

De ontwikkeling van



*** Joint Measurement Application**

Een applicatie om de 3D kniehoek te berekenen door gebruik te maken van twee 2D aanzichten van de kniehoek.

J.G.H. de Jonge 10062114

Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

15-04-2014 – 20-10-2014

De ontwikkeling van



*Joint Measurement Application

Een applicatie om de 3D kniehoek te berekenen door gebruik te maken van twee 2D aanzichten van de kniehoek.

J.G.H. de Jonge 10062114

Opleiding Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool

Eerste begeleider: H. Faber

Tweede begeleider: C.A.M. Doorenbosch

15-04-2014 – 29-10-2014

1. Voorwoord

Als vierdejaars studente Bewegingstechnologie was ook ik aan de beurt om af te studeren. Het onderwerp van dit afstuderen mag door de studenten zelf gezocht worden. De aanleiding voor het starten van mijn scriptie was de derdejaars stage van de opleiding. Tijdens deze periode van 4 maanden ben ik stagiaire geweest bij het bewegingslab van Sophia Revalidatie te Delft. Met Martijn Stoker als mijn begeleider heb ik enorm veel geleerd van de praktijk van de gangbeeldanalyse, waarvoor nogmaals mijn dank. Wat mij opviel bij het meten van de kniehoeken was dat door een gedraaide heup de kniehoek vertekende in het beeld. Hiervoor was geen oplossing beschikbaar. Dit gaf mij een onbevredigd gevoel maar ik wist niet hoe ik dit goed kon verwerken in een afstudeerwaardige opdracht. Hier kwam Aad Lagerberg in beeld om samen met mij een plan op te zetten.

Tijdens het gehele proces heeft Herre Faber mij als eerste begeleider geholpen wanneer ik er zelf even niet meer uit kwam. Zijn expertise in Matlab maakte Herre tot een zeer prettige begeleider. Pas tegen het eind van de afstudeerperiode kwam Caroline Doorenbosch in beeld om mijn stuk te voorzien van feedback. Haar ervaring in de gangbeeldanalyses vulde mijn begeleidend team goed aan. Met de feedback van mijn beide begeleiders en andere externe lezers is mijn scriptie geworden tot wat het nu is. Mijn dank daarvoor, ik ben er zeer tevreden over.

Den Haag, 20-10-2014

2. Samenvatting

In de meeste gevallen start het traject van een persoon met een beperkt looppatroon die dit wil verbeteren met een gangbeeldanalyse (GBA). Tijdens een GBA worden frontale/dorsale en sagittale¹ video's en spieractiviteiten opgenomen. Met behulp van software wordt uit het sagittale videobeeld onder andere de enkel, -knie en -heuphoek tijdens verschillende fases van het lopen gemeten. Wanneer het been in het heupgewricht gedraaid staat stuit men op het feit dat de gemeten kniehoek op het sagittale tweedimensionale (2D) beeld niet de werkelijke kniehoek weergeeft. Een ge-endoroteerde² heup geeft bijvoorbeeld in het sagittale beeld een kniehoek die meer in extensie lijkt te staan. Bij een ge-exoroteerde³ heup lijkt de knie meer in flexie te staan dan werkelijk. Deze vertekening kan voorkomen worden door gebruik te maken van 3 dimensionale (3D) systemen. Echter, deze systemen maken gebruik van dure apparatuur en ingewikkelde programma's waardoor het nog niet overal ingezet wordt.

Er is dus behoefte aan een eenvoudiger systeem dat de gegevens vanuit 2D naar werkelijke 3D waarden kan omzetten. Hierbij moeten hoge kosten vermeden worden en moet het in de klinische setting te gebruiken zijn met wat er aanwezig is in huidige looplabs. Daarom is voor deze scriptie de applicatie Joint Measurement Appilcaite 'JMA' geschreven. Het is te gebruiken in combinatie met twee 2D videocamera's in een vaste opstelling, de uitkomst is de gewenste werkelijke kniehoek. Om van de twee camerabeelden 3D coördinaten te krijgen maakt JMA gebruik van de direct linear transformation (DLT) regel. De DLT-regel is een methode om de 3D locatie van een object, of punten op een object, te bepalen door gebruik te maken van twee 2D aanzichten van dit object (Thomson, 2011). Wanneer dit gedaan wordt voor de drie markers om de kniehoek te meten kan vervolgens de ingesloten hoek berekend worden door middel van de cosinusregel.

De mate van vertekening in één vlak bij 2D metingen van de kinematica is bepaald door twee testobjecten met bekende hoeken (van 60° en van 90°), in verschillende geroteerde standen ten opzichte van de sagittale camera te zetten. Uit het sagittale beeld werd de 2D hoek berekend. De sagittaal berekende 2D hoek van het testobject 90° is bij de grootste rotatiehoek groter dan de werkelijke hoek. Dde 2D hoek wordt kleiner naarmate de observatiehoek kleiner wordt. Bij het testobject 60° neemt de berekende 2D hoek af wanneer de rotatiehoek kleiner wordt richting 0°. De beweging van het testobject buiten het vlak van de camera heeft dus een effect op de berekende 2D hoek uit het sagittale beeld.

Om de validiteit van JMA te testen is gebruik gemaakt van dezelfde testobjecten. Deze zijn nogmaals op de verschillende geroteerde standen ten opzichte van de sagittale camera geplaatst. Ditmaal is de 3D hoek berekend door JMA en vergeleken met de werkelijke hoek.

De berekende 3D hoek van testobject 90° varieerde tussen 91° en 97° met een gemiddelde van 95°. De berekende 3D hoek van testobject 60° varieerde tussen 35° en 38° met een gemiddelde van 37°. Tijdens het aanklikken van de markers op het camerabeeld in de applicatie is de nauwkeurigheid van de gebruiker van grote invloed op de nauwkeurigheid van de kalibratie. Door het handmatig aanklikken van de kalibratiepunten in de video's treedt er een afwijking op in de kalibratie. Wanneer ook de markers van het testobject een afwijking opleveren zorgt dit tezamen voor een grotere afwijking. Gemiddeld zorgt een afwijking van 0.1cm naast de markers al voor een afwijking van 1,8° op de berekende hoek. Dit kan de kleine afwijking tussen de berekende waarden onderling verklaren. De grote afwijking van testobject 60° is hiermee niet te verklaren. Een vervolgonderzoek zou zich moeten richten op correcties van het toegepaste algoritme.

¹ Zij aanzicht

² Naar binnen gedraaid been

³ Naar buiten gedraaid been

Deze scriptie is gericht op de kniehoek, al is JMA momenteel nog niet te gebruiken in de klinische setting. Als JMA geoptimaliseerd is en goed werkt in dynamische testen zal het ook getest kunnen worden in dynamische situaties. Dan zou JMA ingezet kunnen worden voor het berekenen van de kniehoek en andere gewrichtshoeken van de onderste extremiteit. Wanneer JMA geïmplementeerd zou kunnen worden in bestaande programma's als 'Moxieweaver' of 'Kinovea' als extra tool zou het een welkome aanvulling kunnen zijn voor de klinische praktijk.

3. Inhoud

4.	Inleiding	7
4.1.	Aanleiding	7
4.2.	Probleemstelling.....	7
4.3.	Concept	8
5.	Methode.....	9
5.1.	De kalibratie	11
5.2.	Onbekende punten berekenen	14
5.3.	Hoek berekenen.	16
5.4.	Gebruik van JMA.....	17
5.5.	Validiteit van JMA.....	19
5.5.1.	De vertekening in beeld	19
5.5.2.	Validiteit	19
6.	Resultaten.....	20
6.1.	De vertekening in beeld	20
6.2.	Validiteit	21
7.	Discussie	22
8.	Conclusie	24
	Literatuurlijst	25
	Bijlagen	26
I.	Handleiding voor het programma 'JMA'	26
II.	Projectplan	32
III.	Persoonlijke leerdoelen afstudeerfase.....	46

4. Inleiding

4.1. Aanleiding

In de meeste gevallen start het traject van een persoon met een beperkt looppatroon die dit wil verbeteren bij een revalidatiearts. Deze arts wil eerst een beeld van de afwijkingen van het looppatroon krijgen door middel van een gangbeeldanalyse (GBA). Hier wordt op zoek gegaan naar de oorzaak van de afwijkingen in het looppatroon. Wanneer dit duidelijk is kan er gezocht worden naar een oplossing om het looppatroon te verbeteren.

Van oudsher gebeurde het analyseren van het gaan⁴ door het observeren met het blote oog. Al snel bleek dat een observatie met video analyse een veel preciezer beeld geeft (Saleh & Murdoch, 1985). Tegenwoordig wordt het looppatroon in een looplab met een frontale, danwel dorsale camera en een meerijddende, of vaste, sagittale camera vastgelegd. In het frontale/dorsale beeld worden onder andere rompbewegingen en ab, en -adductie van de heup, -knie en enkel geanalyseerd. In het sagittale beeld worden vooral de heup, -knie en enkelhoek in verschillende fases van het lopen gemeten. Het registreren van het lopen met behulp van twee 2D aanzichten geeft daarmee al veel inzicht in het looppatroon.

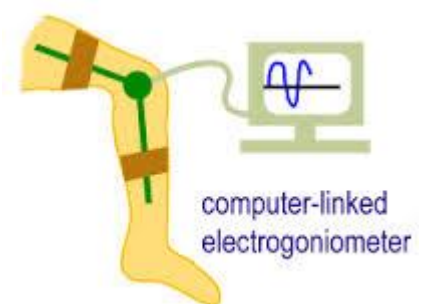
4.2. Probleemstelling

Wanneer in deze tweedimensionale (2D) setting een bewegingsanalyse wordt uitgevoerd en beoordeeld, is er het bekende probleem dat wanneer het been in de heup ge-endo, of -exoroteerd staat, in het sagittale aanzicht de werkelijke kniehoek niet te meten is. Een ge-endoroteerd been geeft namelijk in het sagittale beeld een kniehoek die meer in extensie⁵ lijkt te staan, een ge-exoroteerd been geeft zo een kniehoek die meer geflecteerd⁶ lijkt dan de werkelijke kniehoek. Dit wordt een parallax of out of plane movement (OOPM) genoemd (Perry & Burnfield, 2010).

Er moet dus gezocht worden naar een oplossing om deze vertekening van de kniehoek te omzeilen zodat de werkelijke kniehoek eenvoudig gemeten kan worden. Hier mogen geen hoge extra kosten aan vast zitten en moet het te gebruiken zijn met de aanwezige apparatuur in de klinische setting.

Perry en Burnfield stuitten al op dit probleem van OOPM en gaven twee opties om het te omzeilen; het plaatsen van een electrogoniometer direct over de te meten hoek, of het gebruik van een 3D bewegingsregistratiesysteem om de driedimensionale (3D) beweging van de segmenten te registreren.

Electrogoniometers zijn meetinstrumenten die op het lichaam geplaatst kunnen worden, de ene arm op het bovenbeen de andere arm op het onderbeen en het middelste punt direct langs het kniegewricht (zie Figuur 1.). De output van deze apparaatjes is een voltage dat door software omgerekend kan worden naar de hoek tussen de twee armen. Dit is een direct proces dat het mogelijk maakt een hoek tijdens een dynamische beweging te monitoren (Perry & Burnfield, 2010). Electrogoniometers zijn vrij fragiele meetinstrumenten die een precieze plaatsing nodig hebben om een goed resultaat te genereren. Het is een niet al te grote investering. Toch worden ze niet veel ingezet voor gangbeeldanalyses omdat de benen van de patiënten al vol zitten met electromyografie (EMG) apparatuur, waardoor er onvoldoende ruimte is voor de plaatsing van de electrogoniometer. In deze scriptie zal dit meetinstrument verder niet ter sprake komen.



Figuur 1. Electrogoniometer. De armen van het meetinstrument worden op het boven en onderbeen geplaatst. Het draaipunt ter hoogte van het kniegewricht.

⁴ lopen

⁵ gestrekt

⁶ gebogen

Het driedimensionale meten begon al in de late 19^e eeuw door Braun en Fischer (Sutherland, 2002). Zij maakten gebruik van een viertal camera's. Het verwerken van de resultaten nam maanden in beslag. Tegenwoordig gaat dit een stuk sneller. Een 3D systeem maakt gebruik van 4 tot 24 camera's (Perry & Burnfield, 2010) wat het tot een ingewikkelde methode maakt. Het bijbehorende softwareprogramma is in staat uit elk beeld de geplaatste markers uit de driedimensionale ruimte in te lezen en te projecteren op een tweedimensionaal digitaal beeld. Zo bieden de huidige 3D systemen de gebruiker de mogelijkheid de positie, snelheid en versnelling van zowel elk segment als elk gewricht apart te genereren. Tevens kunnen uitkomsten als stap, en -schredetijd en lengte uit de data worden gehaald (Switchfast, 2011) (Mihradi et al., 2013). Nadeel is dat al deze extra mogelijkheden zorgen dat er heel veel data binnenkomt en men moet zoeken naar de werkelijke kniehoek waar men in dit geval alleen in geïnteresseerd is. Een ander nadeel van 3D systemen is de hoge aanschafprijs. (Perry & Burnfield, 2010)

Altijd wanneer de kniehoek wordt geregistreerd wordt er gebruik gemaakt van drie markers op, door de huid te voelen, botpunten. Op de trochanter major en de laterale epicondyl van het femur en de malleolus lateralis (Becher et al., 2008) (zie Figuur 2.). Hier wordt vervolgens de inklemmende hoek van berekend.

Een algemeen probleem voor accurate meting bij bewegingsregistraties (zowel bij 2D en 3D) met markers op de huid, is de huidverschuiving. Wanneer markers geplaatst worden op de huid over botpunten en de persoon gaat bewegen, dan schuift de huid over het botpunt. Door deze verschuiving zal de marker niet meer de exacte plaats van het botpunt aangeven. Vele onderzoeken zijn hier aan gewijd, maar een goede oplossing is nog niet gevonden (Reinschmidt et al., 1997) (Holden, et al., 1997) (Andriacchi & Alexander, 2001) (Lucchetti et al., 1998). Benoit et al gebruikten een methode waar markers in het bot geïmplementeerd waren, hier kwamen goede resultaten uit, deze methode is voor dit onderzoek niet praktisch. Dit probleem wordt in deze scriptie daarom buiten beschouwing gelaten.



Figuur 2. Markerposities om de kniehoek te meten. V.b.n.b. Trochanter major, Laterale epicondyl, Laterale malleolus.

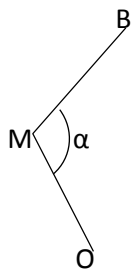
4.3. Concept

De uitdaging om zonder hoge extra kosten de werkelijke kniehoek eenvoudig te kunnen berekenen, wordt aangegaan door een softwareprogramma te ontwikkelen. Dit programma, Joint Measurement Application 'JMA', zal vanuit twee 2D aanzichten van de hoek 3D posities van de markers berekenen door middel van de direct linear transformation regel (DLT-regel) (Thomson, 2011). Wanneer dit van de drie markerpunten van Figuur 2. gedaan wordt, kan de kniehoek berekend worden met behulp van de cosinusregel. Het resultaat zal de standalone JMA zijn, die geïmplementeerd zou kunnen worden in bestaande programma's als 'Moxieviewer' of 'Kinovea' als extra tool.

In de praktijk zal JMA ingezet kunnen worden bij de uitvoering van GBA in labs waar geen 3D systeem is of waarbij de toepassing van een 3D systeem te veel tijd kost of te ingewikkeld is. JMA is te gebruiken met twee videocamera's die aanwezig zijn in de klinische labs. Lab beheerders zullen JMA snel in gebruik kunnen nemen door de bijgeleverde handleiding. De gebruiker hoeft na een kalibratie alleen de video's in te lezen en de markers aan te klikken, het resultaat is de gewenste werkelijke kniehoek. Deze scriptie is gericht op de kniehoek en kan bij valide uitkomst van de toepassing ook ingezet worden voor het berekenen van andere gewrichtshoeken van de onderste extremiteit.

5. Methode

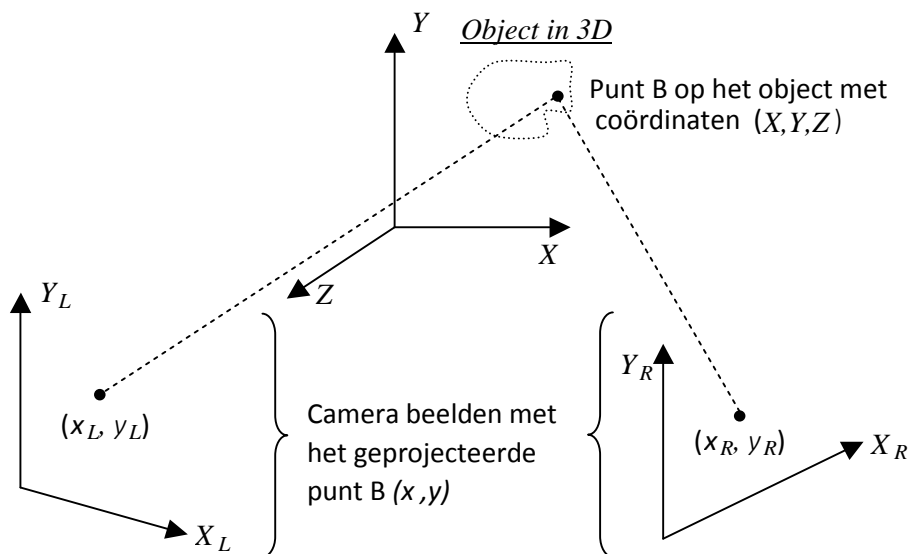
Er zijn twee lijnen en dus drie punten nodig om de ingesloten hoek te berekenen. Deze lijnen lopen van punt B naar punt M en van punt O naar punt M (zie Figuur 3.). De coördinaten van deze drie punten zijn echter in de driedimensionale (3D) ruimte nog onbekend. Om deze bekend te krijgen, wordt gebruikt gemaakt van de direct linear transformation regel (DLT-regel). De DLT-regel is een wiskundige rekenregel die de exacte 3D locatie van een object, of punten op een object, in de 3D ruimte bepaalt door gebruik te maken van twee aanzichten van het object. (Thomson, 2011) Wanneer de coördinaten van de drie punten bekend zijn, kan hier een hoek tussen berekend worden.



Figuur 3. Twee lijnen BM en OM met ingeklede hoek α .

Het te meten object staat in een ruimte, deze ruimte heeft een 3D assenstelsel $[X, Y, Z]$. Er staan twee camera's met een 2 dimensionaal (2D) assenstelsel $[X, Y]$ gericht op het object. Er zijn altijd twee videobeelden dus twee $[X, Y]$ assenstelsels. Voor het linker en rechter videobeeld wordt respectievelijk een L en een R toegevoegd tot $[X_L, Y_L]$, $[X_R, Y_R]$.

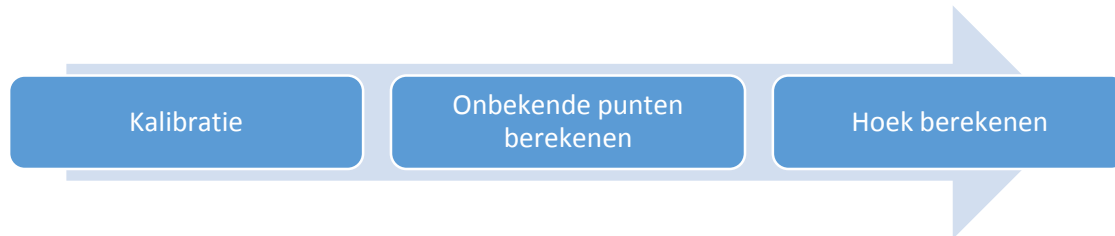
Het punt B op het object heeft in de 3D ruimte (X, Y, Z) coördinaten. Op de twee camerabeelden heeft het punt B op het object (x, y) coördinaten. Er zijn altijd twee camerabeelden dus twee (x, y) coördinaten, ook hier wordt voor het linker en rechter camerabeeld respectievelijk een L en een R toegevoegd tot (y_L, y_R) en (x_L, x_R) . Merk op dat de hoofdletters gebruikt worden voor de 3D coördinaten en kleine letters voor 2D coördinaten (zie Figuur 4.).



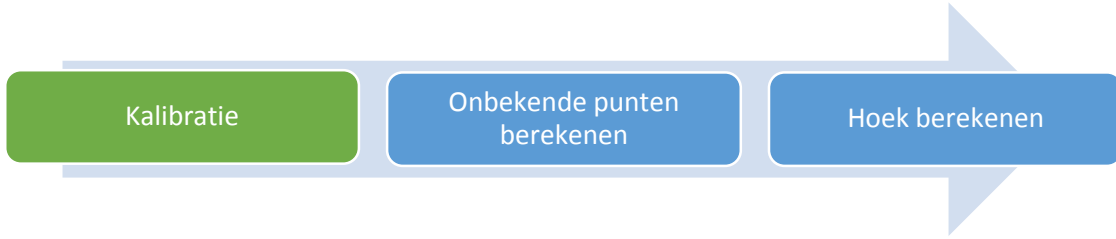
Figuur 4. Object met punt B in 3D en de twee 2D camerabeelden met het geprojecteerde punt B.

De methode die in JMA gebruikt wordt bestaat uit drie onderdelen.

1. De kalibratie, om te weten hoe de 2D punten op de camerabeelden in relatie staan tot de werkelijke 3D punten,
2. Het vinden van de coördinaten van de onbekende punten, door middel van de DLT-regel.
3. Het berekenen van de hoek tussen de gevonden punten, met behulp van de cosinus-regel.



Deze stappen zullen stap voor stap uitgelegd worden.



5.1. De kalibratie

Om te weten hoe de 2D punten op de camerabeelden in relatie staan tot de werkelijke 3D punten moeten de camera's gekalibreerd worden. Voor de kalibratie wordt een kalibratieframe met bekende kalibratiepunten gefilmd. Op de videobeelden hebben deze kalibratiepunten (x, y) coördinaten. Door de kalibratie uit te voeren wordt duidelijk hoe de 3D ruimte projecteert op de camerabeelden.

Wanneer een kalibratiepunt in de 3D ruimte bekend is, heeft deze bekende (X, Y, Z) coördinaten. De linker en rechter camera die gericht staan op het punt hebben beide een beeld waarop het punt respectievelijk (xL, yL) en (xR, yR) coördinaten heeft (zie Figuur2). De (X, Y, Z) en de (xL, yL) en (xR, yR) coördinaten zijn aan elkaar gerelateerd door de volgende vergelijkingen (Thomson, 2011):

$$x_L = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1a) \quad x_R = \frac{R_1X + R_2Y + R_3Z + R_4}{R_9X + R_{10}Y + R_{11}Z + 1} \quad (1c)$$

$$y_L = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1b) \quad y_R = \frac{R_5X + R_6Y + R_7Z + R_8}{R_9X + R_{10}Y + R_{11}Z + 1} \quad (1d)$$

Uit de vier vergelijkingen 1a-1d is te zien dat bij het gebruik van één kalibratiepunt er zeven bekenden zijn (X, Y, Z, xL, yL en xR, yR) en tweeëntwintig onbekenden (L₁-L₁₁ en R₁-R₁₁), dit is onoplosbaar. Om de tweeëntwintig onbekenden op te lossen zijn minimaal tweeëntwintig vergelijkingen nodig. Deze worden verkregen door meer kalibratiepunten te gebruiken. Voor elk extra kalibratiepunt worden vier vergelijkingen toegevoegd waarin L₁-L₁₁ en R₁-R₁₁ hetzelfde blijven. Zes kalibratiepunten resulteert in 25 vergelijkingen. Er zijn dus minimaal zes kalibratiepunten nodig, waarvan de X, Y, Z, xL, yL, xR en yR waarden bekend zijn, om L₁-L₁₁ en R₁-R₁₁ te berekenen. De kalibratie wordt nauwkeuriger wanneer er meer kalibratiepunten toegevoegd worden. In deze scriptie zal gebruik gemaakt worden van acht kalibratiepunten. Dit zal resulteren in tweeëndertig vergelijkingen.

De vergelijkingen 1a-1d kunnen als volgt omgeschreven worden (1a wordt als voorbeeld uitgewerkt).

$$x_{L1}(L_9x_1 + L_{10}y_1 + L_{11}z_1 + 1) = (L_1x_1 + L_2y_1 + L_3z_1 + L_4) \quad (2)$$

Wat omgeschreven kan worden naar.

$$x_{L1} = (L_1x_1 + L_2y_1 + L_3z_1 + L_4)(-x_{L1}L_9x_1 - x_{L1}L_{10}y_1 - x_{L1}L_{11}z_1) \quad (3)$$

Dit geldt ook voor de y punten (1b wordt als voorbeeld uitgeschreven).

$$y_{L1} = (L_5 x_1 + L_6 y_1 + L_7 z_1 + L_8)(-y_{L1} L_9 x_1 - y_{L1} L_{10} y_1 - y_{L1} L_{11} z_1) \quad (4)$$

Vergelijking 3 en 4 kunnen in matrices gezet worden zodat hier mee gerekend kan worden. In deze matrices komen de vergelijkingen van al de acht punten uit het linker beeld terug. Deze matrices zien er als volgt uit:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_{L1}X_1 - x_{L1}Y_1 - x_{L1}Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -y_{L1}X_1 - y_{L1}Y_1 - y_{L1}Z_1 \\ & & & & & & & & \dots \\ X_8 & Y_8 & Z_8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_{L8}X_8 - x_{L8}Y_8 - x_{L8}Z_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_8 & Y_8 & Z_8 & 1 & -y_{L8}X_8 - y_{L8}Y_8 - y_{L8}Z_8 \end{bmatrix}}_{F_L} \underbrace{\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \\ L_7 \\ L_8 \\ L_9 \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix}}_L = \underbrace{\begin{bmatrix} x_{L1} \\ y_{L1} \\ \dots \\ x_{L8} \\ y_{L8} \end{bmatrix}}_{B_L} \quad (5)$$

Vereenvoudigd geschreven als

$$F_L \bar{L} = \bar{B}_L \quad (5a)$$

De F_L matrix kan aangevuld worden met de vergelijkingen van de andere kalibratiepunten. Dan vult ook matrix B_L zich met de x en y coördinaten van deze punten terwijl L gelijk blijft. Er zijn nu zestien vergelijkingen en maar elf onbekenden. Als er meer vergelijkingen dan onbekenden zijn wordt dit opgelost door gebruik te maken van de kleinste kwadraten methode (de Haan, 2011).

De matrix F_L moet worden getransponeerd, dit betekent dat de matrix wordt gekanteld tot een verticale matrix. De getransponeerde matrix wordt F_L^T genoemd. Bij een matrix vermenigvuldiging wordt de horizontale vector van de eerste matrix vermenigvuldigd met de verticale vector van de tweede matrix. De matrix F_L wordt met zijn getransponeerde matrix F_L^T vermenigvuldigd om zo een vierkante matrix te maken. Om dit te mogen doen wordt ook de waarde aan de andere kant van de vergelijking vermenigvuldigd met F_L^T .

$$(F_L^T F_L) \bar{L} = F_L^T \bar{B}_L \quad (6)$$

Nu $(F_L^T F_L)$ een vierkante matrix is kan hier een inverse matrix van worden gemaakt. De vierkante matrix $(F_L^T F_L)$ wordt vermenigvuldigd met zijn inverse matrix $(F_L^T F_L)^{-1}$. Ook hier geldt dat als de linker kant van de vergelijking wordt vermenigvuldigd met de inverse matrix van $(F_L^T F_L)$ dit ook aan de rechter kant van de vergelijking moet gebeuren.

$$(F_L^T F_L)^{-1} (F_L^T F_L) \bar{L} = (F_L^T F_L)^{-1} F_L^T \bar{B}_L \quad (7)$$

Een inverse matrix maal zijn eigen matrix is gelijk aan de eenheidsmatrix. De vergelijking kan dus vereenvoudigd worden opgeschreven als

$$\bar{L} = (F_L^T F_L)^{-1} F_L^T \bar{B}_L \quad (8a)$$

$$\bar{R} = (F_R^T F_R)^{-1} F_R^T \bar{B}_R \quad (8b)$$

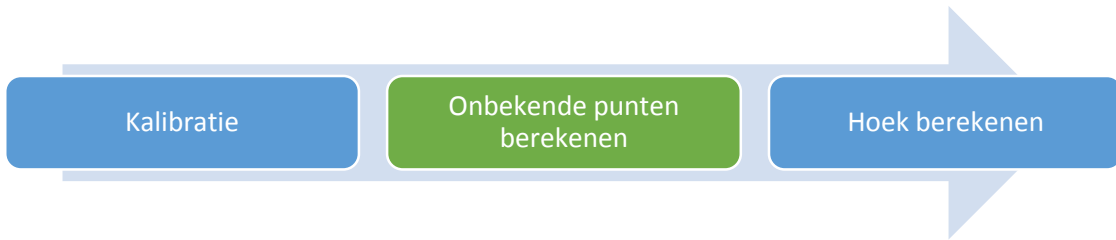
Er blijft gelden dat waar L geschreven staat deze vergelijking ook bestaat met de R op de plaats van de L. Met vergelijking 8a en 8b worden de parameters L en R berekend. De kalibratie is voltooid.

Dus voor de kalibratie wordt eerst het beeld van de sagittale camera ingelezen in het kalibratiedeel van JMA. Hier worden de acht kalibratiepunten aangeklikt in de vaste volgorde (zie handleiding, Bijlage I). De 2D (x, y) coördinaten van de kalibratiepunten worden opgeslagen. Vervolgens wordt het beeld van de frontale camera ingelezen, ook hier worden de kalibratiepunten in dezelfde volgorde aangeklikt. Ook nu worden de 2D coördinaten opgeslagen.

De acht kalibratiepunten resulteren in genoeg vergelijkingen. De uitkomsten van deze vergelijkingen zijn L_1 - L_{11} en R_1 - R_{11} . Met deze parameters kan vervolgens verder gerekend worden om onbekende punten in de 3D ruimte te berekenen.

Tabel 1. Stappen van de kalibratie. Van de coördinaten van de aangeklikte kalibratiepunten via de DLT-algoritmes tot L en R.

Input.	Verwerking	Output
2D coördinaten van de kalibratiepunten, sagittale camera	DLT algoritmes	DLT-parameters L_{1-11} en R_{1-11}
2D coördinaten van de kalibratiepunten, frontale camera		



5.2. Onbekende punten berekenen

Nu L_1 - L_{11} en R_1 - R_{11} bekend zijn, kunnen de locaties van onbekende punten in de 3D ruimte berekend worden door middel van de formules 1a-1d. Voor het leesgemak zijn deze hier nogmaals genoteerd.

$$x_L = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1a)$$

$$x_R = \frac{R_1X + R_2Y + R_3Z + R_4}{R_9X + R_{10}Y + R_{11}Z + 1} \quad (1c)$$

$$y_L = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1b)$$

$$y_R = \frac{R_5X + R_6Y + R_7Z + R_8}{R_9X + R_{10}Y + R_{11}Z + 1} \quad (1d)$$

Hier zijn x_L , y_L , x_R en y_R de bekenden uit de videobeelden en L_1 - L_{11} en R_1 - R_{11} uit de kalibratie. De enige onbekenden zijn X , Y en Z . Er zijn dus drie onbekenden en vier vergelijkingen, dit is oplosbaar. Om dit op te lossen wordt wederom gebruik gemaakt van matrixvermenigvuldigingen.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} L_1 - L_9x_L & L_2 - L_{10}x_L & L_3 - L_{11}x_L \\ L_5 - L_9y_L & L_6 - L_{10}y_L & L_7 - L_{11}y_L \\ R_1 - R_9x_R & R_2 - R_{10}x_R & R_3 - R_{11}x_R \\ R_5 - R_9y_R & R_6 - R_{10}y_R & R_7 - R_{11}y_R \end{bmatrix}}_Q \underbrace{\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}}_{\bar{q}} = \underbrace{\begin{bmatrix} x_L - L_4 \\ y_L - L_8 \\ x_R - R_4 \\ y_R - R_8 \end{bmatrix}}_{\bar{q}} \quad (9)$$

Dit kan vereenvoudigd opgeschreven worden als

$$Q \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \bar{q}. \quad (9a)$$

Ook hier wordt Q vermenigvuldigd met zijn getransponeerde Q^T om een vierkante matrix te maken. Om dit te mogen doen wordt ook de waarde aan de andere kant vermenigvuldigd met Q^T .

$$Q^T Q \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = Q^T \bar{q} \quad (10)$$

Nu $(Q^T Q)$ een vierkante matrix is kan hier een inverse matrix $(Q^T Q)^{-1}$ van gemaakt worden, $(Q^T Q)$ wordt vermenigvuldigd met zijn inverse $(Q^T Q)^{-1}$. Ook hier geldt dat als de linkerkant van de vergelijking wordt vermenigvuldigd met $(Q^T Q)^{-1}$ dit ook aan de rechterkant van de vergelijking moet gebeuren.

$$(Q^T Q)^{-1} (Q^T Q) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = (Q^T Q)^{-1} Q^T \bar{q} \quad (11)$$

Een inverse maal zijn eigen matrix is gelijk aan de eenheidsmatrix. De vergelijking kan nu vereenvoudigd opgeschreven worden.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = (Q^T Q)^{-1} Q^T \bar{q} \quad (12)$$

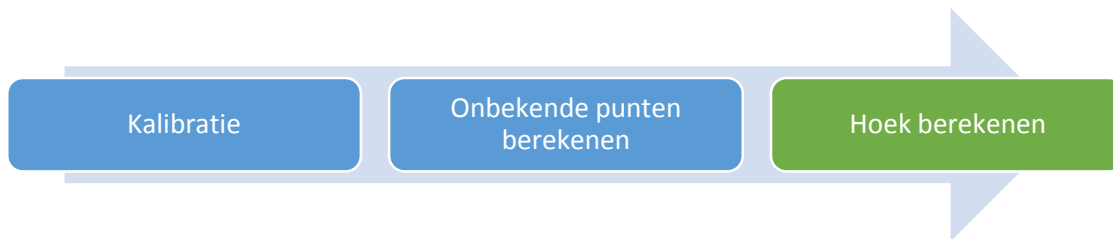
Met vergelijking 12 worden de X,Y en Z coördinaten van de punten berekend.

Het eerste deel van JMA heeft dus als input de zes 2D coördinaten van drie markers van twee camera aanzichten.

Dit wordt verwerkt met behulp van de DLT-regel, de tussenproducten zijn nu drie 3D coördinaten (zie Tabel 2.). Met deze coördinaten wordt verder gerekend om de hoek die ze insluiten te bepalen.

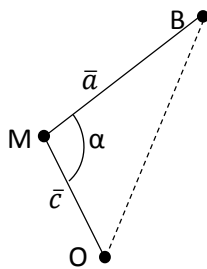
Tabel 2. De stappen die worden doorlopen om de onbekende punten te berekenen.

Input	Verwerking	Output
Drie 2D coördinaten van de sagittale camera	DLT-regel	Drie 3D coördinaten
Drie 2D coördinaten van de frontale camera		
DLT-parameters L_{1-11} en R_{1-11}		



5.3. Hoek berekenen.

Wanneer in het bovenstaande proces de drie punten bekend zijn geworden, als zijnde het bovenste punt (B), het middelste punt (M) en het onderste punt (O) van de hoek, kan de hoek α tussen deze punten berekend worden (zie Figuur 5.). Dit gebeurt door de hoek tussen te vectoren \vec{a} (van B naar M) en \vec{c} (van O naar M). De hoek wordt vervolgens berekend door het inproduct van $\vec{a} \cdot \vec{c}$.



Figuur 5. Vector a loopt van punt B naar punt M, vector c loopt van punt O naar punt M. de hoek die de twee vectoren inklemt wordt berekend door middel van de cosinusregel.

$$\vec{a} \cdot \vec{c} = |\vec{a}| |\vec{c}| \cos(\alpha) \quad (13)$$

De cosinusregel berekent de hoek door gebruik te maken van twee richtingsvectoren. De richtingsvectoren zijn van punt B naar punt M en van punt O naar punt M. Deze worden als volgt berekent.

$$\vec{a} = [X_B, Y_B, Z_B] - [X_M, Y_M, Z_M] \quad (14)$$

$$\vec{c} = [X_O, Y_O, Z_O] - [X_M, Y_M, Z_M] \quad (15)$$

Vervolgens wordt vergelijking 13 omgeschreven zodat de uitkomst van de vergelijking de hoek is.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{a}| |\vec{c}|}\right) \quad (16)$$

$$\alpha (^{\circ}) = \frac{\alpha}{\pi} 180 \quad (17)$$

Met vergelijking 16 wordt de hoek in radialen bekend. Dit wordt omgerekend naar graden, het gewenste eindproduct.

Tabel 3. De stappen van het berekenen van de hoek.

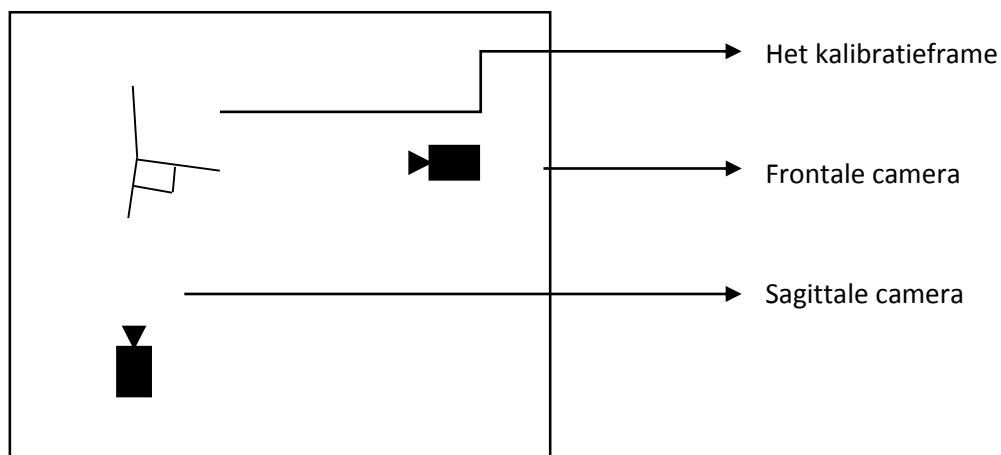
Tussenproduct	Verwerking	Eindproduct
Drie 3D coördinaten van de markers van de hoek	Cosinus regel	Berekende 3D hoek (°)

5.4. Gebruik van JMA

Alle uitvoerings- en rekenstappen die samen JMA vormen zijn verwerkt in Matlab (Mathworks, R2012b, Natick, Massachusetts, United States).

In een test heeft JMA hoeken van twee statische testobjecten met een bekende hoek (90° en 60°) berekend. Deze testobjecten stonden in negen verschillende standen ten opzichte van de sagittale camera. Van 40° van de camera af tot 40° naar de camera toe gedraaid, respectievelijk van Stand 4 tot Stand -4, in stappen van 10° (zie Figuur 10.).

Er is gebruik gemaakt van twee camera's met 1280×720 pixels en samplefrequentie van 29Hz en een computer met de twee softwareprogramma's (Virtualdub en Matlab). De twee camera's werden op een statief gezet. In een lege ruimte van ongeveer 3 bij 3 meter werd een kalibratieframe, bestaande uit een 3D assenstelsel met daarop acht markers op bekende plaatsen, gezet. De eerste camera stond loodrecht voor het frame (sagittale camera). De tweede camera stond loodrecht op het vlak van de sagittale camera, ook gericht op het kalibratieframe (frontale camera). De acht markers op het kalibratieframe waren op beide camerabeelden duidelijk zichtbaar. De opstelling is geïllustreerd in Figuur 6.

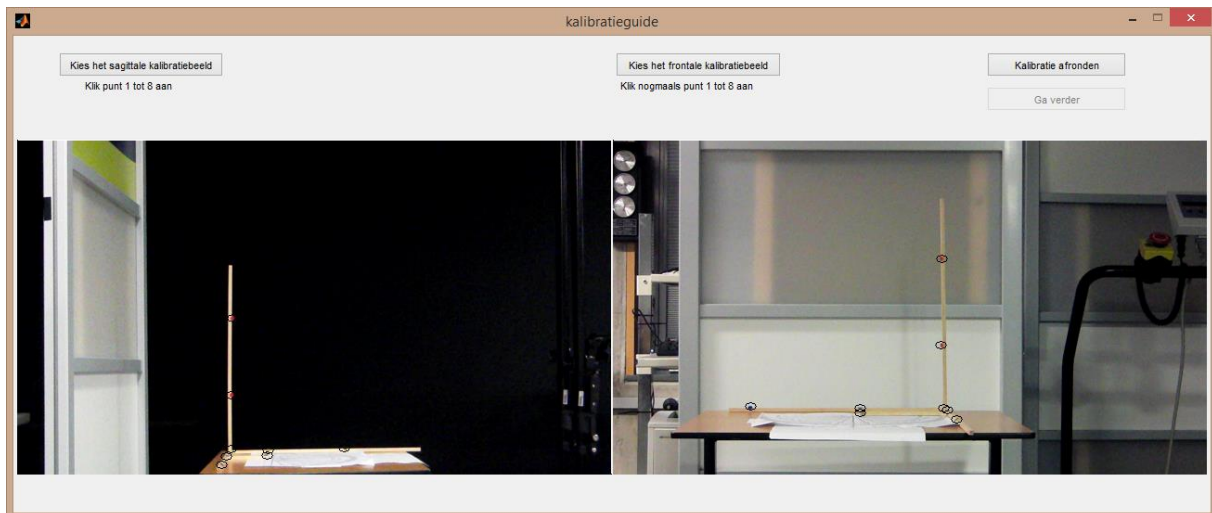


Figuur 6. Bovenaanzicht van de meetopstelling. Het kalibratieframe staat in een lege ruimte, de sagittale camera staat loodrecht op het kalibratieframe. De frontale camera staat loodrecht op het vlak van de sagittale

Met beide camera's werd een korte kalibratievideo gemaakt. Om de metingen te starten werd het kalibratieframe uit de opstelling gehaald en buiten zicht van de camera's geplaatst. Verder bleef alles staan zoals het stond. Het te gebruiken testobject werd beplakt met de markers. Eén marker op het hoekpunt van de te meten hoek en één marker op het uiteinde van de beide te meten armen. Het eerste testobject werd in de eerste stand in de opstelling geplaatst, met beide camera's werd een video gemaakt. Het testobject werd in de tweede stand geplaatst om nogmaals met beide camera's een video te maken, zo verder tot al de negen standen opgenomen waren. Vervolgens werden dezelfde handelingen uitgevoerd voor het tweede testobject. Wanneer de meting was voltooid werden van beide camera's de video's van zowel de kalibratie en de meting opgeslagen (voor stap voor stap uitleg, zie Meetprotocol, Bijlage I).

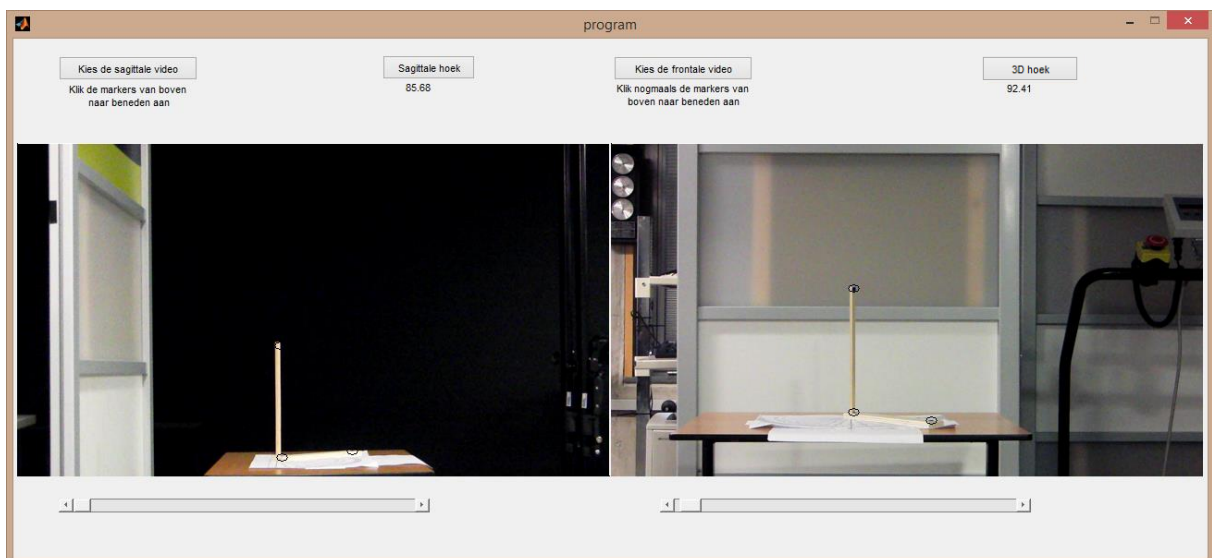
JMA bestaat uit de stappen die in de methode beschreven zijn.

Het eerste deel, de kalibratie, bestaat uit twee figuren en drie knoppen (zie Figuur 7.). Wanneer op de knop 'Kies het sagittale kalibratiebeeld' wordt geklikt dient de sagittale video gekozen te worden. Onder de knop 'Kies het frontale kalibratiebeeld' dient de frontale video gekozen te worden. Op beide beelden moeten de kalibratiepunten in dezelfde volgorde aangeklikt worden (zie Handleiding, Bijlage I.) Wanneer de acht punten op beide beelden zijn aangeklikt kan de kalibratie afgerond worden.



Figuur 7. Het kalibratiedeel van JMA met daarin twee figuren en vier knoppen.

Het tweede deel van JMA, om hoeken te berekenen, bestaat uit twee figuren, twee sliders en vier knoppen (zie Figuur 8.). Ook hier moet via de knoppen 'kies de sagittale/frontale video' de video's geopend worden. Hier moeten nu de drie markers die de hoek vormen in dezelfde volgorde aangeklikt worden. Als voorbeeld is hier de video van stand -4, waar het testobject 40° naar de sagittale camera gedraaid staat. Met de knop 'Sagittale hoek' wordt de hoek die uit het sagittale beeld is berekend getoond. Die is in dit geval 85.86° . De knop '3D hoek' laat de berekende 3D hoek uit de twee beelden zien. Die is in dit geval $92,41^\circ$.



Figuur 8. Het hoeken bereken deel in JMA met daarin twee figuren, twee slider en vier knoppen. .

5.5. Validiteit van JMA.

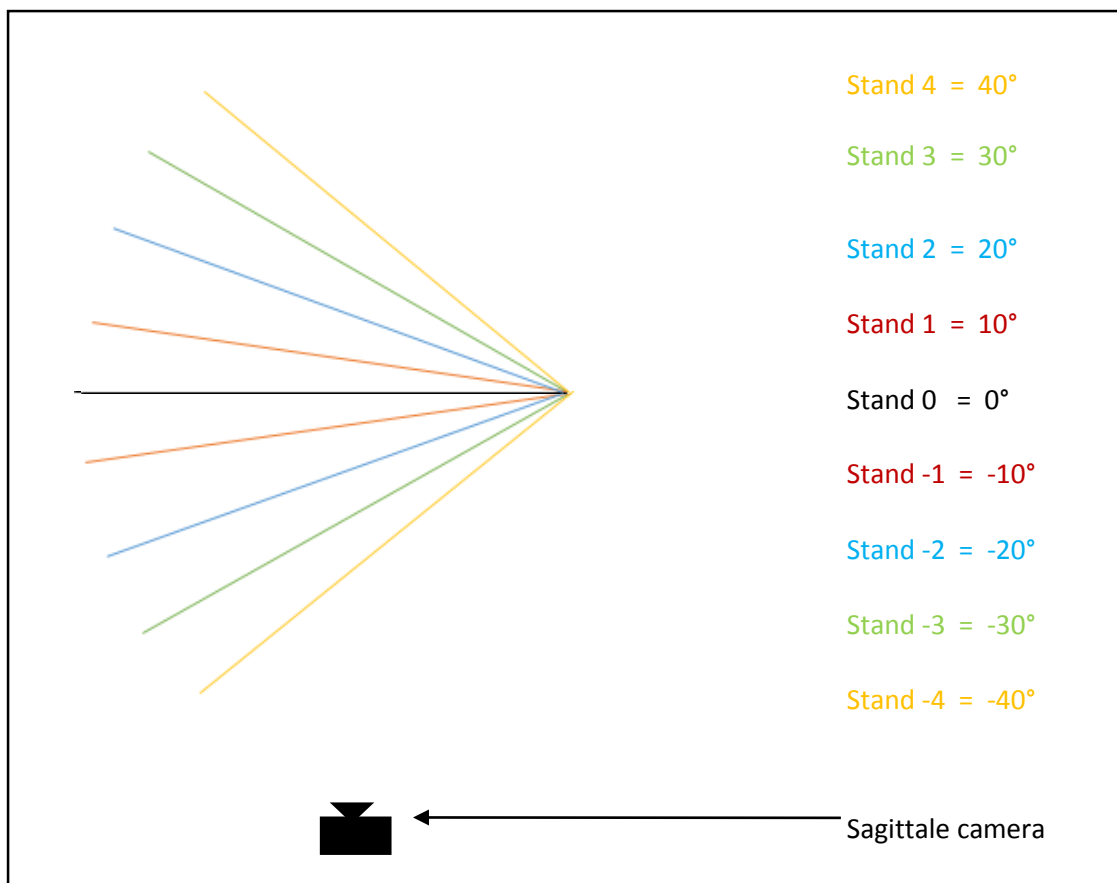
5.5.1. De vertekening in beeld

Om te zien hoe de beweging uit het vlak van de sagittale camera de hoek beïnvloedt, heeft JMA de mogelijkheid om de hoek te berekenen uit alleen het sagittale aanzicht. Dit is de hoek die zonder een 3D systeem als ingesloten hoek gezien wordt. Wanneer deze hoek vergeleken wordt met de werkelijke hoek van het object laat dit zien hoeveel invloed de beweging uit het vlak van de camera heeft.

5.5.2. Validiteit

In een validiteit test heeft JMA hoeken van twee statische testobjecten met een bekende hoek (90° en 60°) berekend. Deze testobjecten stonden in negen verschillende standen ten opzichte van de sagittale camera. Van 40° van de camera af tot 40° naar de camera toe gedraaid, respectievelijk van Stand 4 tot Stand -4, in stappen van 10° (zie Figuur 9.).

Wanneer de video's van de testobjecten ingeladen waren konden de hoeken uit de beide video's berekend worden. Als de berekende 3D hoek gelijk is aan de hoek van het testobject kan gezegd worden dat JMA valide is. Validiteit van het systeem zegt dat men meet van men wilt meten (Doef, 2014).



Figuur 9. Boven-aanzicht van de standen van het testobject t.o.v. de sagittale camera, waarbij het testobject in Stand -4 het meest naar de camera gedraaid staat en bij Stand 4 het meest van de camera af gedraaid staat. In Stand 0 staat het testobject loodrecht op de sagittale camera.

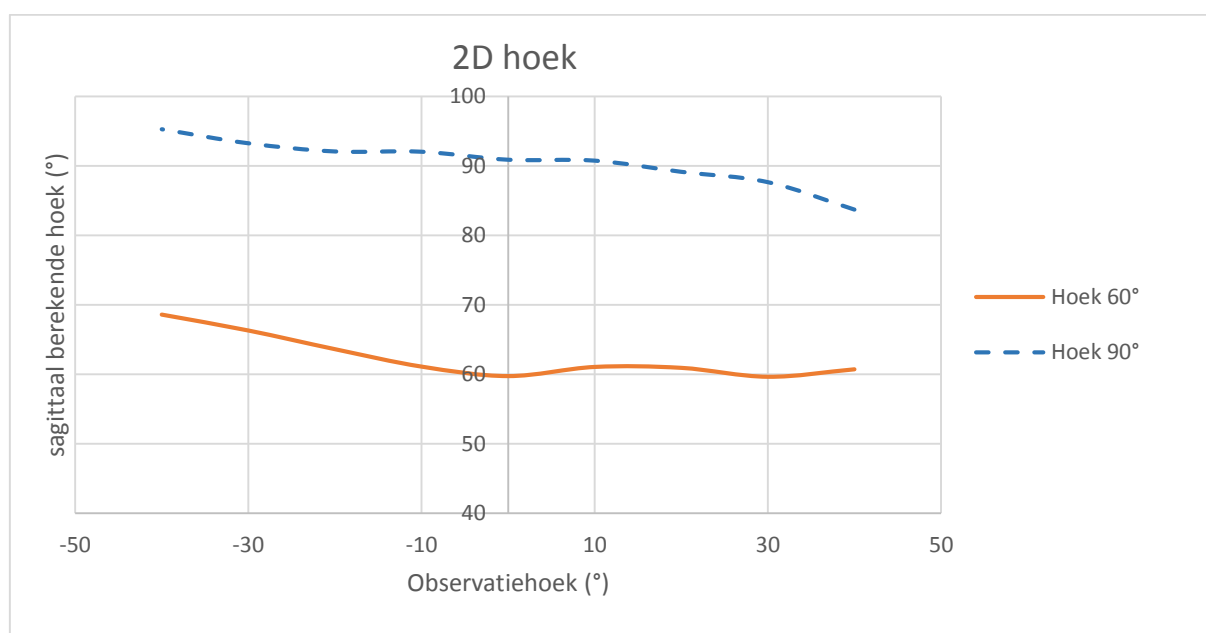
6. Resultaten

6.1. De vertekening in beeld

Om de invloed van de draaiing van een object ten opzichte van de sagittale camera op de berekende 2D hoek uit het sagittale camerabeeld te testen, werd gebruik gemaakt van de twee testobjecten met een bekende hoek. Deze testobjecten werden op bekende hoeken ten opzichte van de sagittale camera geplaatst (zie Figuur 9.).

Tabel 4. Sagittaal berekende hoeken van de testobjecten bij de verschillende observatiehoeken.

	Testobject (60°)	Testobject (90°)
Stand -4 (-40°)	60,74	83,71
Stand -3 (-30°)	59,67	87,66
Stand -2 (-20°)	60,95	89,15
Stand -1 (-10°)	61,08	90,76
Stand 0 (0°)	59,77	90,89
Stand 1 (10°)	61,13	92,04
Stand 2 (20°)	63,63	92,08
Stand 3 (30°)	66,31	93,26
Stand 4 (40°)	68,59	95,28



Figuur 10. Vertekening van de testobjecten per hoek van observatie. Op de x-as de observatiehoek, stand -4 waar het testobject 40° van de camera af gedraaid is links op de as en stand 4 waar het testobject 40° naar de camera toe gedraaid staat rechts. Op de y-as de sagittaal berekende hoek uit alleen het sagittale beeld.

De vertekening per observatiehoek is weergegeven in de grafiek van Figuur 10. Duidelijk is te zien dat bij testobject 90° de sagittaal berekende hoek bij stand -4, waar het testobject 40° van de camera af gedraaid staat de sagittaal berekende hoek groter is dan werkelijk en dat de sagittale hoek kleiner wordt naarmate de observatiehoek kleiner wordt (het testobject meer richting de camera gedraaid draait). Te zien bij testobject 60° is dat de sagittaal berekende hoek afneemt wanneer de hoek van observatie kleiner wordt richting 0.

6.2. Validiteit

Validiteit zegt dat het systeem meet wat het beoogt te meten.

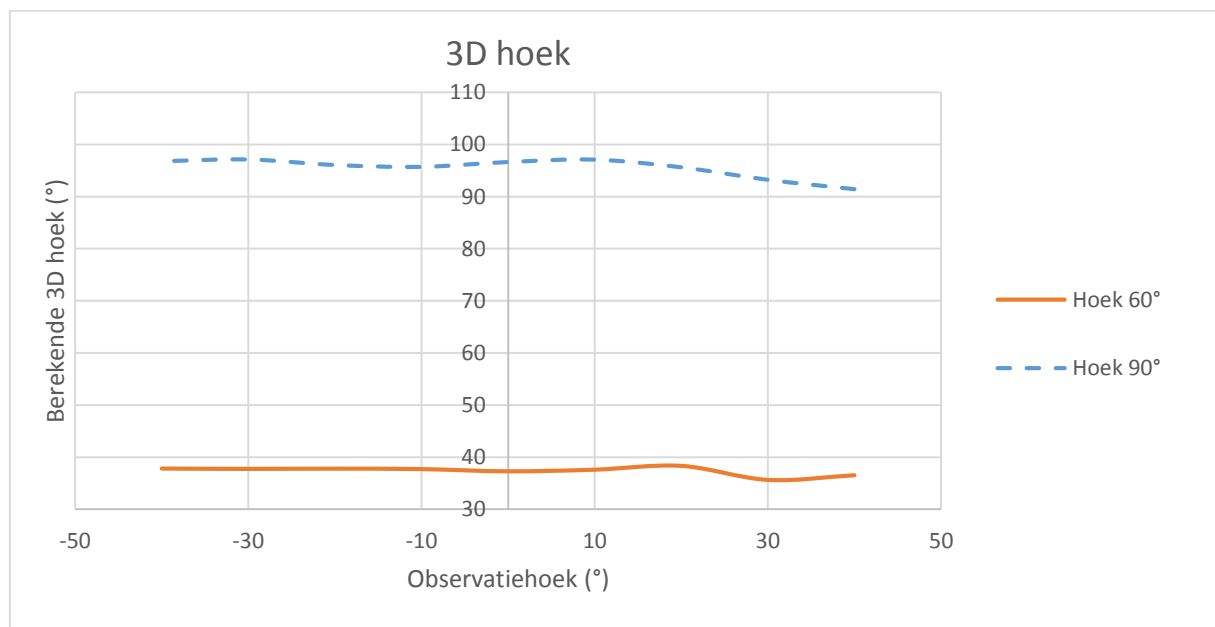
Om de validiteit van JMA te testen is gebruik gemaakt van de twee testobjecten in de bekende hoek van 60° en 90°. Deze hoek bleef onveranderd alleen de hoek ten opzichte van de camera veranderde. De video's zijn in JMA geladen en de 3D hoek is uit de combinatie van het sagittale en frontale beeld berekend.

De berekende 3D hoek in bij stand -4 waar het testobject 40° van de camera af gedraaid stond 91,45°, voor stand 0 waar het testobject loodrecht voor de camera stond 96,62°, en voor stand 4 waar het testobject 40° naar de camera gedraaid stond 96,78° (zie Tabel 5.).

Tabel 5. De berekende 3D hoeken van de testobjecten bij de verschillende observatiehoeken.

	Testobject (60°)	Testobject (90°)
Stand -4 (-40°)	36,52	91,45
Stand -3 (-30°)	35,63	93,24
Stand -2 (-20°)	38,31	95,62
Stand -1 (-10°)	37,58	97,08
Stand 0 (0°)	37,27	96,62
Stand 1 (10°)	37,69	95,71
Stand 2 (20°)	37,78	96,06
Stand 3 (30°)	37,73	97,11
Stand 4 (40°)	37,8	96,78

In Tabel 5. is te zien dat de door JMA berekende 3D hoek van testobject 90° schommelt tussen 91° en 97° met een gemiddelde van 95°. De hoek van 60° geeft een berekende 3D hoek die varieert tussen 35° en 38° met een gemiddelde van 37°.



Figuur 11. Berekende 3D hoek per hoek van observatie. Op de x-as de observatiehoek, stand -4 waar het testobject 40° van de camera af gedraaid is links op de as en stand 4 waar het testobject 40° naar de camera toe gedraaid staat rechts. Op de y-as de berekende hoek uit beide aanzichten.

7. Discussie

De uitdaging tijdens deze scriptie was het vinden van een oplossing om de vertekening van de kniehoek te omzeilen zodat de werkelijke kniehoek eenvoudig gemeten kan worden. Hierbij moest rekening gehouden worden met de in klinische setting gebruikte apparatuur en dat het zonder hoge extra kosten in gebruik kan worden genomen.

Hieruit is Joint Measurement Application 'JMA' ontstaan. Een applicatie die is te gebruiken met twee camera's op een statief, welke in bewegingslabs aanwezig zijn en een computer met daarop de applicatie geïnstalleerd. De uitkomst van JMA alleen dát waar men in geïnteresseerd is; de werkelijke hoek.

Uit testen is echter gebleken dat JMA nog niet valide is. De uitkomsten wijken verder af dan de aangenomen foutmarge van 5°. De exacte oorzaak van deze afwijking is nog niet gevonden, wel kunnen er aannamen gedaan worden. Er zijn vele stappen van het aanklikken van de markers tot het berekenen van de hoek. In al deze stappen kunnen kleine afwijkingen voorkomen.

Om de kalibratie uit te kunnen voeren zijn er minimaal zes kalibratiepunten nodig om de DLT-parameters L en R te berekenen. In JMA wordt gebruik gemaakt van acht punten. De nauwkeurigheid van de kalibratie wordt groter naarmate er meer kalibratiepunten gebruikt worden. Het toe voegen van extra kalibratiepunten buiten de x, -y en -z-as zou de kalibratie nauwkeuriger kunnen maken. Als de nauwkeurigheid van het aanklikken van markers nauwkeuriger wordt, zou deze afwijking een kleinere tot geen invloed hebben op de berekende hoek.

Er is nu gebruik gemaakt van een resolutie van 1280x720 pixels, deze wordt voor de helft verkleind voordat de video's in het programma geopend worden. Een hogere resolutie met betere beeldvulling, zo weinig mogelijk loze ruimte naast de testobjecten filmen, zou kunnen zorgen voor een hogere nauwkeurigheid van de aangeklikte punten.

Tijdens het aanklikken van de markers op het camerabeeld is nauwkeurigheid van de gebruiker van grote invloed op de nauwkeurigheid van de kalibratie. Ook bij het aanklikken van de markers van de te meten hoek wordt een kleine afwijking gemaakt. Dit kunnen vier afwijkingen op elkaar gestapeld zijn wat resulteert in een grotere afwijking op de 3D coördinaten van de hoekpunten. De hoek die berekend wordt, maakt dus gebruik van punten die niet overeenkomen met de werkelijke 3D coördinaten.

Wanneer de marker posities zijn aangeklikt op precies (0,0,10), (0,0,0) en (0,10,0) is de hoek hiertussen 90°.

Wanneer de marker posities hier iets naast liggen, bijvoorbeeld op (0.2;-0.3;11), (0.1;0.4;0.2) en (-0.4;9.7;-0.) dan is de hoek hiertussen 96.26°. Hier zitten de markers met een gemiddelde van 0.3cm naast de hoekpunten, dit resulteert in een afwijking in de hoek van 6.26° (6.95%).

Wanneer de marker posities hier iets verder naast liggen, bijvoorbeeld op (0.5;-0.6;13), (0.8;0.6;1) en (-0.7;8.2;-0.5) dan is de hoek hiertussen 106.1°. Een gemiddelde afwijking van 1.0cm resulteert in een fout van 16.1° (17.9%).

Wanneer de marker posities hier nog iets verder naast liggen, bijvoorbeeld op (0.9;-1.2;14), (1.3;0.8;1.4) en (-1.1;7.9;-1) dan is de hoek hiertussen 115°. Een gemiddelde afwijking van 1.5cm resulteert in een fout van 25° (27.8%).

Gemiddeld zorgt een afwijking van 0.1cm dus al voor een afwijking van 1,8° op de berekende hoek. Dit kan een verklaring zijn voor het feit dat JMA de hoek van 90° niet constant berekent maar met een gemiddelde afwijking van 5°. Er zal in vervolg onderzoek gekeken moeten worden of er in andere delen van JMA afwijkingen optreden. Deze zijn nu nog niet gevonden maar er is nog geen verklaring

voor de veel grotere afwijking die optreedt bij het berekenen van de hoek van 60°. Waarvan de berekende 3D hoek varieert tussen 35° en 38°, deze waarden liggen ver van de werkelijke 60° maar liggen wel dicht bij elkaar. De kleine afwijking onderling kan te verklaren zijn door het eerder beschreven gebrek aan nauwkeurigheid. De grote afwijking tot 60° ligt zeer waarschijnlijk niet alleen aan de nauwkeurigheid van het aanklikken van markers. Voor deze afwijking zal verder onderzoek naar een logisch verklaarbare reden gedaan moeten worden.

JMA is in deze staat verre van meten op personen. Voor deze dynamische test gedaan kan worden moet het systeem statische situaties goed moeten kunnen berekenen. Als JMA geoptimaliseerd wordt en de fout binnen de aangenomen foutmarge van 5° valt, zou het principe ook ingezet kunnen worden voor het berekenen van andere gewrichtshoeken van de onderste extremiteit.

JMA is nu een standalone applicatie maar zal het best tot zijn recht komen wanneer het geïmplementeerd wordt in een al bestaand programma als 'Kinovea' of 'MoxieViewer' als extra tool.

8. Conclusie

De uitdaging tijdens deze scriptie was het vinden van een oplossing om de vertekening van de kniehoek te omzeilen zodat de werkelijke kniehoek eenvoudig gemeten kan worden. Hierbij moest rekening gehouden worden met de in klinische setting gebruikte apparatuur en dat het zonder hoge extra kosten in gebruik kan worden genomen.

Hieruit is JMA ontstaan. Een applicatie die is te gebruiken met twee camera's op een statief, welke in bewegingslabs aanwezig zijn en een computer met daarop de applicatie geïnstalleerd. De uitkomst van JMA alleen dát waar men in geïnteresseerd is; de werkelijke hoek.

JMA is getest door middel van statische testobjecten, één met een bekende hoek van 90° en één met een bekende hoek van 60°. Met de optie om de hoek te berekenen uit alleen het sagittale beeld werd het effect van de vertekening geïllustreerd. De berekende hoek uit de sagittale video werd kleiner naarmate de hoek van observatie groter wordt. De beweging van een testobject buiten het vlak van de camera heeft dus een effect op de gemeten hoek in het sagittale beeld.

Vervolgens werd ook de hoek uit het frontale beeld meegenomen. Zo berekende JMA de 3D hoek. Tijdens de test op validiteit schommelde de berekende 3D hoek van testobject 90° tussen 91° en 97° met een gemiddelde van 95°. De berekende 3D hoek van testobject 60° varieerde tussen 35° en 38° met een gemiddelde van 37°. De berekende waarden van het testobject 90° lagen dicht bij de 90°, maar de berekende waarden van testobject 60° liggen ver van de werkelijke waarde af. Een afwijking van 5° is aangenomen als een maximaal acceptabele fout. JMA is dus nog niet valide. Validiteit zegt dat het systeem meet wat het beoogt te meten.

In deze staat is JMA nog verre van meten op mensen. Het zal geoptimaliseerd moeten worden tot de uitkomst van een statische situatie binnen de foutmarge valt. Dan pas kan JMA ingezet worden om kniehoeken en andere hoeken van de onderste extremiteit te berekenen.

Literatuurlijst

- Andriacchi, T. P., & Alexander, E. J. (2001). Correcting for deformation in skin-based marker systems. *Journal of Biomechanics*, 2001(34).
- Becher, J., Doorenbosch, C., Folmer, K., Scholtes, V., Voorman, J., & Wolterbeek, N. (2008). *Standaard Lichamelijk Onderzoek bij kinderen met een Centraal Motorische Parese*. Amsterdam.
- de Haan, T. (2011). *Wiskunde in beweging*. Amsterdam: Spelbrink.
- Doef, R. v. (2014). *Nauwkeurigheid, Betrouwbaarheid en Validiteit*. Den Haag.
- Holden, J. P., Orsini, J. A., Lohmann Siegel, K., Kepple, T. M., Stanhope, S. J., & Gerber, L. H. (1997). Surface movement errors in shank kinematics and knee kinetics during gait. *Gait & Posture*, 1997(3).
- Lucchetti, L., Cappozzo, A., Cappello, A., & Dello Croce, U. (1998). Skin movement artefact assessment and compensation in the estimation of knee-joint kinematics. *Journal of Biomechanics*, 1998(31).
- Mihradi, S., Henda, A. I., Dirgantara, T., & Mahyuddin, A. I. (2013). *DEVELOPMENT OF 3D GAIT ANALYZER SOFTWARE BASED ON MARKER POSITION DATA*. Bandung, Indonesia.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait Analysis, Normal and Pathological Function*. Thotofare: Slack incorporated.
- Reinschmidt, C., van den Bogert, A. J., Nigg, B. M., Lundberg, A., & Murphy, N. (1997). Effect of skin movement on the analysis of skeletal knee joint motion during running. *Journal of Biomechanics*, 1997(7).
- Saleh, M., & Murdoch, G. (1985). In defence of gait analysis. Observation and measurement in gait assessment. *The Bone & Joint Journal*, 1985(2).
- Sutherland, D. H. (2002). The evolution of clinical gait analysis: Part II Kinematics. *Gait & Posture*(2).
- Switchfast. (2011). *Gait analysis and gait analysis with upper extremity analysis*. (Innovative Sports Traning Ins.) Opgeroepen op 04 24, 2014, van The motion monitor: www.innsport.com/applications/gait-analysis.aspx
- Thomson, S. D. (2011). *Direct Linear Tranformation (DLT)*.

Bijlagen

I. Handleiding voor het programma 'JMA'.

1. de opstelling.

Benodigdheden

2 camera's + statieven

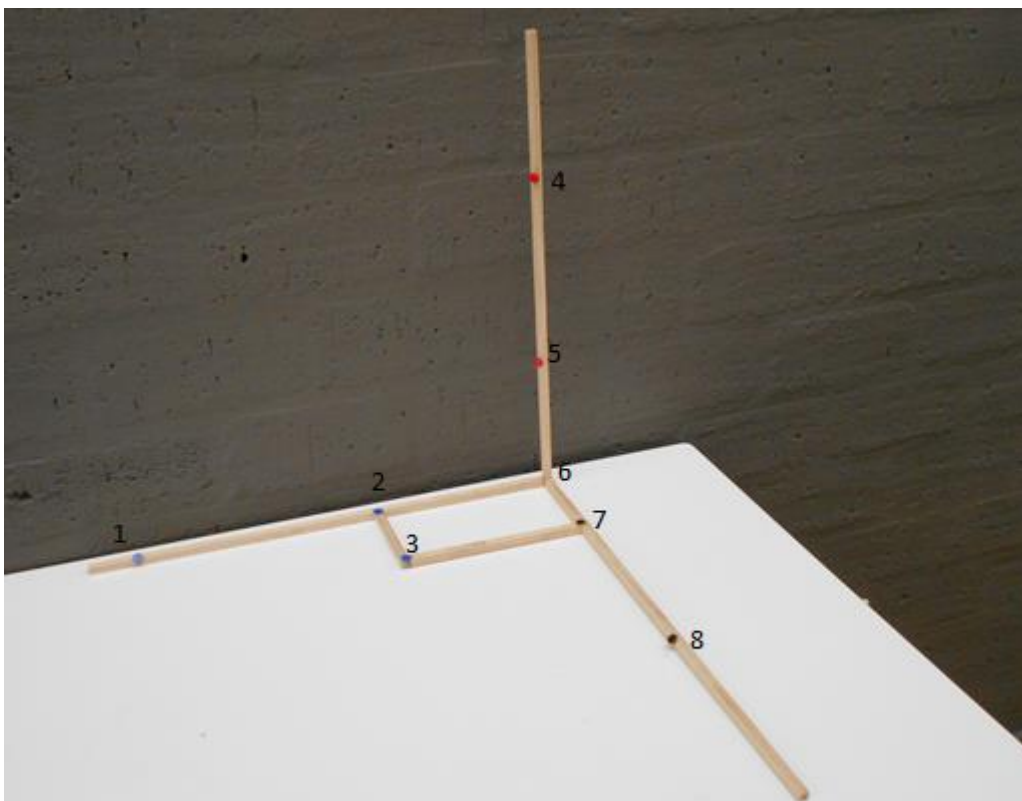
Computer

Platform

Meetlint 3m

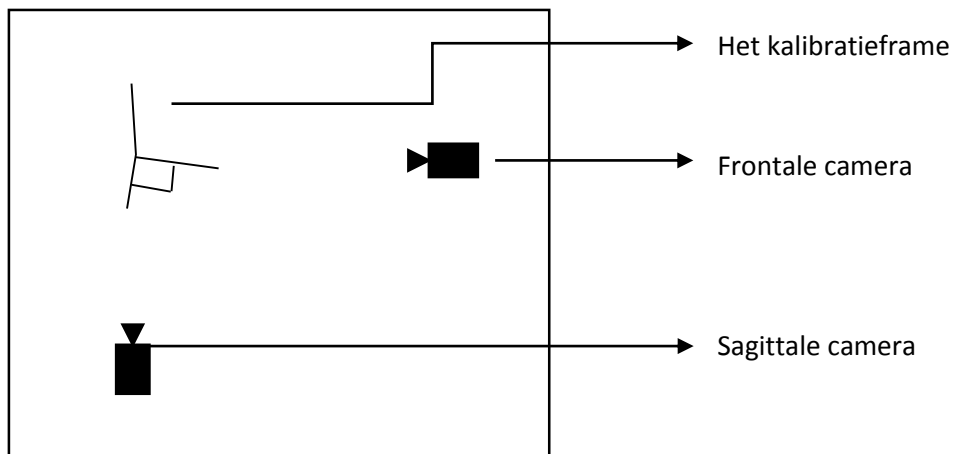
Kalibratieframe met markers

De fysieke testobjecten met markers



Figuur 1. Het kalibratieframe. De posities van de markers zijn van 1 tot 8: $(45\ 0\ 0)$, $(20\ 0\ 0)$, $(20\ 10\ 0)$, $(0\ 0\ 35)$, $(0\ 0\ 15)$, $(0\ 0\ 0)$, $(0\ 10\ 0)$, $(0\ 30\ 0)$.

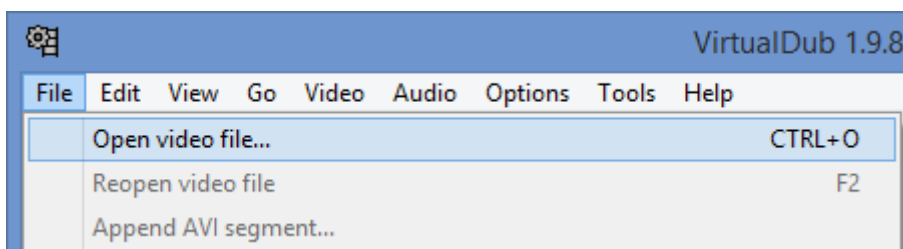
- 1.1 Zorg dat alle benodigdheden voor het eigen systeem aanwezig zijn zodat de opstelling klaargezet kan worden.
- 1.2 Plaats het kalibratieframe, bestaande uit een driedimensionaal assenstelsel, met acht markers op bekende posities (zie Figuur 1.), op het platform in het midden van de lege ruimte.
- 1.3 Plaats de eerste camera recht voor het frame op een afstand van 3m. Zoom in zodat het frame in het midden staat.
- 1.4 Plaats vervolgens de tweede camera, loodrecht op het vlak van de eerste camera ook gericht op het kalibratieframe op een afstand van 3m. Zoom in zodat het frame in het midden staat.
- 1.5 Zorg dat de camera's stabiel staan. De acht markers op het kalibratieframe moeten op beide camera duidelijk zichtbaar zijn. Controleer dit.



Figuur 2. Bovenaanzicht van de meetopstelling. Het kalibratieframe staat in een lege ruimte, de sagittale camera staat loodrecht op het kalibratieframe. De frontale camera staat loodrecht op het vlak van de sagittale

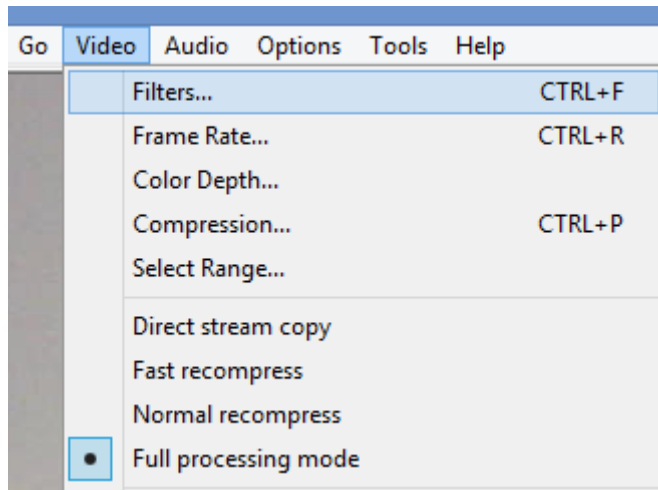
2. De kalibratie.

- 2.1 Als de opstelling gereed is, zoals geïllustreerd in Figuur 2, moet met beide camera's een video gemaakt worden. Deze video's hoeven maar enkele seconden lang te zijn, er wordt maar van één beeldje gebruik gemaakt.
- 2.2 Zorg dat de camera's vanaf nu blijven staan zoals ze staan tot de gehele meting klaar is.
- 2.3 Sla van beide camera's de gemaakte video op met in de naam 'kalibratie' en 'sagcam/'frontcam'.
- 2.4 Voordat de video's in het Matlab programma ingelezen kunnen worden, moeten deze verkleind worden. Maak hiervoor gebruik van het programma VirtualDub.
- 2.4.1 Ga via 'File' naar 'Open video file' (zie Figuur 3).

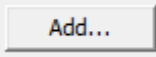


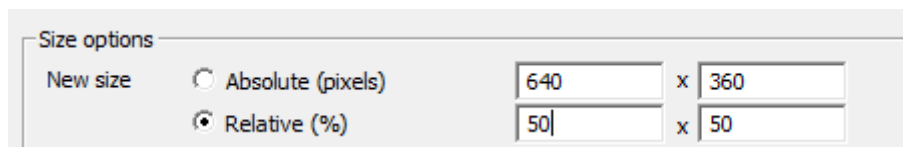
Figuur 3. Screenshot uit VirtualDub. Om een video te openen; ga via File naar Open video file.

- 2.4.2 Kies de video met de naam 'kalibratie sagcam', deze wordt nu geopend in het programma.
- 2.4.3 Ga naar 'Video', zorg dat het bolletje voor 'Full processing mode' aan staat. Ga via 'Video' naar 'Filters...', deze optie is alleen bruikbaar als de full processing mode is geselecteerd (zie Figuur 4).



Figuur4. Screenshot uit VirtualDub. Als het bolletje voor Full processing mode staat kies dan voor Filters...

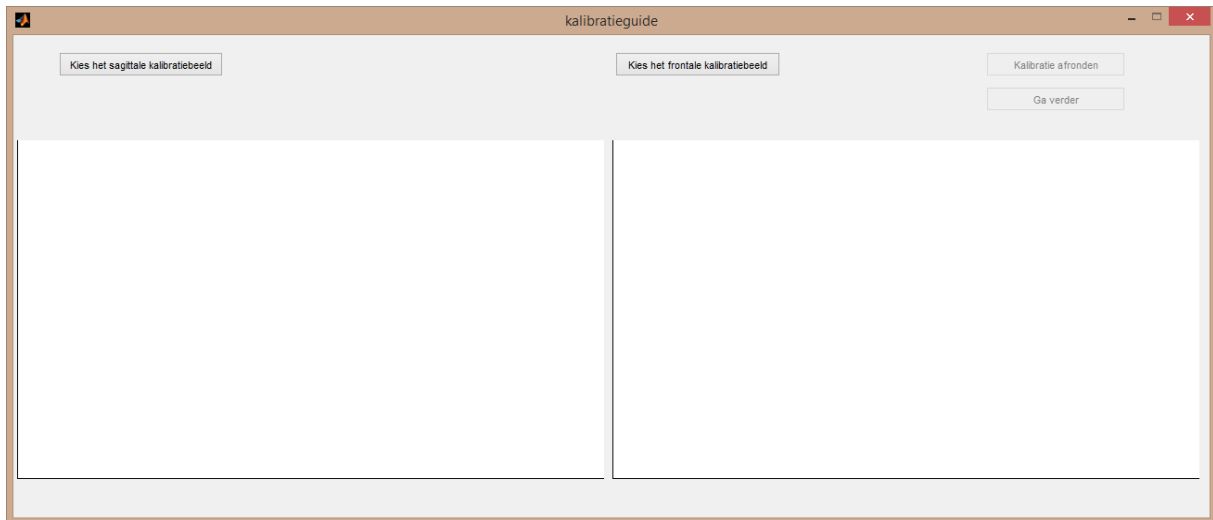
- 2.4.4 Er wordt een venster geopend waar filters gekozen kunnen worden. Klik op , er komt nu een lijst met mogelijke filters tevoorschijn, kies 'resize' en klik vervolgens 'OK'.
- 2.4.5 Vul bij 'Size options' de 'New size' in door de 'Relative (%)' waarde op 50 te zetten, je ziet de waardes van 'Absolute (pixels)' veranderen (zie Figuur 5.). Laat verder alles ongewijzigd.



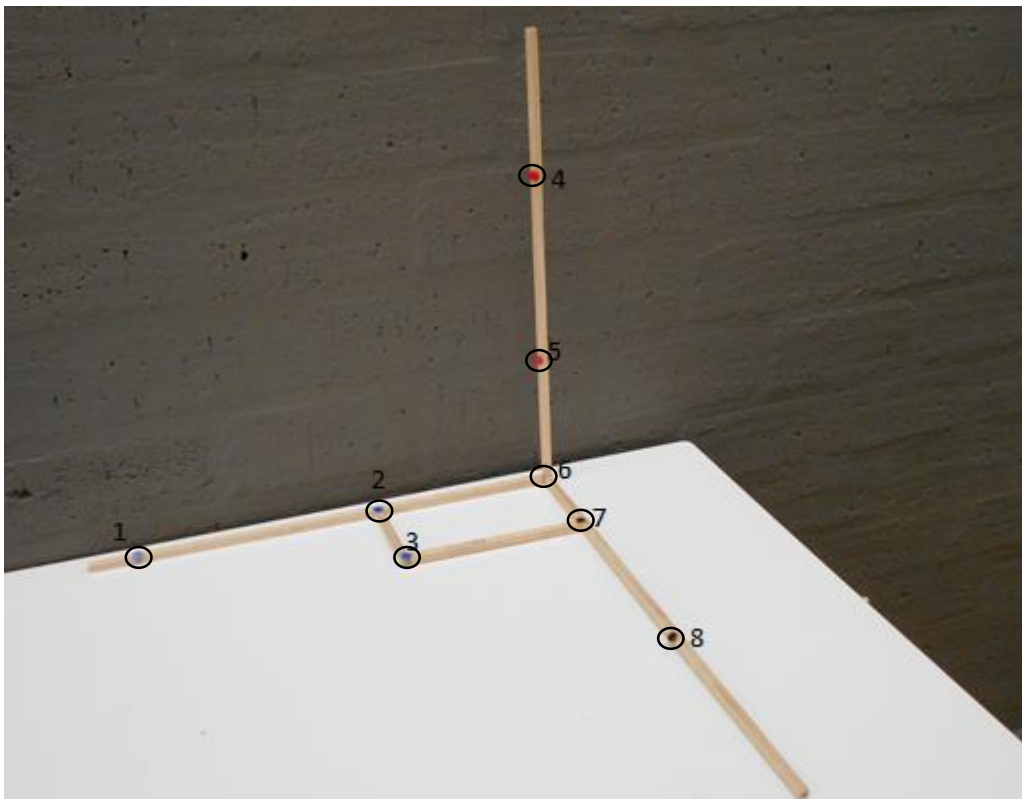
Figuur5. Screenshot uit VirtualDub. Verander de relatieve grootte naar 50%.

- 2.4.6 Klik op 'OK', in het venster zie je nu het gekozen filter staan. Klik nogmaals op 'OK', de video is nu verkleind en moet nu opnieuw opgeslagen worden.
- 2.4.7 Ga via 'File' naar 'Save as AVI...'. Vul de naam aan met 'klein' en sla het bestand op. Dit kan enkele seconden duren.
- 2.4.8 Doe dit zelfde ook voor het frontale beeld.
- 2.4.9 Sluit het programma Virtualdub.

2.5 Het kalibreren van de camera's kan nu beginnen. Open het kalibratieprogramma 'kalibratiegide'. In het scherm opent zich een venster met daarin twee assenstelsels en vier knoppen zoals te zien is in Figuur 6.



Figuur 6. Het kalibratiedeel van JMA.



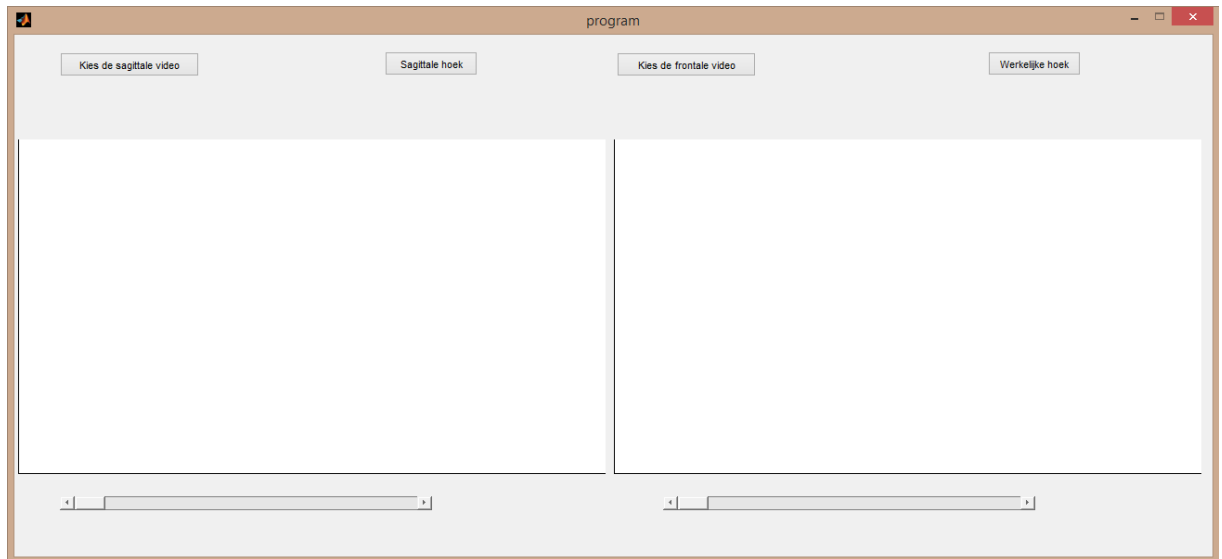
Figuur 7. Het kalibratieframe.

2.6 Wanneer op de knop 'Kies het sagittale kalibratiebeeld' wordt gedrukt komt er een pop-up waar de video 'kalibratie sagcam' aangeklikt dient te worden. Het eerste beeld van deze video verschijnt in de linker grafiek, onder de knop leest men nu 'klik de 8 kalibratiepunten aan'. Doe als gezegd, klik de acht kalibratiepunten in de volgorde zoals geïllustreerd in Figuur 7. aan. Bij elke klik komt op deze plek een klein cirkeltje.

- 2.7 Wanneer de acht punten aangeklikt zijn kan door middel van de knop 'Kies het frontale kalibratiebeeld' in de pop/up de video 'kalibratie frontcam' geopend worden.
- 2.8 In de rechter grafiek opent het eerste beeld van deze video. Onder de knop leest men 'klik nogmaals de 8 kalibratiepunten aan'. Op het sagittale beeld moeten de acht punten in dezelfde volgorde aangeklikt worden. Ook hier verschijnen op de aangeklikte punten rondjes.
- 2.9 Wanneer al de handelingen verricht zijn klikt men op de knop 'Kalibratie afronden'. Het programma is druk aan het rekenen maar er zijn geen veranderingen in het beeld te zien. Het kalibratieproces is nu gereed. Wanneer de camera's van positie veranderen dient de procedure opnieuw gevolgd te worden.
- 2.10 Druk op 'Ga verder' als de video's van de te meten hoek al gemaakt zijn, om door te gaan naar het meten van een hoek. Of sluit het programma door op het rode kruisje te drukken, later kan verder gegaan worden door 'program' te openen.

3. Het meten van een hoek.

- 3.1 Het meten kan nu beginnen. Zorg dat de camera's ten alle tijden onbewogen op hun plek blijven staan.
- 3.2 Haal het kalibratieframe uit de opstelling en zet deze buiten zicht van de camera's.
- 3.3 Er wordt gebruik gemaakt van twee testobjecten, bestaande uit twee staven in een bekende hoek. Wanneer op het testobject getest gaat worden moet op het draaipunt en op elke arm van de hoek 1 marker geplaatst worden.
- 3.4 Zet het eerste testobject op de plek van het kalibratieframe in Stand 0.
- 3.5 Zorg dat beide camera's de drie markers in beeld hebben.
- 3.6 Maak met beide camera's een video.
- 3.7 Verander het testobject naar Stand 1.
- 3.8 Maak opnieuw met beide camera's een video.
- 3.9 Herhaal stap 3.7 en 3.8 voor alle negen standen.
- 3.10 Herhaal vanaf stap 3.4 voor het tweede model.
- 3.11 Haal de SDkaart uit de camera's of sluit deze met het kabeltje aan op de computer, sla de video's op met in de naam 'sagcam/frontcam' 'object1/2' en 'stand..'.
- 3.12 Voor de video's in Matlab gebruikt kunnen worden moeten deze eerst verkleint worden. Volg de stappen beschreven bij punt 2.4 - 2.4.9.
- 3.13 Open het programma 'program'. In het scherm opent een nieuw venster met daarin twee assenstelsels, twee sliders en drie knoppen zoals te zien is in Figuur 8.



Figuur 8. Het programma

- 3.14 Klik op 'Kies de sagittale video', er komt een pop-up, de video 'stand1,sagcam,klein' moet aangeklikt worden. Het eerste beeld van deze video verschijnt in de linker grafiek.
- 3.15 Onder de knop leest men nu 'klik de markers van boven naar beneden aan'. Doe als gezegd, klik de drie markers aan. Bij elke klik komt op deze plek een klein cirkeltje.
- 3.16 Wanneer de drie markers aangeklikt zijn en op de knop 'Sagittale hoek' wordt geklikt verschijnt onder deze knop de hoek die in het sagittale aanzicht is gemeten.
- 3.17 Klik op 'Kies de frontale video' er opent een pop-up waar het eerder verkleinde beeld van de frontale camera aangeklikt dient te worden. Het beeld opent in de rechter grafiek.
- 3.18 Onder de knop leest men 'klik nogmaals de markers van boven naar beneden aan'. Op het sagittale beeld moeten de drie punten in dezelfde volgorde aangeklikt worden. Ook hier verschijnen op de aangeklikte punten rondjes.
- 3.19 Klik op de knop '3D hoek', onder de knop staat nu de berekende 3D hoek die uit de twee beelden is berekend.

II. Projectplan

Naam: Japke de Jonge
 Studentnummer: 10062114
 e-mail: japkedejonge@gmail.com
 Behaalde studieptn. in mod 9-12: Alle
 Datum: 31-01-2014

Inhoud

1. Onderwerp.....	33
2. Probleemstelling	33
Aanleiding:	33
Rotaties:.....	34
Vraagstelling:	36
Deelvragen:.....	36
Doelgroep:	37
Doelstelling:	37
Randvoorwaarden:	37
3. Methode	38
Analysefase	38
Ontwerpfase /Vervaardigfase	38
Testfase/ Evaluatiefase	40
Voorlopig Meetprotocol 1.....	40
Voorlopig Meetprotocol 2.....	40
4. Voorlopige inhoudsopgave van scriptie.....	43
5. Voorlopige literatuurlijst	44
6. Planning	45
7. Bijlage	46

1. Onderwerp: De vertekening van de kniehoek in het sagittale aanzicht.

Werkveld: Bewegingsanalyse

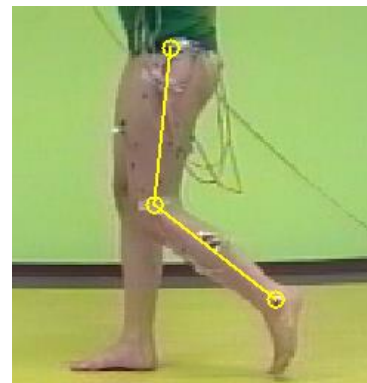
Beroepsrol: Onderzoeker

2. Probleemstelling

Aanleiding:

Tijdens mijn tweede stage bij het looplab van Sophia Revalidatie is het volgende probleem naar boven gekomen. Wanneer gekeken wordt naar de sagittale beelden lijkt de lengte van de voet niet altijd gelijk, wanneer het been in de heup in endo, of –exorotatie staat ziet de voet er korter uit dan hij werkelijk is. Ook is de vraag of de kniehoek die in het sagittale aanzicht gemeten wordt altijd de hoek is die we willen meten. Wanneer het been in de heup ge-exo, of -endoroteerd staat geeft dit in het sagittale aanzicht een vertekening van de werkelijke kniehoek.

Tijdens het analyseren, van de opgenomen video's van het gangbeeld, worden o.a. de kniehoeken in verschillende fases van het gaan gemeten in het sagittale aanzicht. Volgens de richtlijnen van het Standaard Lichamelijk Onderzoek worden de markeerpunten om de kniehoek te meten geplaatst op de torchanter major, de laterale epicondylus (femur) en het meest laterale deel van de laterale malleolus. (zie Figuur. 1). (Becher, et al., 2008)



A. Leardini schreef dat een grote bron van fouten in het meten van een bewegings analyse de huidverschuiving is. Door het bewegen van weke delen om het botpunt heen wordt de werkelijke beweging van het bot niet meer exact gemeten. (Leardini, Chiari, Croce, & Cappozzo, 2005)

Uit onderzoek van S. Boral et. al bleek het gebruik van video analyse software (Dartfish) een efficiënte benadering van de betrouwbaarheid van visuele video evaluaties te verbeteren (Borel, Schneider, & Newman, April 2011). Op de VU van Amsterdam is onderzoek gedaan naar de reproduceerbaarheid en validiteit van video screen measurement (VSM). 17 kinderen met spastische Cerebrale Parese liepen over een 10m lange looppad, er werden zowel tweedimensionaal als driedimensionaal opnames gemaakt. Twee onderzoekers hebben uit het sagittale aanzicht van de tweedimensionale opnames hoeken gemeten. Wanneer dezelfde onderzoeker de VSM uitvoert kan deze relevante veranderingen na een interventie detecteren. De met VSM gemeten hoeken verschillen echter van de driedimensionaal gemeten hoeken. Waarschijnlijk komt dit door mogelijke extra bewegingen in andere vlakken. (Grunt, et al., April 2010)

Figuur 3. Kniehoek gemeten in het sagittale aanzicht in MoxieViewer.

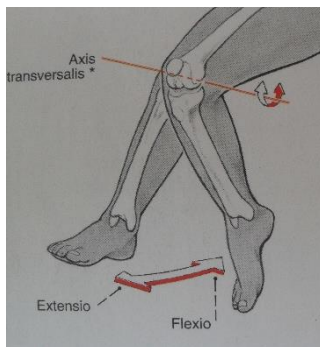
In het analyse programma Kinovea is er de mogelijkheid om hoeken te meten door een digitale goniometer op gewenste punten te plaatsen. Vervolgens kan het programma dit gegeven genereren van een Excel bestand. Door gebruik te maken van de tool 'tracking angle' blijft het programma tijdens een afspelende video de aangegeven hoek volgen (tracken). Hier ontbreekt nog de

mogelijkheid om de gemeten hoeken van de hele video uit te lezen in een Excel bestand. (Kinovea, 2013)

Het zou ideaal zijn wanneer dit een bestand gegenereerd kan worden waar meteen de werkelijke kniehoek uit komt rollen.

De werkelijke kniehoek

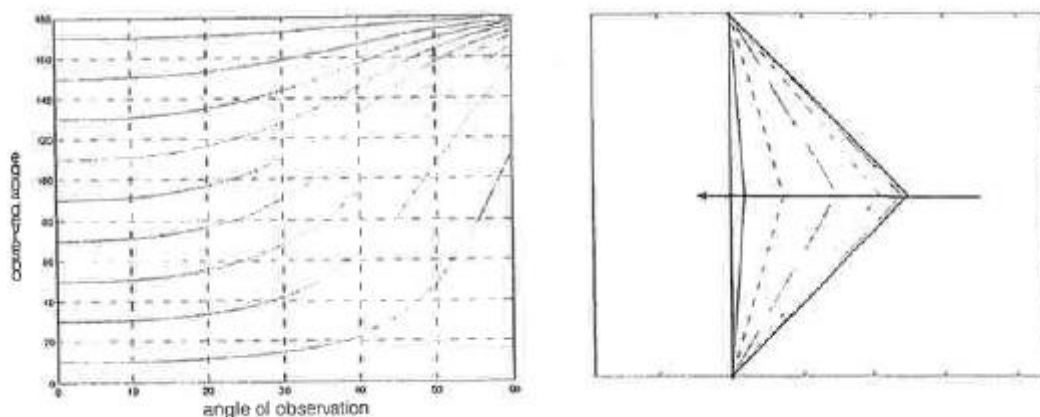
De ongelijke kromming van de femurcondylen maakt dat verandert tijdens de beweging vooral de ligging van deze as. Dit wil zeggen dat het meten van de kniehoek door de as te projecteren op de laterale femurcondyl alleen een benadering geeft van de werkelijke kniehoek. In dit verslag zal deze benadering in het vervolg geschreven worden als de werkelijke kniehoek.



Figuur 6. Transversale projectie as van het kniegewricht

Rotaties:

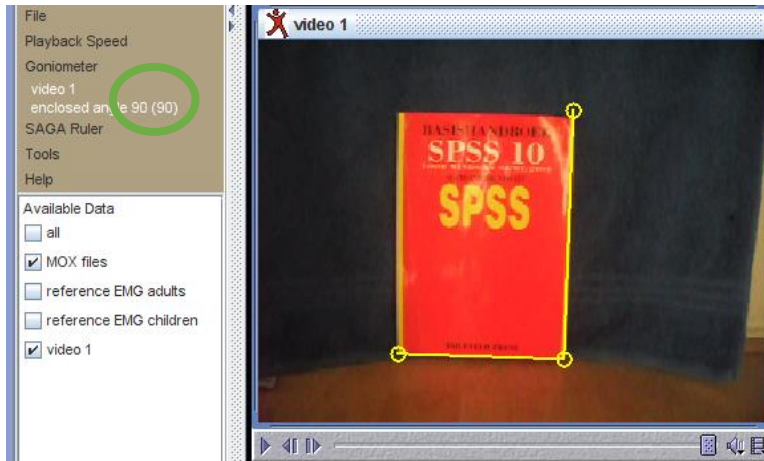
Bij een observatie van een hoek treedt vertekening op wanneer er niet loodrecht op het vlak waarin de hoek dient te worden beoordeeld wordt gekeken. Allereerst kan deze fout ontstaan doordat de camera niet loodrecht op het sagittale vlak wordt gebruikt. Daarnaast is het eerder regel dan uitzondering dat de bewuste beweging niet in het vlak van observatie plaatsvindt. Een dergelijke projectiefout is uiteraard niet te vermijden, men dient zich daarom bewust te zijn van het optreden van deze vertekening. (Harlaar & Becher, 2007)



Figuur 3. Vertekening van de werkelijke hoek (y-as) die ontstaat door het punt van observatie (x-as) parallel aan de zwaartelijn vanuit de top van de driehoek te verplaatsen: de hoek wordt groter (in rechter figuur: een hoek van 90° geprojecteerd in stappen van 15 graden.) (Harlaar & Becher, 2007)

De projectiefout kan twee kanten uitgaan. Een ge-endoroteerd been geeft in het sagittale beeld een kniehoek die meer in extensie staat, een ge-exoroteerd been geeft zo een kniehoek die meer in flexie staat dan werkelijk. In Figuur 4. en 5. is dit geïllustreerd met behulp van een boek.

Als men de kniehoek blijft meten door in het sagittale aanzicht de eerder genoemde botpunten te volgen, meet men niet de kniehoek die men wil meten. Momenteel wordt dit probleem uit de weg gegaan door de kniehoek in het sagittale beeld te meten, met in het observatieformulier een aantekening van de aanwezige endo of exorotatie die te zien is in het frontale beeld.



Figuur 4. Een hoek van 90°, loodrecht op de camera geeft dit een hoek van 90°.



Figuur 5. Een hoek van 90°, gedraaid naar de camera geeft dit een hoek van 82°.

Vraagstelling:

Hoe kan er vanuit de kniehoek uit twee tweedimensionale videobeelden de werkelijke kniehoek gemeten worden wanneer het been in het heupgewricht geroteerd staat?

Deelvragen:

- Hoe wordt de endo of exorotatiehoek van de heup gemeten in het frontale aanzicht?
- Hoe kan de kniehoek getestobjectleerd worden?
- Wat moet er veranderen aan de huidige manier van gangbeeldanalyse om dit te kunnen laten slagen?
- Is er al een algoritme dat de werkelijke kniehoek uit een frontaal en sagittaal beeld berekend?
 Zo ja, wat is de reden dat dit nog niet wordt ingezet in de bestaande software?
- Als dit algoritme gevonden is voor de kniehoek, kan het dan ook voor de, vereenvoudigde, enkelhoek ingezet worden? En voor de heuphoek?

Doelgroep:

Dit onderzoek is interessant voor iedereen die zich bezig houdt met het analyseren van gangbeelden in een tweedimensionale setting. Als naar aanleiding van de gevonden kniehoeken een behandelmethode wordt opgesteld kan deze gebaseerd worden op onjuiste hoeken. Daarmee hebben de behandelend therapeuten en uiteindelijk de patiënt zelf ook baat van dit onderzoek.

Doelstelling:

Het doel is het verkrijgen van algoritme, mogelijk om te implementeren in een al bestaande software. Met dit algoritme zal de vertekende kniehoek uit de gemeten hoeken van het frontale en sagittale videobeeld worden omgerekend naar de werkelijke hoek. Dit algoritme moet betrouwbaar en valide zijn. Om dit te kunnen garanderen zal het algoritme getest worden middels testobjecten in een bekende hoek. (zie Testfase/ Evaluatiefase).

Randvoorwaarden:

Voor het testen van het algoritme zal gebruik gemaakt worden van het 3d-systeem op de Haagse Hogeschool. In een driedimensionale setting worden de bewegingen uit alle vlakken meegenomen in de waarneming. Hierdoor zal er bij dit systeem geen verteken-fout van de kniehoek ontstaan. Daarom zal het 3d-systeem als gouden standaard gebruikt worden om het gevonden algoritme op validiteit te testen (zie Voorlopig Meetprotocol 2.).

3. Methode

Analysefase

- **Welke databases ga je gebruiken bij het verzamelen van de literatuur**
Literatuur zal ik halen uit digitale databases als Science direct, Pubmed, Google Scholar. Verdere informatie zal gehaald worden uit boeken, eigen kennis en kennis van anderen.
- **Welke zoektermen denk je te gebruiken**
Gait analysis, Video, sagittal, frontal, angular, knee flexion, measuring, two-dimensional analysis, meetfout, hoekverdraaiing, Measurement error
- **Welke instanties (bedrijven, personen) kunnen wellicht nuttige contacten zijn bij het ontwerpen van de methode**
Software makers als TMSi, Kinovea, Sybar Viewer, Moxie Viewer. Looplabs waar tweedimensionale opnamen worden gemaakt.

Ontwerpfase /Vervaardigfase

- **Beschrijf welke inputvariabelen het algoritme zal bezitten**
Input: de gemeten kniehoek vanuit het sagittale videobeeld en het frontale videobeeld. In het geval van de testobjectstudie zal de gemeten hoek van het testobject van beide aanzichten in het algoritme ingevoerd moeten worden.
- **Welke output moet het algoritme genereren?**
De output van het algoritme is de werkelijke kniehoek.
- **Hoe toets je de uitkomsten van het algoritme?**
Eerst zal door middel van fysieke testobjecten in bekende hoeken het algoritme getest worden (zie Voorlopig Meetprotocol 1). Na mogelijk optimalisering van het systeem en/of algoritme zal een tweede test uitgevoerd worden. Nu zal een test uitgevoerd worden waarbij zowel de zelfgemaakte meetopstelling als het 3d-systeem opnames maken (zie Voorlopig Meetprotocol 2). De uitkomsten worden in SPSS met elkaar vergeleken. Het 3d-systeem wordt als gouden standaard gezien.
- **Wat is de nauwkeurigheid van het algoritme?**
Nauwkeurigheid staat voor de meetfout van de metingen. Bij de meting moet altijd de nauwkeurigheid gegeven worden. Voor dit algoritme is een afronding van 1 genoeg. Er hoeven geen cijfers achter de komma te komen. Uitkomsten zullen dus vb 90°, 43° zijn.
- **Hoe wordt de betrouwbaarheid van het systeem aangetoond?**
Betrouwbare metingen zijn metingen die herhaald ongeveer dezelfde waarde opleveren. De test van Voorlopig Meetprotocol 1. zal hiervoor twee keer uitgevoerd worden.
 $M_i = \omega_i + \varepsilon_i$ waarin M_i =de meting, ω_i =de werkelijke waarde, ε_i =de meetfout. (Doef, 2014) Hoe kleiner ε_i , hoe betrouwbaarder de meting. ε_i kan beïnvloed worden door onder andere leesfouten, meetapparatuur of de onderzoeker. Het punt waar de betrouwbaarheid over zou kunnen vallen is de betrouwbaarheid van het programma waarin de hoeken met behulp van een digitale goniometer opgemeten wordt evenals het wisselen van observator. Om de invloeden op ε_i zo klein mogelijk te houden wordt er strikt aan het Meetprotocol gehouden.

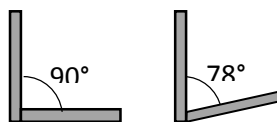
De Inter Correlatie Coëfficiënt (ICC) staat voor de interne verschillen tussen de beoordelaars. De waarde van de ICC ligt altijd tussen 0 en +1. Als $r = +1$ is er sprake van een perfect positief verband tussen beide variabelen. Als $r = 0$ is er geen lineair verband. (Vocht, 2001) Er wordt gestreefd naar een ICC zo dicht mogelijk bij 1. In SPSS wordt de One-Way-ANOVA test uitgevoerd op de ICC te bepalen.

- **Hoe wordt de validiteit aangetoond?**

De validiteit van een meting zegt dat je meet wat je wil meten. Het 3d-systeem wordt als gouden standaard genomen. In de tweede test (zie Voorlopig Meetprotocol 2.) wordt gelijk met het eigen systeem en het 3d-systeem opgenomen. De resultaten van het eigen systeem kunnen dan vergeleken worden met de resultaten van het 3d-systeem. In SPSS worden toetsen gedaan op de correlatie tussen de twee systemen. Als r gelijk is aan +1 is er sprake van een perfect positief verband tussen de variabelen, alle punten liggen dan op een rechte lijn. Ook bij een perfect negatief verband liggen alle punten op een rechte lijn ($r = -1$). Als r gelijk is aan 0 is er geen lineair verband. Met behulp van SPSS wordt de correlatie-factor bepaald.

- **Hoe ziet het fysieke testobject er uit**

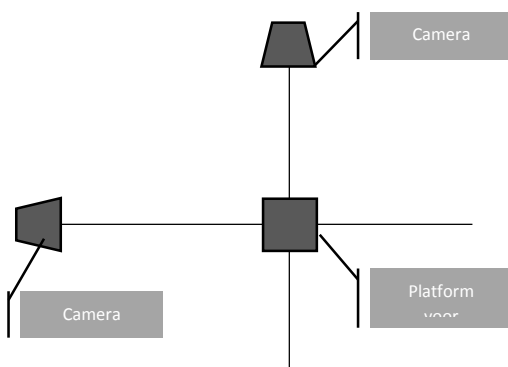
Het testobject zal bestaan uit twee staven die in een vaste hoek aan elkaar bevestigd zijn. Van dit concept zullen twee testobjecten vervaardigd worden, beide in een andere hoek.



Figuur 7. Voorbeeld van de fysieke testobjecten.

- **Hoe ziet de meetopstelling er uit**

De meetopstelling zal bestaan uit twee statieven waar camera's op geplaatst worden. Deze camera's staan loodrecht op elkaar. Op het kruispunt van de camera's staat een platform waarin de fysieke testobjecten geplaatst kunnen worden.



Figuur 8. Voorbeeld van de meetopstelling

Testfase/ Evaluatiefase

Voorlopig Meetprotocol 1.

Doel

Het doel van deze test is het binnenhalen van de resultaten van het algoritme, om deze op betrouwbaarheid te testen.

Bijnodigdheden

2 camera's + statieven

Computer

Laser + meetlint

De twee fysieke testobjecten + markers

Platform

Tabel 3. Invultabel opnamenummers tijdens de eerste test. (zie bijlage)

Tabel 4. Invultabel Meetprotocol 1 uitkomsten algoritme

Procedure

Plaats de camera's op de juiste plek

Zorg dat de markers op de juiste plek op het testobject bevestigd zijn

Plaats het eerste testobject op het platform in de eerste stand, loodrecht op de sagittale camera

Zet de camera's aan

Maak met beide camera's een opname

Noteer het opname nummer in Tabel 3. (zie bijlage)

Verander de positie van het testobject naar de tweede stand ten opzichte van de camera's

Maak met beide camera's een opname

Noteer het opname nummer in Tabel 3. (zie bijlage)

Verander de positie van het testobject naar de derde stand ten opzichte van de camera's

Maak met beide camera's een opname

Plaats het tweede testobject in de meetopstelling in de eerste stand, loodrecht op de sagittale camera

Maak met beide camera's een opname

Noteer het opname nummer in Tabel 3. (zie bijlage)

Verander de positie van het testobject naar de tweede stand ten opzichte van de camera's

Maak met beide camera's een opname

Noteer het opname nummer in Tabel 3. (zie bijlage)

Verander de positie van het testobject naar de derde stand ten opzichte van de camera's

Maak met beide camera's een opname

Noteer het opname nummer in Tabel 3. (zie bijlage)

Zet de camera's uit

Ruim de meetopstelling op

Resultaten

Start de computer

Importeer de video bestanden van de camera naar de computer

Sla elk bestand op met in de naam het opnamenummer, de camera, het testobject en de stand

Open de viewer

Open de video beelden van de eerste opname in de viewer

Meet de hoeken met de daarvoor gemaakte goniometer

Noteer de hoeken in Tabel 4. (zie bijlage)
Herhaal deze stappen voor elke opname
De gevonden hoeken worden in het algoritme ingevoerd
De output wordt in Tabel 4. Geschreven

Voorlopig Meetprotocol 2.

Dit meetprotocol is nog erg voorlopig, eerst moet meer kennis over het driedimensionale systeem opgedaan worden.

Doel

Het doel van deze test is het binnenhalen van de gegevens van zowel het algoritme als het 3d-systeem om zo de validiteit van het algoritme te kunnen meten.

Bijnodigheden

10 proefpersonen
3d-systeem +toebehoren (?)
Computer
2 camera's
2 statieven
2 pilonnen
Laser
Meetlint
De twee fysieke testobjecten
Platform
Tabel 5. Invultabel opnamenummers tijdens de tweede test. (zie bijlage)
Tabel 6. &7.

Procedure

Verwelkom de proefpersoon (pp)
Neem de procedure door met de pp en beantwoord eventuele vragen
Plaats de markers op de pp
Maak het 3d-systeem in orde (werking en opstelling nog niet bekend)
Plaats de camera's op de juiste plek
Zet de camera's aan
Laat de eerste proefpersoon plaats nemen in de opstelling
Start de opnames van beide camera's
Start de opname van het 3d-systeem
Laat de pp de synchronisatie beweging maken
Laat de persoon in een rechte lijn van pylon naar pylon lopen
Stop de opname van het 3d-systeem
Stop de opnames van de camera's
Noteer de opnamenummers in Tabel 5. (zie bijlage)
Het opname nummer van het 3d-systeem wordt opgeslagen met in de naam systeem en pp

Resultaten

Start de computer
Importeer de video bestanden van de camera naar de computer

Sla elk bestand op met in de naam het opnamenummer, de camera, het testobject en de stand
Open de viewer
Open de video beelden van de eerste opname in de viewer
Meet de hoeken met de daarvoor gemaakte goniometer
Noteer de hoeken in Tabel 6. (zie bijlage)
Herhaal deze stappen voor elke opname
De gevonden hoeken worden in het algoritme ingevoerd
De output wordt in de daarvoor gemaakte tabel geschreven
Open de gegevens van de 3d-meting
De waarden van de hoeken worden uitgelezen en in Tabel 7. (zie bijlage) geplaatst

Verwerking gegevens Meetprotocol 1 (voorlopig)

Open SPSS
Importeer alle gegevens uit Tabel 4. van zowel het 2d als het 3d systeem.
Ga in SPSS naar Analyse -> Scale -> Reliability Analyse
Geef de metingen aan
Druk op Statistics
Intraclass Correlation Coefficient aanvinken
Testobject op one way zetten
Als de Sig-waarde onder 0,005 is kan met een betrouwbaarheid van 95% gezegd worden dat de correlatie in de tabel waar is.

(Voer de one way ANOVA test uit
De afhankelijke variabele is de hoek, de factor is het testobject
De ICC wordt berekend

$$ICC(k) = \frac{\text{Buitenvariantie} - \text{Binnenvariantie}}{\text{Buitenvariantie}}$$

De Binnenvariatie is in dit geval interessant (de variatie tussen de uitkomsten van 1 testobject))

Voorlopige inhoudsopgave van scriptie.

Titelblad

Titelblad

Voorwoord

Inhoudsopgave

Samenvatting

Inleiding

Afstudeeropdracht

Probleemstelling

Randvoorwaarden

Literatuurstudie

Software programma's voor gangbeeldanalyse

Analyse

Draaien van een hoek

Kniehoek meten in sagittale aanzicht

Kniehoek meten in frontale aanzicht

Eisen voor het algoritme

Testen

Onderzoekdesign

Resultaten

Betrouwbaarheid

Validiteit

Optimalisatie

Gebruiksvriendelijkheid

Discussie

Conclusie

Literatuurlijst

Bijlagen

5. Voorlopige literatuurlijst

1. J., Becher, et al. Standaard Lichamelijk Onderzoek bij kinderen met een Centraal Motorische Parese. Amsterdam : sn, 2008.
2. Leardini, A., et al. Human movement analysis using stereophotogrammetry: Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait & Posture*. 2005, Vol. Volume 21.
3. Borel, S., Schneider, P. en Newman, C.J. Video analysis software increases the interrater reliability of video gait assessments in children with cerebral palsy. *Gait & Posture*. 4, April 2011, Volume 33, pp. Pages 727–729.
4. Grunt, S., et al. Reproducibility and validity of video screen measurements of gait in children with spastic cerebral palsy. *Gait & Posture*. 4, April 2010, Volume 31, pp. Pages 489–494.
5. Kinovea. <http://www.kinovea.org/>. kinovea. [Online] 2013. <http://www.kinovea.org/>.
6. Harlaar, J. en Becher, J. Syllabus Klinische GangbeeldAnalyse. Amsterdam : VUmc, 2007.
7. Doef, R. vd. Nauwkeurigheid, Betrouwbaarheid en Validiteit. Den Haag : sn.
8. Vocht, A. de. Basishandboek SPSS10. Utrecht : Bijleveld Press, 2001.
9. Heckbert, P. Projective Mappings for ImageWarping. 1999.
10. Becher, J. Pediatric Rehabilitation in Children with Cerebral Palsy: General Management, Classification of Motor Disorders. *Journal of Prosthetics & Orthotics*. 4, 2002, Volume 14, pp. pp. 143-149.
11. Putz, R. en Pabst, R. Sobotta atlas van de menselijke anatomie. Houten/Diegem : Bohn Stafleu Van Loghum, 2001. ISBN 9031331015.

6. Planning

Omdat ik de eerste vier weken van deze periode op reis ben heb ik de planning zo gemaakt dat al het werk in tien weken uitgevoerd wordt.

Voordat ik vertrek wil ik de volgende zaken al helemaal op orde hebben.

- Literatuurstudie naar wat er gebeurt wanneer een hoek draait ten opzichte van de camera.
- Literatuurstudie naar bestaand algoritme.
- Literatuurstudie naar huidige methode om de kniehoek te meten in tweedimensionale setting.
- Contact leggen met bedrijven die dergelijke software beheren. (TMSI, Kinovea, Sybar, Moxie Viewer)
- Opzet van het onderzoek(=meetprotocol, benodigde tabellen)
-

Tabel 6. Voorlopige planning

Wanneer (week)	Naam	Onderwerp	Tijd (uur)
5, 6	A	Vinden van het logaritme	20
	B	Proefpersonen verzamelen	5
	Z	Start maken scriptie	15
6, 7	C	Het algoritme uitschrijven op papier	20
	D	Proefpersonen informeren van activiteiten via brief	3
	Z	Schrijven van scriptie	17
7, 8	E	Het algoritme verwerken	25
	F	Planning voor testen (i.v.m. Ruimte en Proefpersonen)	3
	Z	Schrijven van scriptie	12
8	G	Testobjecten maken om het gemaakte algoritme mee te testen	3
	Z	Schrijven van scriptie	27
9	H	Aanpassen Voorlopig Meetprotocol 1	15
	I	Meetprotocol 1 volgen	10
	Z	Schrijven van scriptie	15
10, 11	J	Aanpassen Voorlopig Meetprotocol 2	15
	K	Meetprotocol 2 volgen	10
	Z	Schrijven van scriptie	20
12	L	De gevonden data met elkaar vergelijken	15
	Z	Schrijven van scriptie	15
13	M	Conclusies trekken over gemaakte algoritme	5
	N	Het algoritme evalueren en mogelijke verbeterpunten opstellen	5
	Z	Schrijven van scriptie (afronding)	20
14	Z	Scriptie + toebehoren uitprinten, inbinden en inleveren	1
15	O	Presentatie maken + voorbereiden	12
16	P	Presentatie + Verdediging	2
		Totaal	310

Qua wekelijkse planning komt dat er dan ongeveer zo uit te zien.

Tabel 7. Weekplanning

Wee k 1-4	Week 5	Week 6	Week 7	Week 8	Week 9	Week 10	Week 11	Week 12	Week 13	Week 14	Week 15-16
NIET AANWEZIG	A , B										
		C , D									
			E , F								
				G							
					H , I						
						J , K					
								L			
									M , N		
										Z	
											O , P

III. Persoonlijke leerdoelen afstudeerfase

Mijn vooraf gestelde persoonlijke leerdoelen waren:

- Zelfstandig een project van begin tot eind doorlopen
In mijn gehele loopbaan van Bewegingstechnologie werden projecten in een groep van twee of meer personen uitgevoerd.
- Zelfstandig softwareprogramma's ontwikkelen en toepassen voor randapparatuur en bewegingstechnologische toepassingen; Beter begrip krijgen van programmeer programma's als Matlab.
Wanneer ik weet wat ik wil ben ik nog maar op de helft, dan komt het deel waar het ook in programmeertaal moet kloppen. Dit is nog een groot leerpunt.
- Goed kunnen formuleren wanneer ik iets niet snap en dat durven vragen

Evaluatie van de persoonlijke leerdoelen

Het project heb ik zeer zelfstandig doorlopen.

Het geschreven softwareprogramma werkt niet geheel zoals gehoopt maar is verder wel wat ik van tevoren had bedacht. Met behulp van de eerder gebruikte readers voor programmeren, hulppagina's op internet en de hulp van docenten is er gekomen wat er nu is. Ik ben er zelf tevreden mee, in het hoofd gehouden dat ik geen ICT student ben.

Het formuleren wat ik niet snapte of wat me niet lukte ging best goed. Het om hulp vragen heb ik soms wat langer uitgesteld en zelf langer blijven zoeken. Het vragen om feedback op de geschreven stukken vind ik zelf ruim voldoende, het stuk is door 5 personen, sommige meerdere keren doorgelezen.