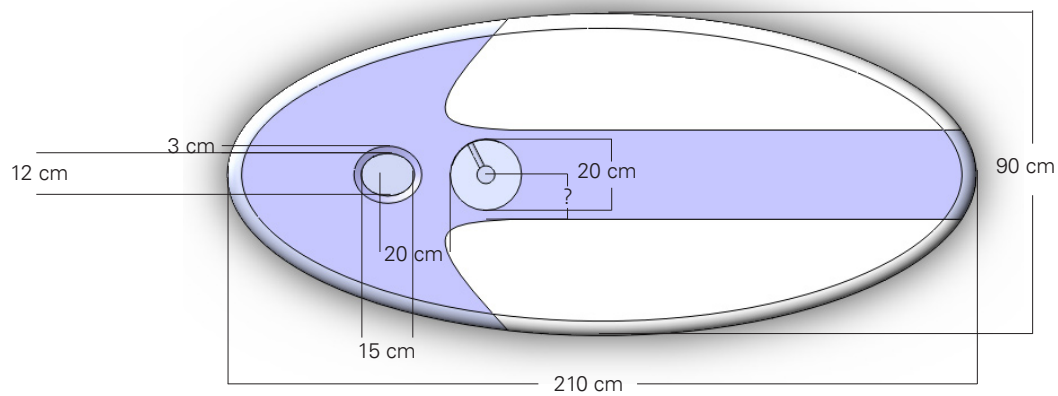
Detail

3.1 Het definitieve ontwerp

3.2 Productie en kosten

• Hoofdstuk 3

lering



3.1 Het definitieve ontwerp

Het definitieve ontwerp ziet er hetzelfde uit als concept 3 van het ligoppervlak (figuur 3.1.1). Sommige onderdelen zijn verder gedefinieerd en worden in dit hoofdstuk besproken. Van het definitieve ontwerp is ook een schaalmodel vervaardigd om het ontwerp beter te kunnen bekijken (figuur 3.1.2).

Afmetingen

De afmetingen van het bed zijn gebaseerd op de lichaamsmaten van de mens. De lichaamsmaten die in deze paragraaf gebruikt worden, zijn afkomstig uit antropometrie tabellen met statistische gegevens van de Nederlandse vrouw tussen de 20 en 60 jaar (DINED 2004, bijlage E). Er wordt vanuit gegaan dat deze maten voldoende overeenkomen met de maten van vrouwen boven de 60 jaar. In bijlage E zijn de gebruikte tabellen te vinden.

In het programma van eisen staat dat 99% van de verschillende lengtes van vrouwen op het bed moeten kunnen liggen. In plaats van een uitschuifbare voetensteun, zal een enkelrol geleverd worden. Dit ligt misschien zelfs prettiger dan een voetensteun, omdat de enkel hierdoor verhoogd wordt en de voet naar beneden kan wijzen. Door het gebruik van een enkelrol zal het bed in ieder geval zo lang moeten zijn dat de

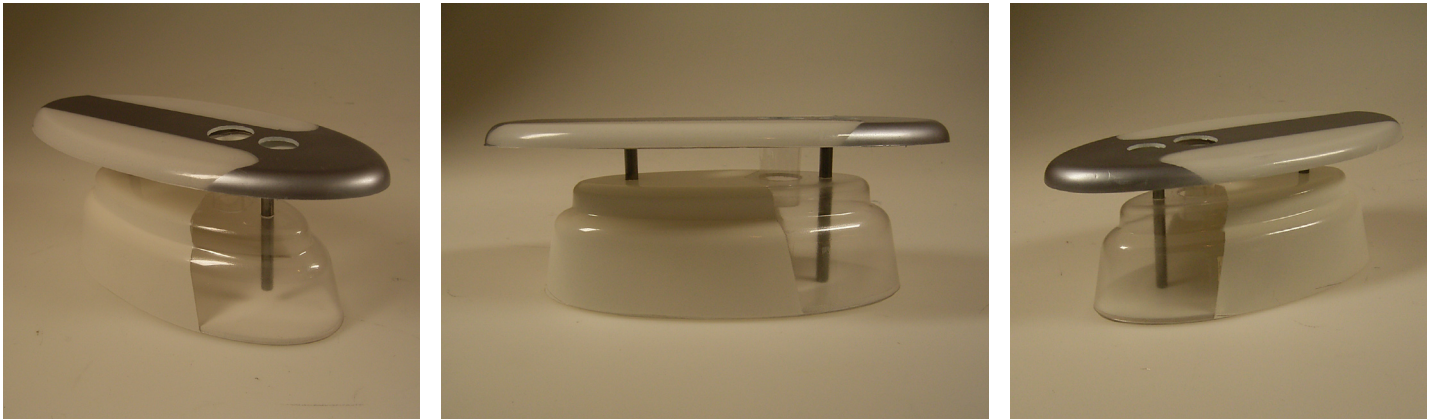
enkel van de vrouw nog op het bed komt te liggen. Ook zal de reikhoogte meegenomen moeten worden, aangezien de vrouw met haar armen omhoog moet kunnen liggen. Er is daarom gekozen om P_{99} van de reikhoogte van de vrouw te kiezen als maat voor het bed. Deze is afgerond 2 meter 10.

De vrouw zal zowel links als rechts op het bed komen te liggen, afhankelijk van welke borst gescand wordt. De gemiddelde schouderbreedte van vrouwen tussen de 20 en 60 jaar is 42 centimeter. Het lijkt daarom voldoende om het breedste punt van het ovale oppervlak, dat meestal ter hoogte van de heup zal komen te liggen, twee keer de afstand van de schouderbreedte te maken. Dit komt neer op zo'n 90 centimeter. Een belangrijke afstand is ook de afstand van het scharnierpunt van het opklapbare deel van het bed en het borstgat. Het is lastig om uit de beschikbare tabellen hier de juiste bemating voor te vinden. Dit zal dan ook een aanbeveling zijn om verder te onderzoeken.

Het borstgat zelf moet groot genoeg zijn voor 95% van de vrouwen. In het stereotactische biopsieapparaat in het MST is opgemeten hoe groot het gat daar is. Dit bleek een diameter van 20 centimeter te hebben. Aangezien de laboranten in het MST nog nooit hebben meegemaakt dat een borst te groot was voor dit gat, wordt er vanuit gegaan dat een gat met



FIGUUR 3.1.1 - HET LIGOPPERVLAK



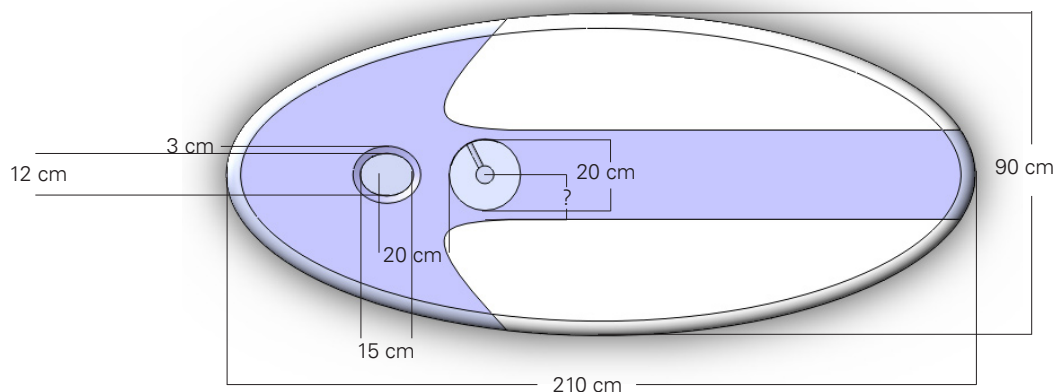
FIGUUR 3.1.2 - HET LIGOPPERVLAK: foto's van het zichtmodel

eenzelfde diameter voldoet voor de PAM.

De patiënte zal met haar voorhoofd op de rand van de uitsparing voor het hoofd komen te liggen. Deze rand is zo'n drie centimeter en loopt met een kleine helling naar beneden. De lengte van de uitsparing tussen de twee randen is 15 centimeter gemaakt. Deze lengte is afgeleid uit antropometrietabellen van de Belgische vrouw tussen de 18 en 65 jaar (dinbelg 2005, bijlage E), omdat de Nederlandse tabellen geen informatie geven over hoofdlengtes. P_1 van de hoofdlengtes van de Belgische vrouw is 17 centimeter en P_{99} is 20 centimeter. Op deze manier past elk hoofd in de lengte op de rand van de uitsparing. Ditzelfde is gedaan voor de breedte van de hoofduitsparing. P_1 van de hoofdbreedte is 13 centimeter en P_{99} 15,5 centimeter (dinbelg 2005). Alle hoofden moeten dus gemakkelijk op de rand van de hoofduitsparing kunnen rusten.

Het is hierbij wel belangrijk dat de afstand tussen de uitsparing

van het hoofd en de borst goed gekozen wordt. Hiervoor is het verschil in afstand tussen de gemiddelde ooghoogte en de gemiddelde schouderhoogte genomen. Dit is 20 centimeter. Of dit daadwerkelijk de meest ideale maat is, kan niet met zekerheid worden gezegd, maar zal wel een goede benadering zijn. Bij het gebruik van het bed kan alsnog ter plaatse gekozen worden om de hoofduitsparing wel of niet te gebruiken. De dikte van het matras bepaalt een groot deel van het comfort voor de patiënt. Het maakt niet uit hoe dik het matras is, zolang het rondom de borstuitsparing maar zo dun mogelijk is. Er is gekozen om het matras van memory foam te maken, zoals ook de trend is bij massagebanken. De dikte van het matras is hier ook van afgeleid. De meest comfortabele massagetafels hebben een matras met een dikte van 7 à 8 centimeter. De Philips optical mammoscope heeft ook een matrasdikte van zo'n 7 centimeter. Voor de PAM zal een matras met een dikte van 7 à 8 centimeter daarom een goede



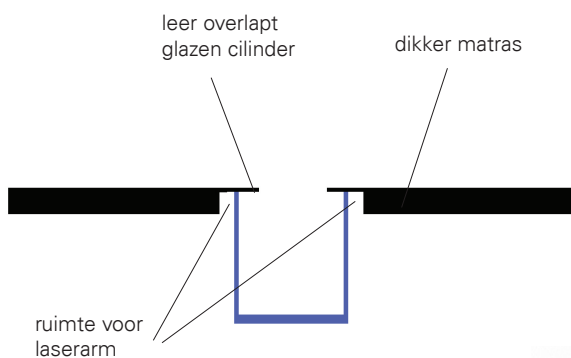
FIGUUR 3.1.3- HET LIGOPPERVLAK: afmetingen van verschillende delen van het bed

keus zijn.

Rondom de uitsparing van de borst, kan het bed geen 7 centimeter dik zijn. De dikte hiervan zal maximaal 1 centimeter mogen zijn volgens het programma van eisen. Echter is het wenselijk om het matras nog dunner te maken. Een aanbeveling is dan ook om te onderzoeken hoe dun het matras daar kan zijn, terwijl het bed nog steeds comfortabel is. En of het beter is om in de zone rondom het borstgat een ander materiaal dan memoryfoam te gebruiken.

In het concept is geen aandacht besteed aan de rand van de uitsparing voor de borst. Uit het gebruiksonderzoek in hoofdstuk 1.2 bleek deze vooral een pijnlijk drukpunt van de huidige PAM. Dit probleem kan gemakkelijk opgelost worden door informatie uit het stereotactische biopsieapparaat te halen. Daar overlapt een stukje leer de uitsparing, waardoor de druk rondom de borst verdeeld wordt. Als het ware zakt het leer iets door het gat. In de PAM kan dit ook worden toegepast door het matras iets over de glazen cilinder door te laten lopen. De laser moet de hoogte kunnen bereiken tot aan de onderkant van het dunne gedeelte van het matras. In figuur 3.1.4 is een doorsnede gegeven van hoe dit er uit moet komen te zien.

Het bed is in hoogte verstelbaar. Dit gebeurt met behulp van een hydraulisch systeem. Het bed kan van 65 tot 160 centimeter versteld worden, zoals de wens is in het programma van eisen. In hoofdstuk 1.5 wordt toegelicht waarom voor deze hoogtes is gekozen.

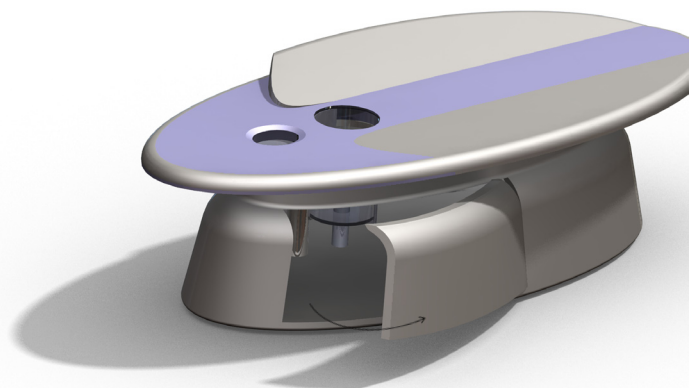


FIGUUR 3.1.4 - RAND: doorsnede van het bed ter hoogte van de glazen cilinder

De zijkanten van het bed zijn ook in hoogte verstelbaar. Dit gebeurt ook met behulp van een hydraulisch systeem. De hoek die maximaal gemaakt kan worden zal maximaal 90 graden hoeven te zijn. Tot welke hoek precies zal worden opgeklapt zal afhankelijk kunnen zijn van de technische mogelijkheden.

Het apparaat moet een bedieningspaneel hebben om gestart te kunnen worden. In de huidige PAM wordt dit met behulp van een pc gedaan die naast het apparaat op een tafel staat. Er zal bij het herontwerp van de PAM ook een computer nodig zijn die de metingen kan opslaan en verwerken. Het is voor de laborant echter prettiger om over een aparte display op de PAM te beschikken, waarmee het scannen kan worden gestart. Men kan met hetzelfde bedieningspaneel ook de hoogte van het bed en het opklappen van de zijkanten bedienen. Het is ook een optie om deze instellingen met behulp van een voetbediening te laten plaatsvinden. Bij het stereotactische biopsieapparaat gebeurt dit ook zo. Wat exact de handigste manier is om het apparaat te bedienen zal ook een aanbeveling zijn om verder te onderzoeken.

In het concept is voor technici een schuifdeur in de kast gemaakt om gemakkelijk bij de apparatuur in de kast te kunnen komen. Een schuifdeur is ideaal, omdat de deur zelf door het wegschuiven niet in de weg kan zitten. Echter is in het concept niet goed over nagedacht dat het onhandig is om een gekromde deur via een schuifmechanisme open te doen. Daarom kan beter gekozen worden voor een deur die naar buiten opklapt. In figuur 3.1.5 is te zien hoe dit er uit komt



FIGUUR 3.1.5 - KAST: openklappende deur om apparatuur te kunnen bereiken

te zien.

In de render (figuur 3.1.1) is te zien dat het apparaat verschillende kleuren heeft. De kleuren zijn gebaseerd op het feit dat het apparaat een hygiënische uitstraling moet hebben en in een ziekenhuisomgeving moet passen. Er is daarom gekozen om het grootste gedeelte van het apparaat wit te maken. Wit is een kleur die veelal geassocieerd wordt met schoon en bovendien zijn veel andere apparaten ook wit van kleur. Het middelste gedeelte van de tafel heeft een heldere lichtblauwe kleur om het apparaat wat aansprekender te maken. Er kan echter prima voor andere kleuren gekozen worden, zolang het maar neutrale kleuren zijn.

Computed Tomography

In het hoofdstuk concepten (2.1) is beschreven hoe de CT geometrie er ongeveer uit komt te zien. BMTI zal dit concept zelf verder moeten uitwerken en zal dus in dit hoofdstuk niet verder worden gedefinieerd.

Zuigmechanisme met magneetjes

Er is beschreven dat er verschillende opzetstukken gemaakt kunnen worden voor verschillende soorten tepels. Omdat tepels heel divers van formaat kunnen zijn is besloten om vijf verschillende groottes opzetstukken te maken. De vorm hiervan lijkt op opzetstukken van kolfsystemen (figuur 3.1.6). Er zal ervoor gezorgd moeten worden dat alleen de tepel wordt bedekt door het opzetstuk en zo min mogelijk van de tepelhof. Dat betekent dat de opzetstukken kleiner moeten worden dan die van kolfsystemen. Hoe groot dit precies is, kan zonder verder onderzoek te doen niet worden gezegd. De werking van het concept blijft ongewijzigd. Het opzetstuk kan met behulp van een mechaniekje aan de tepel worden vastgezogen. Dit wordt gedaan door een stang uit het opzetstuk te trekken die voor de vacuüm afsluiting zorgt. Hetzelfde systeem wordt gebruikt bij spuiten (figuur 3.1.7). Het uitgetrokken stangetje moet vastgezet worden (doordat het bijvoorbeeld in verschillende stangen kan springen) zodat de vacuüm zuiging aanwezig blijft.

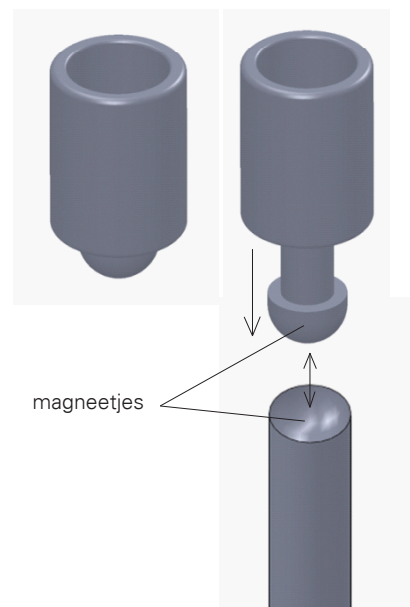
Verder is aan het uiteinde van het stangetje een magneetje geplaatst, net als het uiteinde van de stang die zich in de glazen cilinder bevindt. In figuur 3.1.8 is weergegeven hoe het systeem werkt.



FIGUUR 3.1.6 - HANDKOLFSYSTEEM



FIGUUR 3.1.7 - SPUIT



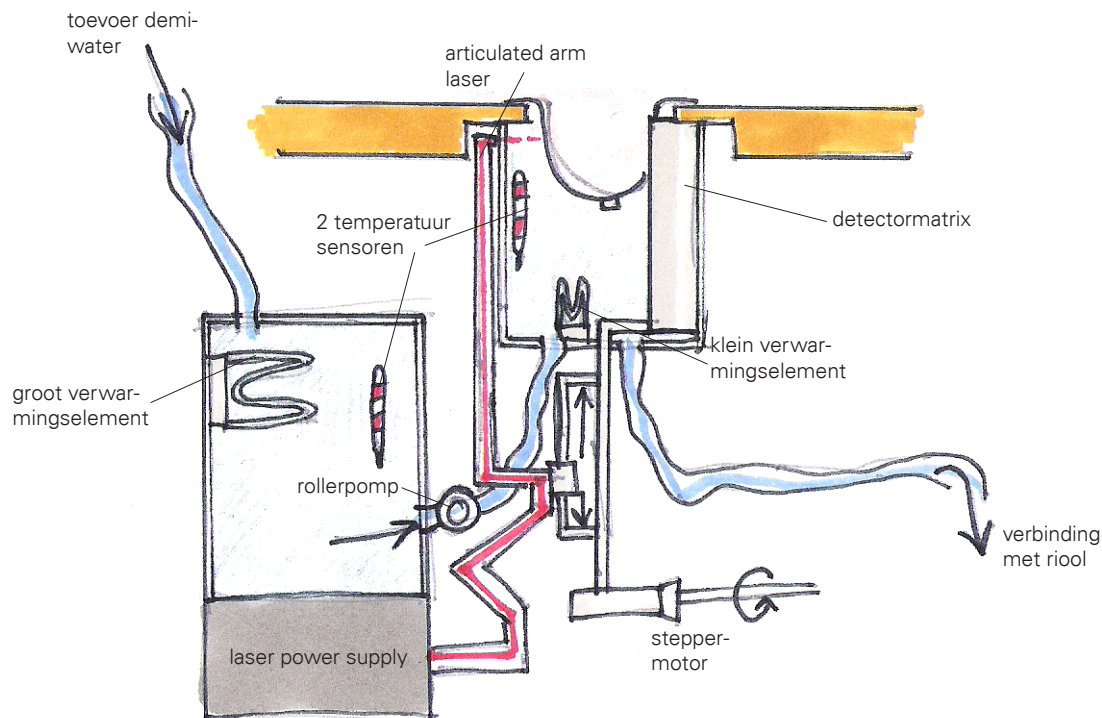
FIGUUR 3.1.8 - ZUIGMECHANISME MET MAGNEETJES

Extern waterreservoir

Naar aanleiding van de discussie met twee medewerkers op de dialyse afdeling (hoofdstuk 2.4) is het schema van de watertoevoer aangepast. In figuur 3.1.9 is te zien hoe het schema er nu uitziet. Het extra waterreservoir heeft een iets groter volume dan het reservoir voor de borst. Op deze manier zal er altijd genoeg water zijn om de glazen cilinder te vullen. De vorm van het extra waterreservoir is niet van belang en is vierkant gemaakt. Het externe waterreservoir kan via een slang, die eindigt buiten de kast, gevuld worden met demi-water. De plaats van het externe reservoir is in de kast van het apparaat. De glazen cilinder kan uit de kast omhoog worden gehaald wanneer het bed in hoogte wordt versteld. Het externe reservoir echter niet, maar dit zal wel in verbinding met de glazen cilinder moeten staan voor de toevoer van het water. De verbinding wordt gerealiseerd door een flexibele waterdichte slang waar het water door heen kan lopen. Het water wordt gepompt naar de glazen cilinder met

behulp van een rolerpomp. Het uiteinde dat vastzit aan de glazen cilinder is bevestigd aan de onderkant van de cilinder. Dit is noodzakelijk, omdat de slang anders de CT geometrie, die apparatuur rondom de cilinder beweegt, in de weg zit. Tevens is aan de onderkant van de cilinder nog een waterslang bevestigd die de afvoer van het water realiseert. Het water kan worden afgevoerd via een leiding die rechtstreeks naar het riool loopt.

Verder bevinden zich twee temperatuursensoren in het systeem. Een in het externe reservoir en een in de glazen cilinder zelf. Deze sensoren zijn gekoppeld aan de verwarmingselementen die zich ook in beide ruimtes bevinden. Een groot verwarmingselement is geplaatst in het externe reservoir, zodat het water snel op temperatuur kan worden gebracht. En een kleine die temperatuurschommelingen makkelijk tegen kan gaan in de glazen cilinder zelf.



FIGUUR 3.1.9 - WATERTOEOVOER: *nieuw schema voor de watertoevoer*

3.2 Productie en kosten

Het hoofdstuk materialen en kosten is min of meer een ondergeschoven kindje in deze bacheloropdracht. Dit komt omdat het niet mogelijk is om een goede kostenraming te maken aangezien veel informatie over kosten van leveranciers van de verschillende onderdelen zal moeten komen. Toch is er gekozen om een kleine kanttekening te maken bij twee te produceren onderdelen: de kast van het apparaat en het hydraulisch systeem. BMTI zal zelf moeten kijken waar en wat precies binnen de mogelijkheden ligt.

De kast

De kast van het ligoppervlak heeft veel ronde vormen in zich en zal dus moeten gevormd moeten worden van een geschikt materiaal. Omdat het in het herontwerp gaat om een enkelstuks oplage, kan het beste voor een glasvezel kast gekozen worden. Er zal een mal gemaakt moeten worden van de kast, waarover de glasvezelmat heen wordt gevormd. De buitenkant van de kast kan met een laag akryl mooi glad gemaakt worden en eventueel worden geverfd in de gewenste kleur. Het handigst is om dit onderdeel door een extern bedrijf te laten maken. Waarschijnlijk kan men voor een dergelijke productie het best terecht bij een (lig)badenvabrikant. Veel baden zijn namelijk ook gevormd van glasvezel met daaroverheen een akryllaag.

Het in hoogte verstellen van het bed

Het in hoogte verstellen van het bed zal moeten gebeuren met behulp van een hydraulisch systeem. Een op maat gemaakt hydraulisch systeem zal flink in de kosten gaan lopen. Het is daarom beter om te zoeken naar hydraulische systemen uit oude apparatuur om deze her te gebruiken. Een nieuw hydraulisch systeem zal al gauw meer dan 20.000 euro kosten en dat past zeker niet in het budget voor het prototype.

Evalu

4.1 Conclusie

4.2 Aanbevelingen

atie

Hoofdstuk 4



4.1 Conclusie

Terugblikkend op het verloop van deze bacheloropdracht kan geconcludeerd worden dat het gelukt is om een herontwerp voor een nieuw prototype van de PAM te presenteren.

Het verloop van de opdracht heeft nieuwe kennis opgeleverd over eisen die aan de PAM gesteld moeten worden.

Op het ergonomische gebied zijn meerdere aandachtspunten in kaart gebracht door een gebruikstest uit te voeren. Deze informatie is naast belangrijk voor het herontwerp van de PAM ook belangrijk wanneer BMTI vervollexperimenten met de PAM gaat doen. Zo is bekend geworden in wat voor houding de patiënt het beste op het bed kan liggen en dat het noodzakelijk is om een oplossing te bedenken die het bewegen van de borst tegengaat. Ook heeft het doen van interviews en de gebruikstest meer inzicht gegeven over de gevoelens van patiënten.

Het comfort voor de patiënt is een stuk verbeterd door de dikte en samenstelling van het matras te veranderen. Ook is gekeken hoe het scannen tot zo dicht mogelijk tegen de borstkas aan te realiseren is. Vervelende drukpunten zijn benoemd en daarvoor zijn ook oplossingen aangedragen. Door andere soortgelijke medische apparaten te bekijken en te vergelijken met de PAM zijn verschillende praktische ideeën opgedaan. Op deze manier is het apparaat aangepast om het

apparaat zo gebruiksvriendelijk mogelijk te maken. Het bed kan in hoogte versteld worden en het positioneren van de borst is veranderd.

Het integreren van Computed Tomography heeft verschillende voordelen met zich meegebracht. Het lijkt geen probleem te zijn om CT te integreren in de PAM op de manier die BMTI voor ogen heeft.

Ook de vormgeving van de PAM is aangepast en meer aantrekkelijk ogend gemaakt. De uitstraling van het apparaat is meer professioneel en veilig geworden.

Het ontwikkelen van meerdere concepten voor verschillende functionaliteiten heeft ervoor gezorgd dat BMTI meerdere ideeën kan gebruiken.

Het gepresenteerde herontwerp is niet zo ver gedefinieerd dat het prototype ook daadwerkelijk gebouwd kan worden.

Dit valt ook buiten de opdrachtsomschrijving. Sommige ontwerpbeslissingen konden niet getest worden en daarom is ook het advies om het herontwerp door te ontwikkelen en delen verder te onderzoeken. In het volgende hoofdstuk (4.2 aanbevelingen) wordt toegelicht welke aandachtspunten en mogelijkheden uit het herontwerp verder onderzocht kunnen worden.

4.2 Aanbevelingen

Het ontwerp dat in dit verslag gepresenteerd is, kan niet direct gemaakt worden. Er worden in deze paragraaf dan ook aanbevelingen gedaan om verschillende ontwerpaspecten in de toekomst te onderzoeken.

Allereerst is het belangrijk dat men zich realiseert wat het doel is van het prototype dat BMTI wil gaan maken. Dit is het verder onderzoeken van de toepassing van photoacoustics in mammografie. Omdat echte patiënten als proefpersonen gebruikt worden, is het noodzakelijk dat het bed voor de patiënt zo comfortabel mogelijk is. Tegelijkertijd speelt geld een belangrijke rol in de ontwikkeling van het prototype. Het is daarom een aanbeveling om te onderzoeken welke ontwerpaspecten uit dit verslag echt belangrijk zijn en welke achterwege gelaten kunnen worden. Zo is het misschien niet nodig om het bed in hoogte te verstellen, aangezien een patiënt altijd wel op het bed kan komen met hulp en is het voor de laboranten niet onmogelijk om te bukken om onder het bed te kijken. Een keuze voor een dergelijke toepassing kan dus gebaseerd worden op het beschikbare budget. In plaats daarvan is het een idee om een camera te gebruiken die de glazen cilinder filmt. Via een beeldscherm kan bekeken worden of de borst juist is gepositioneerd. Deze oplossing zal een hoop geld kunnen besparen. Er moet dan wel gekeken worden of dit een medisch-etisch toelaatbare oplossing is.

Een ander aandachtspunt is het opklappen van de zijkan-ten van het bed. Dit is, net als het in hoogte verstellen van het bed, een extra toegevoegde functie. Het is een goed idee om verder te onderzoeken in hoe verre het nuttig is om de zijkan-ten van het bed te kunnen opklappen. Dit kan gedaan worden door middel van het maken van een functioneel model. Daarnaast is het ook een idee om de zijkant van het bed in meerdere delen te kunnen opklappen. Dit kan nuttig zijn wanneer de patiënte graag haar knie wil optrekken, zoals ook bij de optical mammoscope van Philips gebeurt. De manier waarop het bed het beste omhoog kan worden geklapt, zal ook beter bekeken moeten worden.

Een belangrijke aanbeveling is het testen van de oplossingen voor het vasthouden van de borst middels functionele modellen. Het is aan de hand van de gemaakte concepten niet te voorspellen of de concepten zullen bijdragen aan het tegengaan van bewegingen van de borst.

In het MST is gesproken met Tonnie Keijzers over het verwarmen van water op een voor de patiënt veilige manier. Dit overleg was zo nuttig dat het een aanbeveling is bij het ontwerp voor het verwarmen van het water deze man te betrekken. Op dit moment is het ontwerp alleen uitgewerkt tot een schematische weergave. In de toekomst moet hieraan gesleuteld worden tot een produceerbaar ontwerp.

De bemating van het ontwerp is grof beschreven, maar zal verder gedefinieerd moeten worden. Zo zal onderzocht moeten worden hoe dik en welke samenstelling het matras rondom de glazen cilinder moet hebben.

Wanneer wordt gekozen om de zijkan-ten van het bed op te kunnen klappen, zal precies moeten worden bekeken welke afstand het borstgat tot het scharnierpunt moet hebben.

Philips heeft in haar optical mammoscope de warmte die vrijkomt door activiteiten van technische apparatuur gebruikt om het bed te verwarmen. Een dergelijk simpele oplossing zal in de toekomst meegenomen kunnen worden.

Tot slot is het een aanbeveling om de bediening van het apparaat voor het verplegend personeel onder de loep te nemen. Zo kan gekeken worden wat de beste manier is om het bed in hoogte te verstellen, de zijkan-ten op te klappen, het water in en uit het reservoir te laten lopen en om het scannen te starten. Het kan zijn dat dit een combinatie is van bijvoorbeeld een display en een voetbediening. Of misschien is het juist handiger om alle functies via een interface te kunnen bedienen.

Literatuur

Kharine A, Manohar S (2003) *Poly(vinyl alcohol) gels for use as tissue phantoms in photoacoustic mammography*. Phys. Med. Biol. 48 (2003) 357–370

Koninklijke Philips Electronics N.V. (2004-2008) *Optical Mammography*, http://www.apptech.philips.com/healthcare/projects/optical_mammography.html, accessed 21 okt. 2008

Kruger RA, Stantz KM, Kiser WL (2002) *Thermoacoustic CT of the breast*. Proc. SPIE 4682 521–5

Manohar S, Vaartjes SE, Van Hespen JCG, Klaase JM, Van den Engh FM, Steenbergen W, Van Leeuwen TG (2007) *Initial results of in vivo non-invasive cancer imaging in the human breast using near-infrared photoacoustics*. Opt. Express 15, 12277-12285

Medisch Spectrum Twente (2004) *Mammacare*, <http://www.mstwent.nl/mammacare>, accessed 21 okt. 2008

Molenbroek JFM (2004) *Dataset 'Nederlandse volwassenen' Populatie 'DINED 2004 (20-60 jaar)'*, <http://www.dined.nl>, accessed 5 jan. 2009

Motmans R, Ceriez E (2005) *Ergonomie RC*, <http://www.dinbelg.be>, accessed 28 nov. 2008

Seno Medical Instruments Inc. (2006-2008) *San Antonio Breast Cancer Symposium*, <http://www.senomedical.com>, accessed 21 okt. 2008

Techniscan Medical Systems (2005) *Ultrasound CT*, <http://www.techniscanmedicalsyste.ms.com>, accessed 21 okt. 2008