

## VOORWOORD

Deze eindproef kon niet gerealiseerd worden zonder de gewaardeerde medewerking van anderen. Om deze reden zou ik graag enkele mensen willen bedanken.

Allereerst het docententeam van de opleiding Medische Beeldvorming aan de EHSAL-hogeschool te Brussel voor haar enthousiaste toewijding aan de studenten, en om mij de mogelijkheid te bieden deze leerrijke opleiding te kunnen aanvatten.

Vervolgens zou ik mijn interne promotor, Renaat Van den Broeck, willen bedanken voor zijn kritische noot tijdens het maken van deze eindproef.

Mijn externe promotor, Prof. Dr. Eric Achten, en externe co-promotor, Frank Prieels, verdienen ook de vermelding binnen dit voorwoord. Dankzij hen heb ik mijn steentje mogen bijdragen in het experimenteel holografieproject. Het zou mooi zijn en ons allen voldoening schenken, mocht de holografie op termijn een nieuwe betekenisvolle reconstructietechniek vormen.

Prof. Dr. Wim Van de Voorde zou ik eveneens willen bedanken voor het brainstormen over de link tussen medische beeldvorming en de forensische onderzoekswereld. Ik heb op deze manier het geluk gehad craniofaciale reconstructie te kunnen/mogen uitwerken binnen mijn eindproef.

Een zeer grote pluim verdienen eveneens de onderzoekers in het CAESAR-instituut te Bonn: Prof. Peter Hering, Natalie Ladrière en Andrea Thelen. Deze mensen stonden altijd klaar mij op welke manier dan ook onmiddellijk te helpen wat betreft het holografiehoofdstuk. Ik heb steeds op hen kunnen rekenen en ben hen hiervoor uitermate dankbaar.

Prof. Dr. Ir. Em. F.W. Zonneveld staat mij eveneens na aan het hart. Hoewel ik nooit het genoegen heb mogen hebben om hem persoonlijk te ontmoeten, heeft hij mij altijd met enthousiasme geholpen. Dit apprecieer ik enorm.

Ik zou ook graag Gail Van Hoever willen bedanken om mij in contact te brengen met Ben Claes en Peter Clauwaert. Deze twee forensische kunstenaars hebben mij de kans gegeven een glimp te laten opvangen van de 'werkelijke wereld' binnen het forensisch team van de Belgische politie, en hebben mij meer uitleg verschaft over de craniofaciale reconstructiemethoden. Ik heb bij hen vooral mogen ervaren hoe gezellig druk het leven kan zijn.

Sven De Greef zou ik eveneens willen bedanken voor zijn gulle informatietoedracht.

Ten slotte verdient mijn familie ook een plaatsje binnen deze lijst omdat ze mij de mogelijkheid heeft geboden deze studies te kunnen voltooien.

Hartelijk dank allemaal.

<b>INHOUDSTAFEL</b>		Blz.
	<b>INLEIDING</b>	4
<b>1</b>	<b>Achtergrond omtrent craniofaciale reconstructie</b>	6
1.1	Wanneer en waarom een craniofaciale reconstructie uitvoeren?	6
1.2	Wettelijke bepalingen	6
1.3	Identificatie	7
<b>2</b>	<b>Forensische craniofaciale reconstructie</b>	8
2.1	Wat is forensische craniofaciale reconstructie?	8
2.2	Toepassingen van craniofaciale reconstructie	9
2.3	Schoonmaken van de schedel	11
2.4	Bepaling van het geslacht, het ras en de leeftijd	11
2.4.	<i>Bepaling van het geslacht</i>	12
1		
2.4.	<i>Bepaling van het ras</i>	14
2		
2.4.	<i>Bepaling van de leeftijd</i>	16
3		
2.5	Aandachtspunten bij het maken van een craniofaciale reconstructie	16
2.5.	<i>Huidskleur</i>	17
1		
2.5.	<i>Ogen</i>	17
2		
2.5.	<i>Wenkbrauwen</i>	17
3		
2.5.	<i>Mond</i>	17
4		
2.5.	<i>Neus</i>	18
5		
2.5.	<i>Oren</i>	18
6		
2.5.	<i>Haar</i>	18
7		
2.5.	<i>Accessoires</i>	18
8		

<b>3</b>	<b>Methoden voor het bepalen van de weke weefseldiktes</b>	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Diktebepaling door middel van naalden	21
3.3	Diktebepaling door middel van ultrasone golven (echografie)	21
3.4	Diktebepaling door middel van MRI (Magnetic Resonance Imaging)	22
3.5	Diktebepaling door middel van CT (Computer Tomography)	23
3.6	Besluit	24
<b>4</b>	<b>Methoden om een craniofaciale reconstructie te maken</b>	25
4.1	Reconstructie met behulp van klei	25
4.2	Reconstructie door middel van overlay	28
4.3	Computergestuurde reconstructie	29
4.4	Vergelijkende studie	30
<b>5</b>	<b>Experimenteel project:</b>	32
	<b>Het combineren van CT-data met holografiedata</b>	
5.1	Het project	32
5.2	CT (Computer Tomography)	33
5.2.	<i>Het bekomen van schedeldata</i>	33
1		
5.2.	<i>3D-reconstructie</i>	34
2		
5.2.	<i>Het gebruikte CT-scanprotocol binnen het experimenteel project</i>	35
3		
5.3	Holografie	36
5.3.	<i>Principe van de holografie</i>	36
1		
5.3.	<i>De mobiele holografische camera</i>	39
2		
5.3.	<i>Oogveilige opnames</i>	40
3		
5.3.	<i>Liggende opname</i>	42
4		

5.3.	<i>Hologram processing</i>	42
5		
5.3.	<i>Het uitlezen van de hologram</i>	43
6		
5.3.	<i>Digitale opname van de beeldprojecties</i>	44
7		
5.3.	<i>Shape-from-focus</i>	47
8		
5.4	Het samenvoegen van beide data: Rapid Form	50
5.5	Besluit	53
	<b>ALGEMEEN BESLUIT</b>	54
	<b>FIGURENLIJST</b>	55
	<b>REFERENTIELIJST</b>	58

## INLEIDING

Het forensisch onderzoek interesseert me uitermate en daarom was het een uitdaging om voor mijn eindscriptie op zoek te gaan naar een link met de medische beeldvorming.

Tijdens een gesprek met Prof. Dr. Wim Van de Voorde, docent binnen de postacademische vorming multidisciplinair forensisch onderzoek aan de K.U.Leuven, kwamen enkele ideeën naar voren, waaronder de craniofaciale reconstructie. Craniofaciale reconstructie is de methode die op basis van de schedel het gezicht van een individu reconstrueert.

Mijn externe promotor uit UZ Gent, Prof. Dr. Eric Achten, bracht mij in contact met Frank Prieels, die mij de mogelijkheid bood om, via een samenwerking met het CAESAR-Instituut (Center of Advanced European Studies And Research) te Bonn, mee te werken aan een nieuwe techniek voor craniofaciale reconstructie door CT-data te combineren met holografiedata. De reden hiervoor is dat de reeds bestaande reconstructietechnieken niet helemaal betrouwbaar zijn. Zowel de holografie- als de CT-data werden te UZ Gent verkregen en verder verwerkt in het CAESAR-Instituut. Holografie is een beeldvormende techniek die zich baseert op laserstralen en fotosensitief materiaal, zijnde de hologramplaat. In het gedeelte Praktijk, hoofdstuk 5, wordt deze nieuwe combinatie techniek uitgewerkt.

Het gedeelte Theorie, van hoofdstuk 1 tot en met 4, omvat de reeds gebruikte reconstructiemethoden. In hoofdstuk 1 wordt de algemene achtergrond van de craniofaciale reconstructie beschreven en in hoofdstuk 2 wordt de craniofaciale reconstructie zelf uitgediept. Het derde hoofdstuk handelt over het verband tussen het weke weefsel op het aangezicht met de onderliggende botstructuren en het vierde hoofdstuk tenslotte, over de verschillende methoden om tot een craniofaciale reconstructie te komen.

# THEORIE

# 1 ACHTERGROND OMTRENT CRANIOFACIALE RECONSTRUCTIE

## 1.1 Wanneer en waarom een craniofaciale reconstructie uitvoeren?

Als een lichaam gevonden wordt dat zich in een zodanig verre staat van ontbinding bevindt, waardoor het niet meer mogelijk is om tot een identificatie te komen via bvb vingerafdrukken, kan er worden overgaan tot craniofaciale reconstructie. Dit is de techniek om op basis van een schedel het gezicht van het individu te reconstrueren en heeft tot doel een idee te krijgen van hoe een persoon er vóór zijn dood uitzag, om zo een beeld te kunnen verspreiden in de hoop dat iemand het slachtoffer herkent, waardoor toch een identificatie kan gebeuren.

Craniofaciale reconstructie wordt bereikt door de spieren en het zachte weefsel van het gezicht te reconstrueren op de schedel. Het wordt toegepast wanneer de conventionele identificatietechnieken, zoals identiteitspapieren, vingerafdrukken, DNA, tandgegevens e.d., geen soelaas hebben gebracht. Voor deze technieken zijn er immers ante-mortem-gegevens noodzakelijk: de vingerafdrukken of het DNA moeten namelijk met eerder bekomen informatie, hetzij van het individu, hetzij van zijn familie vergeleken kunnen worden.

Binnen deze eindproef baseer ik mij enkel op de craniofaciale reconstructiemethoden waarbij de onderzoekers geen ante-mortemgegevens voorhanden hebben.

Een identificatie is noodzakelijk voor verschillende redenen:

- psychologische: nabestaanden weten graag wat er met hun familielid is gebeurd, dit is essentieel voor het rouwproces. Ze verkiezen de (harde) waarheid boven de onwetendheid (Vandenavenne, 2001).
- administratieve: de ambtenaar van de burgerlijke stand moet bij een overlijden van een persoon, een overlijdensakte opstellen (Van de Voorde, 2003).
- juridische: officiële erkenning van de dood (Van de Voorde, 2003).

## 1.2 Wettelijke bepalingen

Bij een gewelddadige dood moet een officier van de gerechtelijke politie, bijgestaan door een dokter, een proces-verbaal opmaken van de staat van het lijk, de omstandigheden van de dood en van de inlichtingen die hij heeft kunnen inwinnen omtrent de (in één woord samengevat) identiteit. Deze inlichtingen moet hij via de gerechtelijke autoriteit overmaken aan de ambtenaar van de burgerlijke stand zodat een overlijdensakte kan worden opgesteld.

Een officiële erkenning van de dood is onontbeerlijk om de juridisch-sociale gevolgen te kunnen regelen. Denken we maar aan erfenis, pensioen, nieuw huwelijk, e.d. Indien er geen officiële vaststelling van de dood is, kan de vermiste, vermoedelijk overleden, persoon overeenkomstig art. 112 tot en met art. 143 van het Burgerlijk Wetboek pas ten vroegste na vijf jaar als 'afwezig' worden beschouwd. Indien een vermiste vóór zijn/haar verdwijning een volmacht heeft opgesteld kan de gevolmachtigde na tien jaar de erfenisrechten aanvragen. Indien er geen volmacht werd verstrekt door de vermiste kan dit pas na dertig jaar.

Vanuit zuiver humanitair standpunt is een identificatie even belangrijk. Pas na identificatie kan de overledene worden teruggegeven aan zijn familie zodat het rouwproces een aanvang kan nemen, wat op psychisch gebied makkelijker te dragen is dan een blijvende onzekerheid omtrent het lot van een geliefde.

### **1.3 Identificatie**

De identificatie van dodelijke slachtoffers wordt toegewezen aan het Disaster Victim Identification Team (DVI) van de federale politie; dit team behoort tot de Discipline 3. Deze discipline zal gegevens van het slachtoffer in een standaardprotocol vastleggen en overdragen aan de arts-deskundige. De arts zal, afgaande op de identificatiegegevens van Discipline 3, het attest van overlijden opstellen en afleveren aan de ambtenaar van de burgerlijke stand die op deze basis een inschrijven van overlijden in het bevolkingsregister zal doen.

De realisatie van eenduidige ante-mortem en postmortem formulieren werd in 1980 verwezenlijkt door het Permanent Comité voor Disaster Victim Identification binnen Interpol en worden internationaal gebruikt ter identificatie. Op de internetsite van interpol ([www.interpol.com](http://www.interpol.com)) bestaat de mogelijkheid om de negentien pagina's omvangrijke formulieren te downloaden.

Uiteindelijk zal de arts-deskundige de finale verantwoordelijkheid dragen voor de juiste identificatie van een overleden slachtoffer.



De identificatie kan gebeuren op basis van vier verschillende gegevensgroepen:

- politie gegevens: deze omvatten een gedetailleerde omschrijving van de kledij, de juwelen en alle andere voorwerpen die op een lichaam(sdeel) worden aangetroffen en de eventueel op het lichaam aanwezige tatoeages en piercings.
- medicolegale gegevens: deze gegevens worden verzameld door de wetsgeneesheer (eventueel bijgestaan door een forensisch antropoloog<sup>1</sup>) en kunnen zowel intern als extern vastgesteld worden (protheses, littekens van operatieve ingrepen, hartstoeornissen, enz.) als door het maken van röntgenbeelden.
- tandheelkundige gegevens: de volledige gebitsbeschrijving van een slachtoffer, protheses en röntgenopnames van het gebit die ook een vergelijking mogelijk kunnen maken van de wortelkanalen, en dergelijke. Ook een vergelijking door superpositie van een postmortem-foto met een ante-mortem-foto waarop het gebit zichtbaar is, kunnen indicaties geven.
- DNA-analyse: dit is een vergelijking van het DNA van het slachtoffer met het DNA-profiel van zijn ascendanten, broers en/of zussen.

## 1 FORENSISCHE CRANIOFACIALE RECONSTRUCTIE

### 2.1 Wat is forensische craniofaciale reconstructie?

Onder forensische craniofaciale reconstructie verstaat men de techniek om alle weke weefsels van het gezicht op de onbekende schedel terug op te bouwen en zich hierbij baserend op de postmortemgegevens die men van het slachtoffer te beschikking heeft. Er wordt getracht het originele gezicht van de overledene van voor zijn dood te bekomen.



Figuur 1: Craniofaciale reconstructie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Beoefenaar van de natuurkennis van de mens

<sup>2</sup> Vermeulen. Manuele forensische aangezichtsreconstructie. Belgisch tijdschrift voor tandheelkunde, nr. 60/3, 2005, blz. 227 – 236.

De techniek om tot craniofaciale reconstructie te komen met behulp van superpositie, waarbij de foto van de schedel wordt vergeleken met de foto van het (vermoedelijke) individu, wordt hier niet verder besproken, omdat hiervoor reeds ante- en postmortemgegevens aanwezig zijn.

De wortels van craniofaciale reconstructie gaan terug tot in de late 19<sup>de</sup> eeuw in Europa. Het principe van de craniofaciale reconstructie is gebaseerd op het feit dat de schedel helemaal de vorm van het gezicht bepaalt, en op de relatie tussen de weke weefsels van het hoofd en de onderlinge botstructuren. Er zijn verscheidene studies gedaan naar de relatie van het bot en de dikte van de weke weefsels ten opzichte van de leeftijd, het ras en het geslacht. Deze bekomen resultaten werden vervolgens gemiddeld en in tabellen weergegeven, zodat er tijdens de reconstructie kan worden achterhaald hoe dik de weke weefsels op de schedel gemiddeld zijn; en dit voor een welbepaald ras, leeftijdscategorie en geslacht. In hoofdstuk 3 wordt hier verder op ingegaan.

## **2.2 Toepassingen van craniofaciale reconstructie**

Indien een vergelijking tussen ante- en postmortemgegevens niet mogelijk is, kan er gebruik gemaakt worden van 'forensic facial imaging'- technieken. Als het gelaat nog enigszins herkenbaar is kan een geoefend tekenaar, nadat een thanatopracticus<sup>3</sup> het gelaat zoveel mogelijk heeft gerestaureerd, een portret maken. Als het ontbindingsproces al te ver gevorderd is wordt al het zachte weefselmateriaal van de schedel ontdaan, en wordt er verder gewerkt met de schedel. Om tot deze fase over te gaan, is de toestemming van de onderzoeksrechter noodzakelijk.

Craniofaciale reconstructie is een onderdeel van de forensische kunst, dat in de eerste plaats het geven van visuele informatie is.

De forensische kunst heeft vier onderverdelingen:

- het maken van compositietekeningen
- het aanpassen van beelden bij bijvoorbeeld jarenlang vermiste personen (leeftijdsveranderingen)
- visuele informatieverstrekking om de bewijsvoering tijdens een proces te ondersteunen
- reconstructie en postmortem identificatiemethoden

---

<sup>3</sup> Kundige in de wetenschap van de dood

Het kan gebeuren dat de schedel bij de vondst niet meer heel is; toch kan hierop nog een craniofaciale reconstructie gebeuren. Indien slechts één kant van de schedel beschadigd is kan men d.m.v. spiegeling van de intacte kant, de beschadigde bijwerken. Het is wel zo dat er bij dit 'herstellen van de schedel' er van wordt uitgegaan dat het individu een 'normaal' geproportioneerd gezicht had.

De gesculpteerde gelaatsreconstructie, waarbij klei, plasticine of was op de schedel wordt geboetseerd, is nog steeds de meest gebruikte methode voor gelaatsreconstructies.

In België maakt men voornamelijk gebruik van de kleireconstructie en, als het om een opsporingsbericht gaat, van de tekentechniek. Ik ben hieromtrent naar Ben Claes en Peter Clauwaert geweest op 24 januari 2006 te Brussel: zij voeren in België craniofaciale reconstructies uit op vraag van de onderzoeksrechter, en bevestigen de voorkeur voor conventionele reconstructietechnieken (zijnde de kleireconstructie en de tekentechniek).



Figuur 2: Ben Claes<sup>4</sup>



Figuur 3: Peter Clauwaert<sup>5</sup>

Van het bekomen kleimodel worden foto's gemaakt, die eventueel verspreid kunnen worden onder het publiek. De politie maakt gebruik van deze foto's omdat mensen makkelijker iemand herkennen op een foto dan in een 3D-replica (of een schedel). Als iemand de persoon herkent kunnen er bijkomende ante-mortem gegevens worden verzameld, die eventueel kunnen worden vergeleken en tot een identificatie kunnen leiden. Een gelaatsreconstructie alleen kan niet voor definitieve identificaties gebruikt worden.

Nadat een slachtoffer wordt geïdentificeerd, en in overleg met de bevoegde gerechtelijke en/of bestuurlijke overheid, zal de familie hiervan op de hoogte worden

<sup>4</sup> Vandersmissen. Een gezicht geven aan een schedel – Forensische gelaatsreconstructie bij de technische en wetenschappelijke politie. De standaard, 17 mei 2002.

<sup>5</sup> Vandersmissen. Een gezicht geven aan een schedel – Forensische gelaatsreconstructie bij de technische en wetenschappelijke politie. De standaard, 17 mei 2002.

gebracht. Indien de nabestaanden dit wensen kan het lichaam aan hen worden getoond. Nu kunnen ook de voorwerpen, gevonden op het lichaam van de overledene, aan de familie worden teruggegeven. Hiervan wordt een proces-verbaal opgesteld.

### **2.3 Schoonmaken van de schedel**

Voor de reconstructietechnieken waarbij er op de schedel gewerkt wordt, moet er eerst, na goedkeuring door de onderzoeksrechter, het zachte weefsel van de schedel ontdaan worden. Hiervoor worden de lichamelijke resten door een begrafenisondernemer naar een gespecialiseerde firma gebracht om te worden gereinigd en/of om eventuele huid en weefsel van de schedel te ontdoen. Het reinigen kan gebeuren door de schedel te wassen met een koude sproeistraal, door ze af te koken in water met ontvetter op 90°C, door ze onder te dompelen in een bad met enzymen (waspoeder) gedurende ruime tijd of door ze af te schrapen, maar de voorkeur gaat uit naar het gebruik van kadavervreters (kevers). Dit gebeurt in het Schedelhof te Morkhoven. Het Schedelhof is een privé-museum dat opgericht is in 1980 en een 700-tal schedels van zoogdieren, vogels en reptielen bezit.

De kevers maken de schedel in twee dagen schoon zonder het te beschadigen. Bovendien is er geen sprake van contaminatie waardoor DNA-profilering nog altijd toegepast kan worden. Nadien zal de schedel nog verder worden opgekuist zodat ze gedesinfecteerd en zuiver wit ter beschikking kan worden gesteld van de onderzoekers. Het proces van het schoonmaken van de schedel neemt gemiddeld vijf dagen in beslag.

### **2.4 Bepaling van het geslacht, het ras en de leeftijd**

Vooraleer tot een gelaatsreconstructie over te gaan, moet er eerst een case-study opgemaakt worden. Dit gebeurt onder meer op grond van de gegevens in het dossier, van de wetsgeneesheer, de antropoloog, het DVI en het labo.

Er dient een onderscheid te worden gemaakt in ras, leeftijd en geslacht, vermits deze gegevens een grote rol spelen in de vorming van de schedel. Het bepalen van de antropologische gegevens wordt bij voorkeur uitgevoerd door een patholoog<sup>6</sup>, antropoloog en odontoloog<sup>7</sup>.

Belangrijk om weten is dat geen enkele schedel gelijk is en bijgevolg helemaal de vorm van het gezicht bepaalt. Aan de schedel kun je bvb perfect zien of iemand

---

<sup>6</sup> Geleerde in de ziekteleer

<sup>7</sup> Geleerde in de tandheelkunde

'hangwangen' heeft, een 'haakneus', enzovoort. Een schedel is uniek, er is maar 1 kans op meer dan 500 miljoen dat de schedel van twee personen dezelfde vorm heeft.

#### 2.4.1 Bepaling van het geslacht

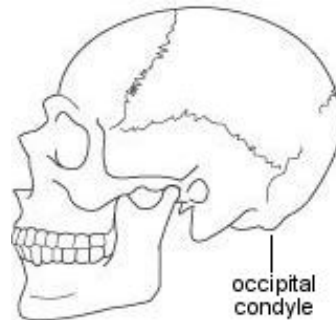
De grootte van de schedel verschilt tussen man en vrouw; dit verschil in volume bedraagt gemiddeld 200cc. Hieronder volgt een tabel die de verschillen tussen een mannelijke en een vrouwelijke schedel verduidelijkt, wat de algemene kenmerken betreft. Het ras en de leeftijd van het individu mogen echter niet uit het oog verloren worden; zie ter illustratie de figuren op blz. 13.

<b>Man</b>	<b>Vrouw</b>
zwaardere en ruwere schedel	lichtere en gladdere schedel
rechthoekigere orbitae	rondere orbitae
supraorbitale kam is meer geprononceerd	supraorbitale kam is platter
kaakbeenderen zijn zwaarder en lateraal gewelfd	kaakbeenderen zijn lichter, smaller en minder lateraal gewelfd
condylus occipitalis is meer geprononceerd	condylus occipitalis is minder sterk aanwezig tot helemaal afwezig
de kin heeft eerder een U-vorm	de kin heeft eerder een V-vorm
de plaats waar de ramus ascendens in de ramus descendens van de mandibula overgaat is hoekiger	de plaats waar de ramus ascendens in de ramus descendens van de mandibula overgaat is rond

Voorbeeld:<sup>8</sup>



Figuur 4: Schets mannelijke schedel (vooraanzicht)



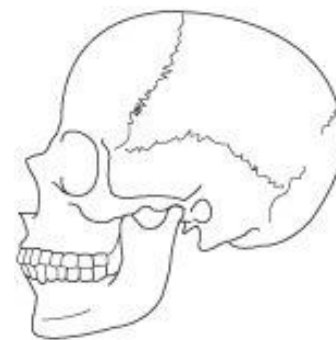
Figuur 5: Schets mannelijke schedel (profiel)



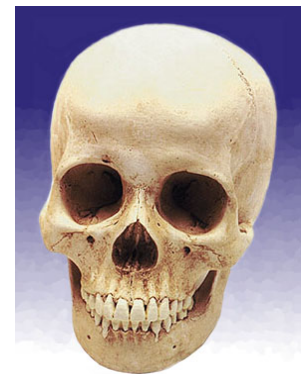
Figuur 6: Mannelijke schedel



Figuur 7: Schets vrouwelijke schedel (vooraanzicht)



Figuur 8: Schets vrouwelijke schedel (profiel)



Figuur 9: Vrouwelijke schedel

Geslachtsbepaling wordt bij kinderen volgens de onderkaak (en het os ileum van het bekken) gedaan vermits dit gebonden is aan groei en hormonen. Het is in principe beter om bij kinderen het geslacht te bepalen via mitochondriaal DNA<sup>9</sup> omdat dit preciezer is; het nadeel is wel dat er kans bestaat op contaminatie.

<sup>8</sup> Schetsen: Powell. Carolina Biological Cy, ([http://www.carolina.com/calendar\\_activities/2001/0108\\_skull.asp](http://www.carolina.com/calendar_activities/2001/0108_skull.asp))  
Mannelijke schedel: Murray ([http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human\\_male\\_skull.html](http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human_male_skull.html))  
Vrouwelijke schedel: Murray ([http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human\\_female\\_skull.html](http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human_female_skull.html))

<sup>9</sup> DNA in de mitochondriën van de cel

#### 2.4.2 Bepaling van het ras

De oogkassen, de neusopeningen, het gebit en de vorm van de kaken geven aan of het over een Afrikaans, Aziatisch of Kaukasisch type gaat. Onderstaande tabel geeft de grootste rasverschillen weer bij schedels, en de figuren op blz. 15 illustreren deze verschillen.

<b>Afrikaans (negroïd)</b>	<b>Aziatisch (mongoloïd)</b>	<b>Europees (caucasoid)</b>
aanwezigheid van nasale goot	vlak aangezicht	nasale rand bevindt zich op de neusbodem
prognathie <sup>10</sup>	schelpvormige snijtanden	zeer discrete of geen prognathie
ronder voorhoofd	randbeet	lang, smal gezicht
wijde neusopening	glazuur extensies	smalle, hoge neusrug
dichte botstructuur		nauwe nasale opening

---

<sup>10</sup> Gelaatsvorm waarbij de kaken vóór het frontvlak van het voorhoofd liggen

Voorbeeld<sup>11</sup>:



Figuur 10: Afrikaanse mannelijke schedel



Figuur 11: Aziatische mannelijke schedel



Figuur 12: Europese mannelijke schedel



Figuur 13: Afrikaanse vrouwelijke schedel



Figuur 14: Aziatische vrouwelijke schedel



Figuur 15: Europese vrouwelijke schedel

Het computerprogramma FORDISC 2.0 kan eveneens bepalen wat de meest waarschijnlijke etnische groep is waartoe de schedel behoort. Het kan bovendien achterhalen vanuit welk jaar de schedel afkomstig is. Dit programma werd ontwikkeld door Dr. Ousley en Dr. Jantz op de University of Tennessee. Het bevat een database van 1400 studies na het jaar 1900 uit de University of Tennessee Forensic Data Bank. Er worden 21 meetgegevens op de schedel in het programma ingegeven, en vervolgens berekent het programma het meest waarschijnlijke ras en de meest waarschijnlijke leeftijd van de schedel. Tijdens een recente studie in maart 2002 werd er voor 81% op deze manier een correcte identificatie bekomen.

<sup>11</sup> Bone clones Osteological Reproductions California. internet ([www.boneclones.com/catalog\\_forensics.htm](http://www.boneclones.com/catalog_forensics.htm))



### *2.4.3 Bepaling van de leeftijd*

Voor de leeftijdsbepaling moet er rekening worden gehouden met de etnische afkomst, de voeding en de gezondheidstoestand van het individu.

De schedel is bij de geboorte zachter en het bovenste gedeelte van de schedel van een baby bestaat uit kraakbeen in plaats van bot. Het heeft bovendien nog een kleine opening (fontanel), die dichtgroeit bij het ouder worden.

Een schedel bestaat uit botplaten die met de leeftijd vergroeien. Bij zo een vergroeiing ontstaan er schedelnaden. Dit is een grillige lijn op de schedel tussen de verschillende schedelbotplaten. Schedelnaden verbinden dus de botstukken van de schedel door middel van bindweefsel. De laatste schedelnaad kan zich vanaf acht jaar sluiten.

Een mens is biologisch volwassen tussen 25 en 30 jaar. Leeftijdsbepaling is nauwkeuriger te bepalen bij de pijpbeenderen zoals de humerus (opperarm) en de femur (dijbeen). Bij meisjes gebeurt de sluiting van de groeikraakbeenschijven sneller dan bij jongens.

Ook slijtage van gewrichten, algemene degeneratie en het optreden van bepaalde ziekten worden gebruikt in de leeftijdsbepaling.

Als er is bepaald tot welk ras, welke leeftijdscategorie en welk geslacht de schedel behoort, kan er worden begonnen aan de craniofaciale reconstructie.

## **2.5 Aandachtspunten bij het maken van een craniofaciale reconstructie**

Bij iedere craniofaciale reconstructie vormen weke weefselstructuren een moeilijkheid. Details zoals de neus, de mond, de ogen en de oren zijn niet van de schedel af te leiden, waardoor deze toch enigszins tot de vrije interpretatie behoren. De uitvoerder van de reconstructie kan zich wel baseren op de technieken die in de plastische heelkunde gebruikt worden, maar deze bevatten geen specifieke regels; enkel benaderende richtlijnen.

Het proces begint en eindigt met de verzameling van beschikbare informatie over de individualiteit van de persoon, zoals kledingmaat, kledingstijl, accessoires, juwelen, enzovoort. Factoren die betrekking hebben tot subtiele veranderingen van de gezichtskenmerken, zoals overgewicht of haarkleur en haarlengte kunnen eveneens een beter beeld scheppen van het individu, wat een eventuele herkenning van de persoon in de craniofaciale reconstructie ten goede komt.

### 2.5.1 *Huidskleur*

Er wordt meestal gebruikgemaakt van een grijze klei omdat deze neutraal is. Een gelaatskleurige klei kan al gauw tot een verkeerd beeld leiden. De huidskleur kan bovendien wijzigen onder invloed van weersomstandigheden. Wanneer er zekerheid bestaat omtrent de huidskleur, kan een gelaatskleurige klei gebruikt worden.

### 2.5.2 *Ogen*

De menselijke oogbol is ongeveer 25mm in diameter en ligt in het midden van de oogkas. Bij een kleireconstructie moet een voorkeur worden gegeven aan plastieken kunstogen. Deze geven een realistische benadering van de werkelijkheid en de oogleden zijn er makkelijk rond te sculpteren. De menselijke iris is ongeveer 12mm in diameter en de plastieken kunstogen hebben een overeenkomstige irisgrootte.

De keuze van de kleur van de ogen moet gebaseerd zijn op voorhanden zijnde informatie, maar houdt toch enig giswerk in.

Bij de afwerking van de ogen moet er niet alleen rekening worden gehouden met het ras, maar ook met de leeftijd van het individu. De ogen van een jongere persoon moeten lichtjes naar voren gebracht worden, terwijl oudere personen dieperliggende ogen hebben. Jongere ogen zien er ook meer open en alert uit, terwijl oudere ogen meestal een doorhangend bovenste ooglid hebben.

### 2.5.3 *Wenkbrauwen*

Dit is zeer moeilijk in te schatten. Zowel mannen als vrouwen kunnen hun wenkbrauwen epilieren. Het haar van een individu kan wel een aanwijzing zijn. Indien donker, golvend haar teruggevonden wordt bij het lichaam, kan er een donkere volle wenkbrauw worden aangebracht. Indien dun blond haar wordt teruggevonden zal er eerder voor lichte wenkbrauwen geopteerd worden. Mannen hebben over het algemeen zwaardere wenkbrauwen dan vrouwen. De vrouwelijke wenkbrauwen zijn over het algemeen ook meer gebogen dan mannelijke en ook iets hoger geplaatst.

### 2.5.4 *Mond*

Leeftijd en ras hebben een invloed op de vorm. Jeugdige mensen hebben meer volle of ronde lippen dan ouderen en het ene ras heeft al vollere lippen dan het andere. Wanneer de originele tanden worden teruggevonden of wanneer een bepaald aspect van de voortanden speciaal is, kan het aangewezen zijn om de mond gedeeltelijk of volledig te openen om de herkenbaarheid te vergroten, bvb

wanneer de persoon een spleetje heeft tussen de frontale tanden. Het kan de sleutel zijn bij de herkenning van de persoon.

#### 2.5.5 *Neus*

Om de breedte van de neus te kennen is de simpele formule van Dr. Wilton Krogman voorhanden. De neusopening wordt op zijn breedste punt gemeten en vervolgens wordt er voor caucasoïde types 10mm toegevoegd om de totale breedte van de neus te kennen, dit wil zeggen 5mm aan elke kant. Bij negroïde personen wordt er 16mm toegevoegd. Voor de mongoloïde types wordt een gemiddelde genomen, zijnde 13mm. De neusholte en de 'neusstreek', dat is een miniem beentje onderaan de neusholte, bepalen de vorm van ons reukorgaan. Een lichte curvatuur van het neusbeen betekent hoogstwaarschijnlijk een 'haakneus', zeker als de neus smal van vorm is en de tip kort.

#### 2.5.6 *Oren*

Ruw gezien hebben de oren dezelfde lengte als de neus. Dit is een uitgangspunt voor de artiest-onderzoekers. Welke gedetailleerde vorm de oren hebben kan niet worden opgemaakt uit de vorm van de schedel. De oren van elke persoon zijn uniek en bestaan uit zacht weefsel en kraakbeen.

#### 2.5.7 *Haar*

Als er bij het lichaam haar wordt teruggevonden hebben de onderzoekers een idee van het kapsel: kort of lang, krullend of steil, de kleur van het haar, enz. Bij een lichaam in staat van ontbinding is de kans groot dat er nog haar aanwezig is. Een identificatie doen, op basis van een reconstructie zonder haarkapsel, is zeer moeilijk. Een gezicht wordt in grote mate gekenmerkt door het kapsel. De reconstructeurs kunnen het haar modelleren met klei, maar kunnen ook pruiken gebruiken. Meestal worden er verscheidene foto's van de reconstructie genomen met telkens een ander haarcoupe.

#### 2.5.8 *Accessoires*

Hoeden, brillen, juwelen of andere voorwerpen kunnen een grote bijdrage leveren aan de individualisering van het te reconstrueren aangezicht, en ze kunnen een element zijn dat bijdraagt tot de herkenning en dus de identificatie van de persoon.

## **2 METHODEN VOOR HET BEPALEN VAN DE WEKE WEEFSELDIKTES**

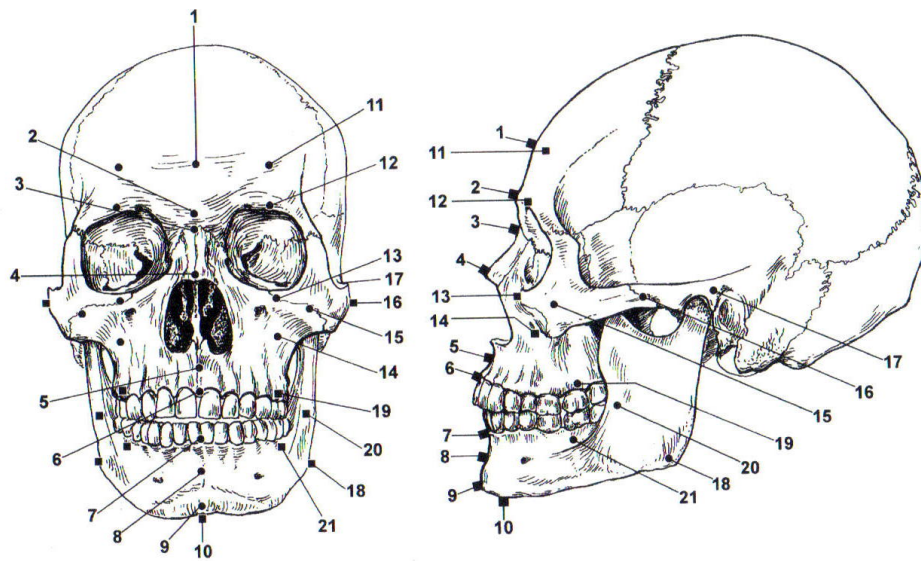
### **3.1 Inleiding**

Doorheen de jaren werden er verschillende methoden ontwikkeld waarmee de afstandslengte tussen het zachte weefsel op het aangezicht en het schedelbot, nl. de weke weefseldikte, gemeten kon worden. Het is hierbij van groot belang de meetresultaten onder te verdelen volgens leeftijd, ras en geslacht. De weke weefseldiktes van een zwarte zeventigjarige man kunnen immers sterk verschillen van deze van een blanke twintigjarige vrouw.

Het aantal meetpunten en de meetmethode zijn echter ook cruciaal. Hoe meer meetpunten er voorhanden zijn, hoe meer referentiewaarden er beschikbaar zijn voor de reconstructie en hoe nauwkeuriger de reconstructie kan worden uitgevoerd. Tijdens de meting moet er bovendien op worden toegezien dat de afstand tussen het bot en het weefsel loodrecht wordt bepaald. Zoniet krijgt men een hoekmeting en wordt de afstand langer.

Bij het meten mag er geen druk uitgeoefend worden op de weke weefsels en is een degelijke anatomische kennis vereist.

De meest bekende weke weefseldiktes zijn deze van Rhine en Moore. Zij maten op 32 plaatsen in het aangezicht de weke weefseldiktes door naalden met hierover een verschuifbare rubberen stop in het weefsel te steken bij kadavers. Door de rubberen stop tegen de huid aan te schuiven kon er worden bepaald hoe diep de naald in het weefsel doorgedrongen was. Ze verdeelden de bekomen resultaten onder volgens lichaamsgewicht, ras en geslacht. Vervolgens werden deze resultaten gemiddeld en in tabelvorm beschikbaar gesteld.



Facial Tissue Thickness of American Whites\* (in millimetres)

Figuur 16: Meetplaatsen ter bepaling van de weke weefseldiktes (volgens Rhine en Moore)<sup>12</sup>

Nr.	Midline point	Emaciated		Normal		Obese	
		male	female	male	female	male	female
1.	Superglabella	2.25	2.50	4.25	3.50	5.50	4.25
2.	Glabella	2.50	4.00	5.25	4.75	7.50	7.50
3.	Nasion	4.25	5.25	6.50	5.50	7.50	7.00
4.	End of nasals	2.50	2.25	3.00	2.75	3.50	4.25
5.	Midphiltrum	6.25	5.00	10.00	8.50	11.00	9.00
6.	Upper lip margin	9.75	6.25	9.75	9.00	11.00	11.00
7.	Lower lip margin	9.50	8.50	11.00	10.00	12.75	12.25
8.	Chin-lip fold	8.75	9.25	10.75	9.50	12.25	13.75
9.	Mental eminence	7.00	8.50	11.25	10.00	14.00	14.25
10.	Beneath chin	4.50	3.75	7.25	5.75	10.75	9.00
	<b>Bilateral points</b>	<b>male</b>	<b>female</b>	<b>male</b>	<b>female</b>	<b>male</b>	<b>female</b>
11.	Frontal eminence	3.00	2.75	4.25	3.50	5.50	5.00
12.	Supraorbital	6.25	5.25	8.25	7.00	10.25	10.25
13.	Suborbital	2.75	4.00	5.75	6.00	8.25	8.25
14.	Inferior malar	8.50	7.00	13.25	12.75	15.25	14.00
15.	Lateral orbit	5.00	6.00	10.00	10.75	13.75	14.75
16.	Zygomatic arch (midway)	3.00	3.50	7.25	7.50	11.75	13.00
17.	Supraglenoid	4.25	4.25	8.50	8.00	11.25	10.50
18.	Gonion	4.50	5.00	11.50	12.00	17.50	17.50
19.	Supra M2	12.00	12.00	19.50	19.25	25.00	23.75
20.	Occlusal line	12.00	11.00	18.25	17.00	23.50	20.25
21.	Sub M2	10.00	9.50	16.00	15.50	19.75	18.75

Figuur 17: Tabel van gemiddelde weke weefseldiktes in millimeters voor caucasoiden types (volgens Rhine en Moore)<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Rhine en Moore. Reproduction Tables of facial tissue thickness of American caucasoids. Forensic Anthropology: Maxwell Museum Technical Series 1, Albuquerque, 1984.

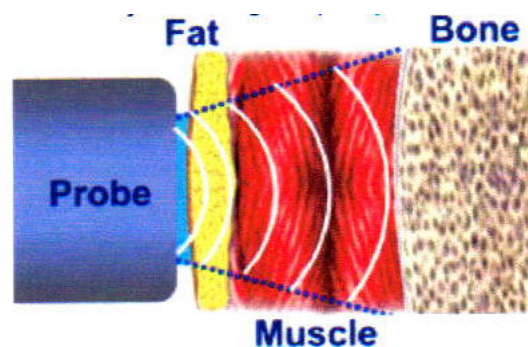
<sup>13</sup> Rhine en Moore. Reproduction Tables of facial tissue thickness of American caucasoids. Forensic Anthropology: Maxwell Museum Technical Series 1, Albuquerque, 1984.

### 3.2 Diktebepaling door middel van naalden

Een eerste methode voor het bepalen van de weke weefseldiktes ten opzichte van het bot, was door gebruik te maken van een scherpe naald waarmee de weke weefsels gepenetreerd werden ter hoogte van bepaalde anatomische referentiepunten op de schedel. Afhankelijk van hoe diep de naald doordrong, werd de dikte bepaald. Deze techniek werd in 1895 het eerst toegepast door His. Later werd zij door anderen verfijnd: ze maakten gebruik van een naald met hierover een rubberen dop. De naald werd door de weke weefsels geduwd tot er botcontact kwam. De rubberen stop werd dan tot aan de huidrand geschoven, en zo kon de weke weefseldikte bepaald worden.

Deze methode bleek al gauw geen ideaal middel te zijn omdat er door de druk op de huid een deformatie ontstond waardoor metingen niet exact waren. Bovendien gebeurden deze metingen op lijken, wat niet meteen overeenkomt met de waarden voor levende personen.

### 3.3 Diktebepaling door middel van ultrasone golven (echografie)



Figuur 18: Echografie<sup>14</sup>

Bij het gebruik van echografie wordt een probe op de huid geplaatst, waardoor ultrasone golven uitgezonden worden. Het weefsel weerkaatst deze golven. De tijdspanne tussen het uitzenden en ontvangen van een ultrasone golf in combinatie met de frequentie en amplitude<sup>15</sup> van de golf, bepaalt de diepte van het weefsel en het soort weefsel. De verschillende soorten weefsels worden nadien ook in verschillende grijsnuances weergegeven in een echografiebeeld.

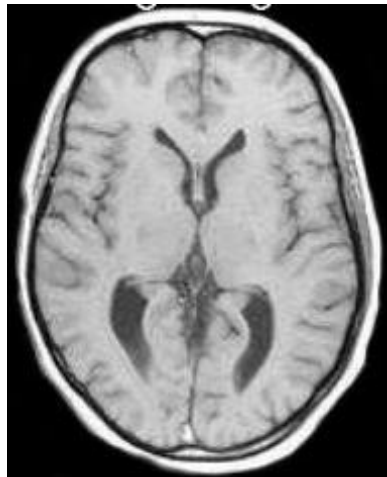
Deze techniek werd in 1984 voor het eerst toegepast door Helmer bij het meten van weke weefseldiktes. Het voordeel is dat deze meting op levende personen kan gebeuren. Een belangrijke factor bij deze techniek is de manier waarop het

<sup>14</sup> BodyMetrix (<http://www.intelamatrix.com/science.html>)

<sup>15</sup> Dit is het gegeven waarbij de golf één volledige beweging heeft ondergaan. Ofwel de afstand die een golf aflegt tussen één keer op- en ondergaan.

echoapparaat wordt gebruikt: het moet loodrecht op het botoppervlak gepositioneerd worden en er mag geen druk op het huidoppervlak uitgeoefend worden. Een uniforme gebruiksaanwijzing is er niet; de resultaten kunnen dan ook niet worden vergeleken.

### 3.4 Diktebepaling door middel van MRI (Magnetic Resonance Imaging)



Figuur 19: MRI-beeld (van de hersenen)<sup>16</sup>

MRI maakt gebruik van de magnetische eigenschappen van waterstofkernen in het menselijk lichaam. Waterstofkernen bestaan uit één proton welke voortdurend rond zijn eigen as tolt (dit wordt de protonspin genoemd). Door deze protonen in een magnetisch veld te plaatsen, gaan ze zich naar het magnetisch veld richten. Als er vervolgens een radiofrequent signaal naar de protonen wordt uitgezonden, veranderen ze van richting in het magnetisch veld. Bij stopzetting van dit radiofrequent signaal vallen de protonen terug naar hun oorspronkelijke richting. De snelheid van dit terugvallen is voor elk weefsel verschillend en kan worden gemeten door een soort van antenne binnen het MRI-toestel, vermits het proton door het terugvallen een bewegend elektrisch veld induceert. De verschillende weefsels worden eveneens in verschillende grijschakeringen afgebeeld in een MRI-beeld.

In 1986 werd MRI door Helmer voor het eerst gebruikt om weke weefseldikte te meten. Doch vormt MRI geen accurate methode omdat er druk op de weke weefsels wordt uitgeoefend: doordat de personen neerliggen wordt het weke weefsel op het aangezicht door de zwaartekracht naar beneden getrokken. De weke weefsels worden dan platter ten opzichte van de rechtopstaande houding; nota bene de houding zoals we naar mensen kijken.

### 3.5 Diktebepaling door middel van CT (Computer Tomography)

<sup>16</sup> Toegepaste Sociale Gerontologie Nijmegen. internet (<http://www.btsg.nl/infobulletin/dementie/mri-scanner.html>)



Figuur 20: CT-beeld (van de hersenen)<sup>17</sup>

Bij CT wordt het lichaam op de gewenste plaats rondom bestraald met röntgenstraling door een roterende röntgenbuis in de CT-scanner. De röntgenbuis zendt röntgenstraling uit dat door de weefsels wordt geabsorbeerd. De mate van absorptie is afhankelijk van het type weefsel. De hoeveelheid doorgelaten, dan wel geabsorbeerde, röntgenstraling zegt dus iets over het soort weefsel dat het op die plaats heeft bestraald. Veel doorgelaten röntgenstraling betekent een doorstraald weefsel dat niet veel straling absorbeert. De hoeveelheid doorgelaten röntgenstraling bepaalt de projectie van het weefsel in een CT-beeld. Deze projectie verloopt van wit over grijsnuances naar zwart.

De eerste weke weefselmetingen door middel van CT gebeurden in 1996 door Philips en Smuts. Net zoals bij MRI liggen de personen bij CT neer waardoor er druk op de weke weefsels wordt uitgeoefend, te wijten aan de zwaartekracht.

---

<sup>17</sup> Van Kasteren. (<http://www.delftintegraal.tudelft.nl/info/indexd53c.html?hoofdstuk=Artikel&ArtID=2717>)



### 3.6 Besluit

In feite bestaan er nog geen beschikbare correcte en uniforme gegevens over de weke weefseldiktes, omdat :

- tijdens de meting druk op de weefsels wordt uitgeoefend, hetzij door de zwaartekracht, hetzij door de meettechniek
- de gegevens gemiddeld zijn
- er een verschillend aantal meetpunten wordt gehanteerd en de tabellen volgens iedere methode anders opgesteld zijn

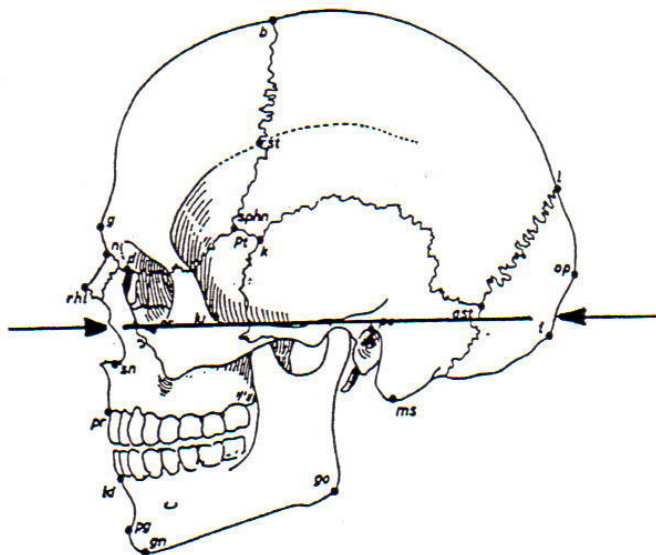
In dit kader bevindt zich het belang van het holografie- en Low Dose CT-onderzoek waaraan ik, samen met het UZ Gent en CAESAR Bonn, meewerk. Hierover vindt u in hoofdstuk 5 meer uitleg.

### 3 METHODEN OM EEN CRANIOFACIALE RECONSTRUCTIE TE MAKEN

#### 4.1 **Reconstructie met behulp van klei**

Deze 3D-kleireconstructietechniek vindt de meeste forensische toepassing. Er wordt hierbij rechtstreeks op de schedel gewerkt.

Allereerst moet er dus worden nagegaan tot welk geslacht, leeftijd en ras de schedel behoort. Vervolgens wordt de schedel in het Frankfurter Horizontaal vlak gepositioneerd: de ingebeelde lijn van de onderrand van de oogkassen en de buitenste gehoorgang staat horizontaal. Dit is de positie die de natuurlijke houding van het hoofd het sterkst benadert.



Figuur 21: Het Frankfurter Horizontaal vlak<sup>18</sup>

<sup>18</sup>

Van Hoever. Forensic Facial Imaging. Niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven – Postacademische Vorming Multidisciplinair forensisch onderzoek, 2002, 22 blz.

Nadien worden er staafjes op de schedel gekleefd, overeenkomstig de anatomische punten waarbij, in studies, de weke weefseldikte is bepaald. De staafjes of gommetjes worden aan de schedel bevestigd met bvb hobbylijm of rubbercement. Het voordeel van rubbercement is dat het de schedel niet beschadigt en het bij het weghalen geen sporen nalaat. De overeenkomstige waarden, afhankelijk van geslacht, leeftijd en ras, geven aan hoe lang die staafjes moeten zijn, bvb 15mm voor de bovenlip. De staafjes geven dus de buitenlijnen van het gezicht weer.



Figuur 22: Staafjes aangebracht op de schedel overeenkomstig de anatomische punten. De staafjes hebben verschillende lengtes (in overeenstemming met de gemiddelde waarden voor deze schedel)<sup>19</sup>

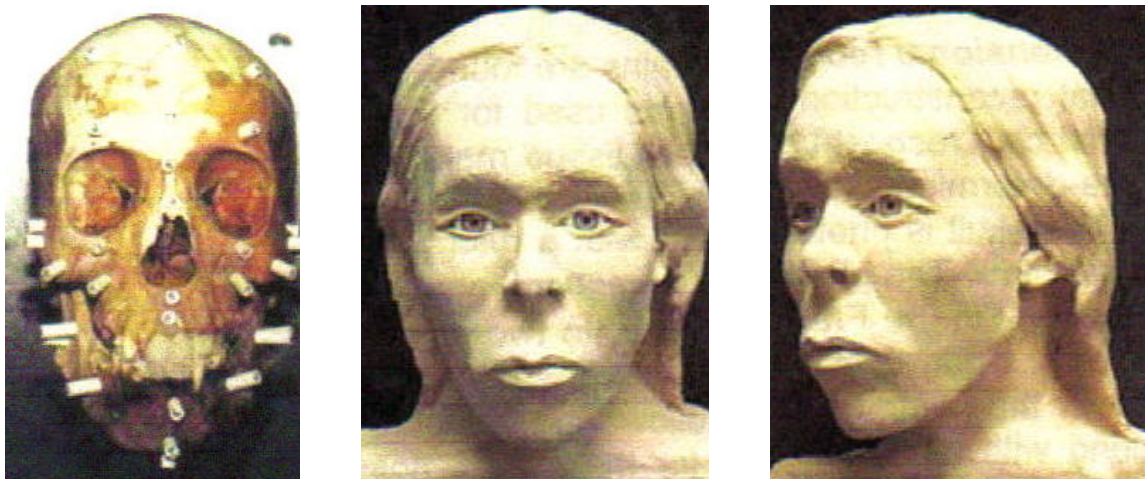
Vervolgens zijn er drie manieren om tot de craniofaciale reconstructie over te gaan:

- de morfometrische of Amerikaanse techniek: de klei wordt willekeurig tussen de weke weefselmarkeringen aangebracht. Deze techniek werd verfijnd door Snow en Gatliff midden 20<sup>ste</sup> eeuw in de Verenigde Staten. In Duitsland werden verschillende craniofaciale reconstructies ondernomen door Helmer die de Amerikaanse methode volgde, maar i.p.v. klei was gebruikte om de schedel op te bouwen.
- de anatomische, morfoscopische of Russische techniek: hier baseren de reconstructeurs zich op de aangezichtsspieren. Ze reconstrueren de spieren één voor één exact op de schedel, tot er nog enkel een 'huid' overheen moet geboetseerd worden. Deze methode werd ontwikkeld door Gerasimov rond 1971. De Russische methode is tijdrovender waardoor deze techniek over het algemeen eerder in de archeologische context wordt gebruikt dan binnen de forensische context.

<sup>19</sup> Torok. Putting Faces on History – Florence County Forensic Artist Reconstructs History, internet. (<http://www.forensicartist.com/facesfrompast.html>)

- de gecombineerde techniek: deze methode combineert de Russische en Amerikaanse techniek, en werd in Engeland ontwikkeld door Neave. Deze combinatie-techniek, waarbij zowel gebruik gemaakt wordt van de dieptemetingen als van de anatomische gegevens, werd verder ontwikkeld door Wilkinson in Manchester, en lijkt voor veel forensische kunstenaars de meest accurate.

Wanneer de reconstructie is uitgevoerd, komt het artistieke gedeelte ter sprake, namelijk het gezicht 'leven' geven.



Figuur 23: Resultaat van een craniofaciale reconstructie met behulp van klei<sup>20</sup>

Na de reconstructie en het nemen van de foto's wordt de klei weggenomen.

Voor- en nadelen van deze methode:

<b>Voordelen</b>	<b>Nadelen</b>
door de 3D kan elk vlak van het aangezicht gefotografeerd worden	goede kennis van de anatomie is noodzakelijk
er wordt op de schedel zelf gewerkt waardoor de morfologie gemakkelijker gevolgd kan worden	tijdrovend: een reconstructie neemt ongeveer 2 à 3 dagen in beslag
goedkoop	boetseervaardigheid vereist
attributen kunnen op de reconstructie worden aangebracht (kledij, juwelen, haarspelden, bril, kunstgebit, ...)	er kunnen minder snel en eenvoudig aanpassingen uitgevoerd worden

## 4.2 Reconstructie door middel van 'overlay'

<sup>20</sup> Maples. Three Dimensional Facial Reconstruction. internet, Forensic Art, internet (<http://www.karentaylor.com/FOR3dfacial.html>)

Cherry en Angel (1977) produceerden als eersten een aangezichtsschets, afgaande op een foto van een schedel. Ubelaker (1989) beschreef een methode die nauw verwant was met de schetsmethode, maar tevens beruiste op technieken die ook worden gebruikt bij de 3D-kleireconstructie: op welbepaalde plaatsen op de schedel worden markeerders aangebracht die de weefseldikte op die plaats aangeven. Dit is de zogenaamde overlay-methode.

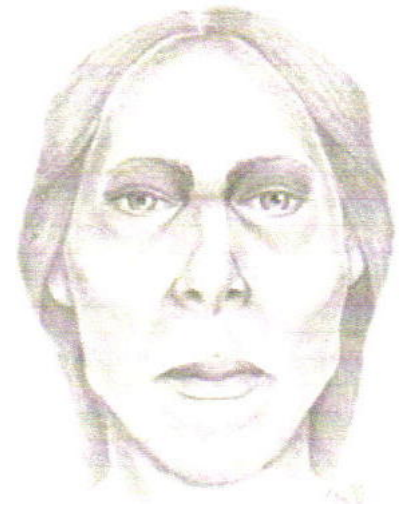
Het is dus een handgetekende techniek. De reconstructeur begint, net zoals bij de klassieke kleireconstructie, eerst met het bepalen van het geslacht, de leeftijd en het ras van het individu, om vervolgens de staafjes op de schedel aan te brengen volgens dezelfde manier. Nadien wordt er een laterale en frontale foto van de schedel in het Frankfurter Horizontaal vlak genomen, die op ware grootte worden uitgegroot. Over deze foto's wordt transparantpapier gelegd en, afgaande op de weke weefselmarkeringen en de schedel, wordt het gezicht getekend.



Figuur 24: Foto van de schedel op ware grootte



Figuur 25: Transparantpapier wordt over de foto gelegd en men begint met de schets



Figuur 26: Resultaat van een craniofaciale reconstructie met behulp van overlay<sup>21</sup>

Voor- en nadelen van deze methode:

Voordelen	Nadelen
kan snel gebeuren	2D
aanpassingen mogelijk	tekenvaardigheid vereist

#### 4.3 Computergestuurde reconstructie

<sup>21</sup> Figuren 24, 25 en 26: Maples. Two-Dimensional Facial Reconstruction. internet, Forensic Art,internet (<http://www.karentaylor.com/FOR2dfacial.html>)

Het concept van computergestuurde 3D-gelaatsreconstructies voor forensische identificaties werd voor het eerst beschreven door Vanezis (1989). De techniek bestaat erin een schedel te digitaliseren, gebruikmakend van een laserscanner en een videocamera, verbonden aan een computer. De digitaal opgenomen video-signalen worden dan getransformeerd en de schedel wordt als een volledig gearceerde 3D-oppervlakte weergegeven op de computer. Vervolgens worden er, net zoals bij de klassieke techniek met klei, plaatsen op de schedel aangeduid waar de reconstructeur de weke weefseldiktes kan opgeven (afgaande op de bestaande tabellen). Een kleurloos masker, bekomen door de oppervlakte tussen de verschillende punten 'glad te strijken', geeft dan de fundamentele vorm van het gezicht weer. De computer kiest dan uit een databank van andere gedigitaliseerde gezichten, een overeenkomstig gezichtskenmerk om het, anatomisch juist, over het pas gedigitaliseerd gezicht te plaatsen.

Het departement Forensische Tandheelkunde en het departement Elektrotechniek (ESAT) van de K.U.Leuven werken sinds eind 2002 aan een nieuwe databank van zachteweefseldiktes voor de Europese Caucasiër en een computerprogramma voor 3D craniofaciale reconstructie.

Op dit ogenblik worden er in België nog geen computergestuurde reconstructie-technieken toegepast.

De computergestuurde reconstructiemethode baseert zich voornamelijk op:

- ofwel een 'gemiddeld' gezicht (en schedel) dat als het ware over een onbekende schedel wordt getrokken. Dit 'gemiddeld' gezicht werd door middel van wiskundige berekeningen op een zekere database van schedels bekomen
- ofwel een mix van kenmerken van andere gezichten/schedels (die in de database voorkomen) die worden samengevoegd tot één geheel. Vooraleer aan deze mix te beginnen wordt de onbekende schedel vergeleken met iedere schedel in de database en nagegaan welke delen van andere personen het sterkst overeenstemmen met de onbekende schedel, om deze delen vervolgens samen te voegen

De vraag kan zich hierbij echter stellen of er door gebruik te maken van 'gemiddelde' gezichten of gezichtskenmerken van andere personen, aan de identiteit van het onbekende individu tekort gedaan wordt.

#### 4.4 Vergelijkende studie<sup>22</sup>

Het CAESAR-instituut (Center of Advanced European Studies and Research) te Bonn heeft voor een vergelijkende studie CT-schedeldata van een levende vrouw genomen om zo, met behulp van deze data, een duplica van haar schedel te maken. Deze duplica werd vervolgens aan reconstructeurs gegeven, met de bedoeling hierop een klei- en overlay-reconstructie uit te voeren. Het resultaat ziet u hieronder: links ziet u de overlay-schets, in het midden de kleireconstructie, en het rechtse beeld is een foto van de vrouw.



Figuur 27: Overlayreconstructie



Figuur 28: Kleireconstructie



Figuur 29: Foto

<sup>22</sup>

Frey. Three-dimensional facial measurement by portrait holography and texture-based focus detection. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2005, 110 blz.

# PRAKTIJK



## **5 EXPERIMENTEEL PROJECT: HET COMBINEREN VAN CT-DATA MET HOLOGRAFIEDATA**

Dit project wordt gerealiseerd door de stichting CAESAR Bonn en het UZ Gent.

Doelstellingen:

- controle van de reeds bestaande en gebruikte weke weefseldiktetabellen naar correctheid van de waarden
- onderzoeken van verschil in weke weefseldikten bij liggende en staande metingen
- op termijn een nieuwe computergestuurde reconstructietechniek vormen met zeer levendige craniofaciale reconstructies, dankzij de hoge resolutie van de holografie en de mogelijkheid tot opnames met geopende ogen, hetgeen de kans op herkenbaarheid vergroot

De bedoeling is data van schedels met behulp van CT, en data van zachte weefsels met behulp van holografie te bekomen, om deze nadien samen te voegen.

In paragraaf 5.1 beschrijf ik het uitgevoerd experimenteel project. In 5.2 wordt de gebruikte CT, het bekomen van schedeldata, het bekomen van een 3D-model en het gebruikte scanprotocol in het project uitgediept. Paragraaf 5.3 handelt over de techniek van de holografie. Het samenvoegen van beide data met behulp van het computerprogramma 'rapid form' wordt uitgewerkt in paragraaf 5.4, en tenslotte eindig ik dit hoofdstuk met een besluittrekking.

### **5.1 Het project**

Op 25 en 26 oktober 2005 hebben in het UZ Gent 25 vrijwilligers, zowel mannen als vrouwen, tussen de 20 en 24 jaar oud aan dit onderzoek deelgenomen. Er werd van deze mensen een Low Dose CT en een holografie (zowel liggend als staand) van het hoofd genomen. De bestralingsdosis tijdens de CT-scan is ongeveer 0,5 mSv of één vijfde van de dosis van een doorgaanse CT hersenscan, vandaar het begrip Low Dose CT.

Deze data worden verder verwerkt binnen de afdeling Holografie en Lasertechnologie van de stichting CAESAR te Bonn. De data van de gedigitaliseerde holografie worden over de data van de CT-scan gelegd, teneinde een precies beeld te krijgen van de weke weefseldikte op verschillende plaatsen op het

aangezicht. Omdat er bovendien een holografie zowel liggend als staand wordt genomen, kunnen eventuele verschillen in weke weefseldikten onderzocht worden.

Vermits de CT schedeldata bevat, en de zachte weefsels van het aangezicht zowel op de holografie als de CT voorhanden zijn, kan er een database van gezichten worden aangelegd. Deze kunnen, met een voldoende grote database en een optimale software, gebruikt worden om computergestuurde craniofaciale reconstructies uit te voeren op onbekende schedels.

## **5.2 CT (Computer Tomography)**

De gebruikte CT binnen het project is de 4-slices Siemens Somatom Plus. De werking van een CT is in mijn portfolio uitgelegd. In dit hoofdstuk wordt er slechts ingegaan op de voor het project relevante informatie.

### *5.2.1 Het bekomen van schedeldata*

Een CT-displaymonitor kan een matrix weergeven van 512 x 512 (of 1024 x 1024) beeldpunten met een standaardschaal van 4096 grijswaarden. Na reconstructie van de CT-scan kunnen er echter maximaal 5000 verschillende meetwaarden worden gevonden (van -1000 HU tot en met +4000 HU), welke elk in een grijswaarde kunnen worden weergegeven; elk CT-nummer kan immers theoretisch een grijswaarde vertegenwoordigen.

Op de monitor zullen de 5000 meetwaarden bijgevolg in 4096 grijswaarden worden weergegeven. Dit betekent dat 1,2 HU worden weergegeven als 1 grijswaarde ( $5000 \div 4096 = 1,2$ ). Om de informatie uit een CT-scan goed te kunnen beoordelen, is het daarom mogelijk slechts een gedeelte van de informatie (van de 5000 HU) weer te geven in de 4096 grijswaarden.

Er kan elektronisch een bepaalde spreiding (breedte) van de CT-nummers worden gekozen, welke gezamenlijk in de 4096 grijswaarden worden weergegeven. Dit is een window (venster). De plaats waar het midden van de gekozen window zich bevindt is de zogenaamde window-level. Het aantal CT-nummers dat wordt afgebeeld (dus de ingestelde spreiding), is de window-width. De CT-nummers kleiner dan de kleinst ingestelde waarde, zullen in principe allen zwart worden afgebeeld. De CT-nummers groter dan de grootst gekozen waarde zullen in principe wit worden afgebeeld. De window-width bepaalt tevens het aantal CT-nummers welke samen als één grijswaarde op de foto en/of de monitor worden weergegeven.

Bot bevindt zich tussen de +1000 tot +3000 HU. Er kan dus een window-level worden ingesteld op bijvoorbeeld +2000HU en een window-width van 950 tot 3050 HU. Men spreekt dan van het instellen van een botvenster. Een botvenster kan dus gebruikt worden om schedeldata te bekomen.

### 5.2.2 3D-reconstructie



Figuur 30: 3D-reconstructie van een schedel. De schedel kan met behulp van MPR onder verschillende invalshoeken worden bekeken: de schedel is hier iets naar achteren gerooteerd waardoor de onderkant duidelijker zichtbaar wordt<sup>23</sup>

Om een 3D-reconstructie te maken moet de informatie van verschillende coupes worden samengevoegd. Dit kan alleen als de coupes niet te dik zijn en de afstand tussen de coupes klein is. De coupes worden eerst in het axiale<sup>24</sup> vlak gereconstrueerd, waarna ze in de computer worden samengevoegd. Na samenvoeging kan door middel van filtering, waarbij aangegeven wordt welke volumewaarden zichtbaar moeten worden gemaakt, een selectie worden gemaakt. Deze selectie noemt men segmentatie. Hierna worden de gevonden binaire waarden van de betreffende volumes vergeleken met alle andere volumes in het gekozen volume, waarbij alleen de gekozen waarden zichtbaar worden gemaakt. Om het 3D-beeld ook driedimensionaal op de foto of monitor te kunnen waarnemen, wordt gebruikgemaakt van technieken als highlight en shading, waardoor de dieper gelegen structuren donkerder worden weergegeven.

De gevonden informatie is ook beschikbaar in andere vlakken dan het axiale vlak en kan daardoor ook in een ander vlak dan axiaal worden weergegeven. Dit wordt aangeduid als MPR (Multi Planar Reconstruction).

<sup>23</sup> Dam, Lip en Weissman. *Techniek in de radiologie*, Maarssen, Elsevier Gezondheidszorg, 2003, 622 blz.

<sup>24</sup> In de richting van de as. Hier: het voor – achterwaartse vlak loodrecht op de lichaamsas

Om een goede 3D-scan te kunnen maken moet er aan een aantal voorwaarden worden voldaan:

- de coupedikte dient zeer klein te zijn (bvb 1mm), om de volumewaarden klein te houden
- de ruimte tussen twee coupes dient klein te zijn, om onregelmatigheden in de reconstructie te voorkomen
- er mogen geen bewegingsartefacten zijn
- de kwaliteit per coupe dient goed te zijn (hoge dosis)
- men moet beschikken over een snelle computer met groot geheugen (1 beeld op zich kost al 0,1MB (256 x 256 x 2 bytes) geheugen)

Bij de huidige CT-scanners wordt een heel volume in één keer gescand, in plaats van coupe per coupe waarbij telkens na een coupe het tafelblad verschoven wordt. Om één volume in zijn geheel te scannen staan de buis en de detectoring onder een hoek ten opzichte van het doorstraalde volume, en het tafelblad beweegt continu. Door deze methode worden in feite een oneindig aantal verschillende volumes gemeten wat de 3D-MPR-CT ten goede komt, omdat alle volumes op elkaar aansluiten.

### 5.2.3 *Het gebruikte CT-scanprotocol binnen het experimenteel project*

De parameters van de topogram zijn:

80 kV	50 mA	1mm snededikte
2.8 sec scantijd	4 sec delay-tijd	256mm lengte

De parameters van de spiraal-CT zijn:

120 kV	50 mA	1.25mm snededikte	39.24 sec scantijd
4 sec delay-tijd	1mm collimatie	4mm feed per rotatie	1 sec rotatietijd

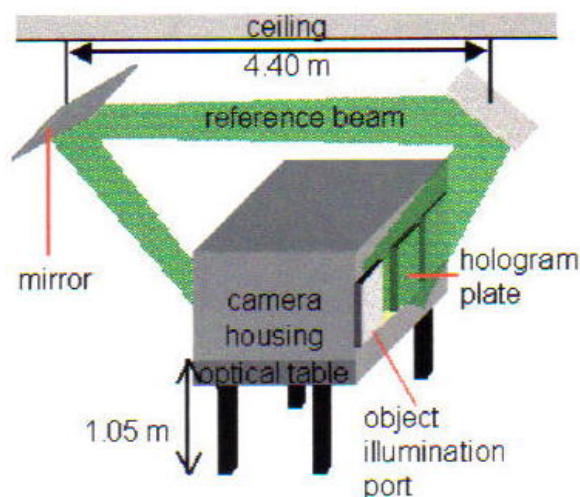
Voor de reconstructie werd zowel een 'Kernel H20s Smooth' als een 'Kernel H60s Sharp' ingesteld. De Field of View werd standaard ingesteld op 240 mm.

## 5.3 Holografie<sup>25</sup>

### 5.3.1 Principe van de holografie

Holografie werd als eerste ontworpen door Dennis Gabor in 1948. Het is een tweestappentechniek om golfvelden die teruggekaatst worden door een object af te beelden. Voor het nemen van holografieën van het gezicht wordt dit gezicht met een laserstraal bestraald. De huid, of beter gezegd de oppervlakte van het gezicht, weerkaatst de golven van de laserstraal en deze weerkaatste golven worden geprojecteerd op fotosensitief materiaal dat bestaat uit fijne korrels van zilverhalide die verspreid liggen in gelatine. Het fotosensitief materiaal is de hologramplaat. De weerkaatste golven worden objectgolven genoemd. Het opnemen van de amplitudes en fasen van de objectgolven op de hologramplaat is de eerste stap.

Achter de persoon wordt ook een referentiestraal uitgezonden die op het fotosensitief materiaal gericht staat en dezelfde amplitude en fase van de uitgezonden laserstraal heeft.

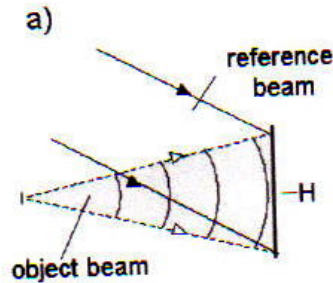


Figuur 31: De referentiestraal wordt achteraan de camera uitgezonden en door middel van spiegels gereflecteerd zodat ze alsnog op de holografische plaat terechtkomt

<sup>25</sup>

Alle figuren (tenzij anders vermeld): Frey. Three-dimensional facial measurement by portrait holography and texture-based focus detection. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2005, 110 blz.

De referentiestraal dient onder meer om een coherente achtergrond op de hologramplaat te bekomen. Je zou kunnen stellen dat de informatie van de objectgolf (fase en amplitude) op deze achtergrond wordt uitgeschreven.

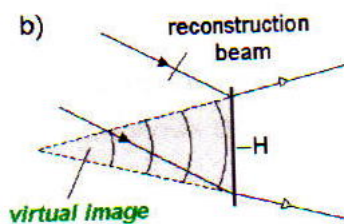


Figuur 32: Objectgolven en golven van een referentiestraal worden op fotosensitief materiaal opgenomen

De twee golven interfereren en vormen het intensiteitspatroon, hologram genaamd. Het intensiteitspatroon is afhankelijk van de oppervlakte van het gezicht en verschilt van plaats tot plaats. De objectgolven bepalen dus het intensiteitsverschil. Dit patroon wordt opgenomen op de hologramplaat.

Het uitlezen van de hologram, de scaneenheid en het digitaliseerproces is de tweede stap. Het uitlezen van de hologram kan op twee manieren:

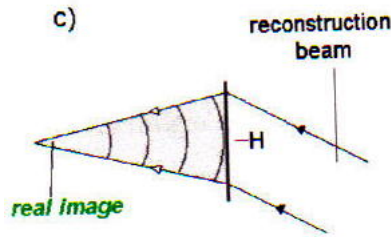
- Met een laserstraal met eenzelfde fase en amplitude als deze van de referentiestraal: tijdens het uitlezen handelt de hologram als een raam: je ziet het gezicht virtueel achter de hologramplaat. Dit wordt het virtuele beeld genoemd.



Figuur 33: Het virtuele beeld verschijnt achter de hologram bij het uitlezen van de hologram met een laserstraal van dezelfde fase en amplitude als de referentiestraal

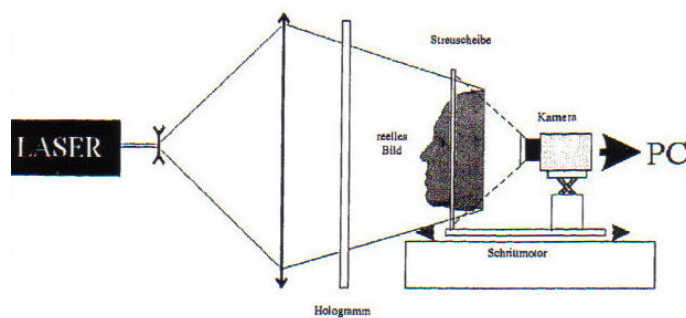
- Met een laserstraal met een omgekeerde fase en amplitude als deze van de referentiestraal: in dit geval verschijnen de objectgolven in de ruimte, van de hologramplaat af. Dit wordt het reële beeld genoemd. Het reële beeld voorziet een overeenkomstige kopie van de objectgolf, met een grootte van 20-30cm<sup>2</sup>

voor een portretopname. De laserstraal met omgekeerde fase en amplitude van de referentiestraal wordt de fasegepaarde referentiestraal genoemd.



Figuur 34: Het reële beeld verschijnt in de ruimte bij het uitlezen van de hologram met een fasegepaarde referentiestraal

Om het beeld te digitaliseren moet er gebruik worden gemaakt van het reële beeld (zie figuur 35). Een gedigitaliseerd reëel beeld van een hologram is  $20 \cdot 30 \cdot 30 \text{cm}^3$ . Tijdens het digitaliseren worden de objectgolven die zich in de ruimte projecteren, net zoals bij de CT-scan, in coupes onderverdeeld door een verspreiderscherm, en wordt het lichtpatroon dat zich op het verspreiderscherm manifesteert opgenomen door lichtgevoelig materiaal. Deze zet het licht nadien in een elektrisch signaal om. Het digitaliseerproces wordt in paragraaf 5.3.7 verder uitgelegd.



Figuur 35: De objectgolven van het reële beeld worden met behulp van lichtgevoelig materiaal opgenomen en gedigitaliseerd

### 5.3.2. De mobiele holografische camera



Figuur 36: De mobiele holografische camera

De gebruikte mobiele holografische camera is van het type Geola ([www.geola.com](http://www.geola.com)), model GP-2J. De camera bevat voornamelijk een gepulste laser met geoptimaliseerde parameters voor portretopnames. Ze bestaat namelijk uit een groene golflengte van 532nm. Hierdoor kan het huidoppervlak zeer gedetailleerd worden afgebeeld (poriën en haartjes zijn zichtbaar), en is de laserstraal weinig penetrerend waardoor beschadiging van de retina<sup>26</sup> en de huid nihil is. De pulsduur bedraagt bovendien 35ns, wat twee voordelen oplevert:

- minder bewegingsartefacten
- de mogelijkheid tot opnames met geopende ogen

Om een hologram te maken moet er een hologramplaat (van 30·40cm<sup>2</sup>) in de houder worden geplaatst. Deze bevindt zich voor de camera. Een persoon neemt voor de camera plaats in een stoel. Om de opname te maken druk je op een knop in het elektronisch circuit dat de laserstraal activeert. Dit kun je ook horen. Een tweede druk op de knop stelt de laserstraal in werking. Na opname is de hologram klaar voor chemische processing en kan de persoon vertrekken.

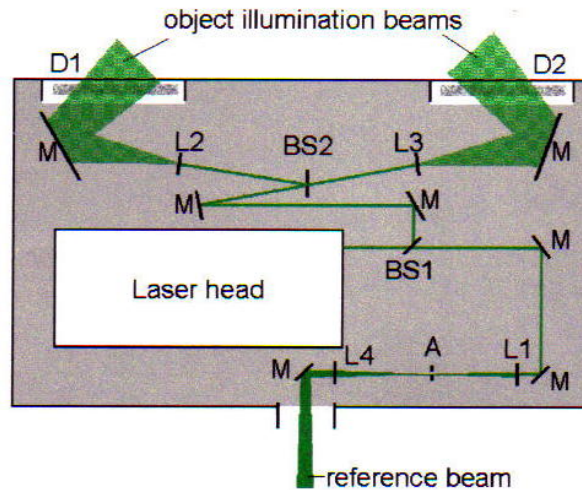
In de toekomst kan in ziekenhuizen een mobiele holografische camera gebruikt worden ter planning en evaluatie van craniofaciale chirurgie. In deze context is het immers van belang om bvb zeer duidelijke beelden te bekomen, en hier wordt dankzij de holografie zeker aan voldaan door zijn hoge resolutie en snelle opnametijd.

<sup>26</sup> Netvlies van het oog, het receptief orgaan van de gezichts-zenuw dus het eigenlijke gezichtszintuig



### 5.3.3. Oogveilige opnames

De laserstraal wordt in drie stralen opgesplitst, zodat er één referentiestraal ontstaat en twee laserstralen die het object bestralen langs twee kanten.



Figuur 37: Schema van de holografische camera in de omhulsing. Achteraan de camera wordt de referentiestraal en vooraan de camera twee objectstralen uitgezonden

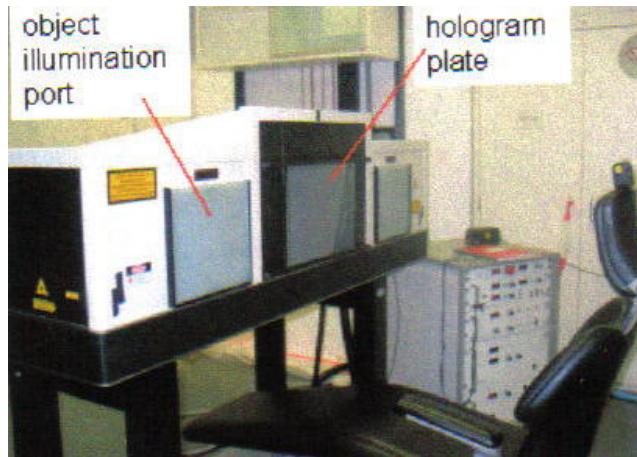
Het opsplitsen gebeurt door de stralensplitters BS1 en BS2. Eén straal dient als referentiestraal en wordt achteraan de camera uitgezonden. De twee andere stralen worden gebruikt om het object langs twee kanten te belichten.

De referentiestraal wordt door middel van spiegels (M) afgebogen en door de lens (L1) gefocust binnen de camera. De lensopening (A) zorgt voor een filtering van de referentiestraal. Lens L4 is een sferische concave lens<sup>27</sup> dat de laserstraal verspreid. Hierdoor is de laserstraal divergent bij het uittreden van de cameraomhulsing.

De twee andere stralen die het object belichten worden eerst binnen de camera door concave lenzen (L2 en L3) verspreid en nadien door de verspreiderplaten (D1 en D2) gestuurd naar buiten toe. Deze platen dienen ervoor de laserstraal diffuus te verspreiden teneinde een gelijkmatige objectbelichting te bekomen. De verspreiderplaten spelen een cruciale rol inzake de oogveiligheid.

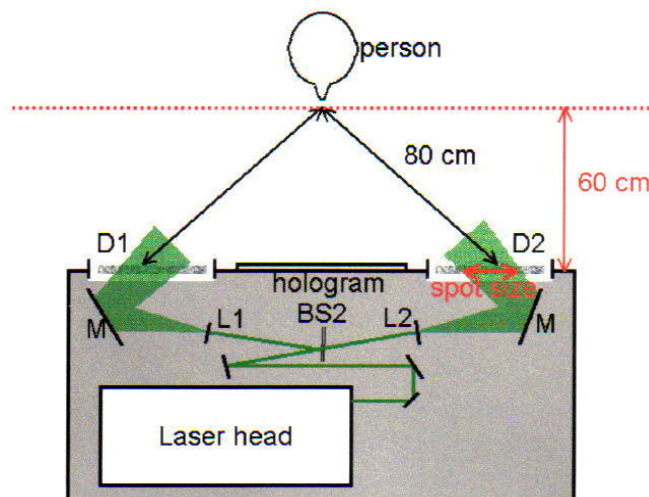
<sup>27</sup>

Holrond glas dat in het midden dik is en naar de omtrek toe dunner wordt waardoor de eigenschap ontstaat lichtstralen uit elkander te doen gaan



Figuur 38: Links en rechts van de holografische plaat zijn er verspreiderschermen aangebracht waardoor de laserstraal uitgezonden wordt vooraleer het object te belichten

De energie van de laserstraal bedraagt bij het uitzenden aan de laserkop 1 Joule. De energie van de laserstraal neemt echter af met de afstand. Zoals eerder vermeld moet men bij het gebruik van laserstralen bedacht zijn voor oogschade. De opgelopen energiedensiteit op de retina is afhankelijk van de golflengte, de geometrie van het oog (voornamelijk de pupildiameter) en de hoeveelheid energie van de oorspronkelijke laserstraal dat er op de retina invalt. De persoon is voor de hologramplaat gepositioneerd op een afstand van minstens 60cm (zie figuur 39). De afstand van het gezicht tot de verspreiderplaten bedraagt dan ongeveer 80cm.



Figuur 39: Schema van de standaardopstelling voor portretopnames

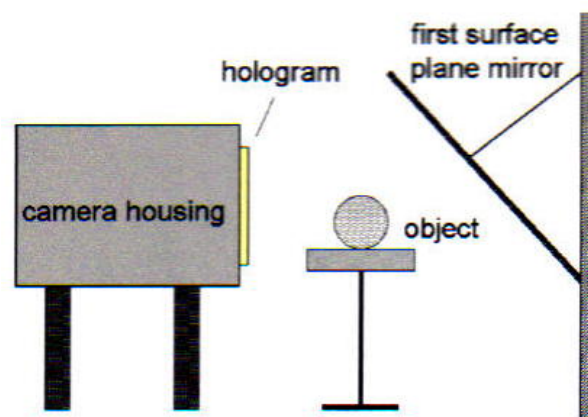
In deze opstelling bedraagt de energie op de retina  $500\text{ nJ per cm}^2$ .

De referentiestraal echter, is niet door zoveel stappen uitgedund omdat ze aan de sensitiviteit van de zilverhaliden in het fotomateriaal aangepast moet zijn. Dit bete-

kent dat de referentiestraal niet oogveilig is. De gebruikers moeten er bijgevolg op toezien dat de referentiestraal het gezicht niet direct belicht. Bij het bestralen van het gezicht met de referentiestraal kan de blootstelling oplopen tot  $33\mu\text{J}/\text{cm}^2$ .

#### 5.3.4 Liggende opname

Voor liggende opnames is de camera uitgerust met een extra spiegel die in een hoek van  $45^\circ$  boven de liggende persoon is geplaatst, zodat er een frontale opname van het gezicht – al liggend – bekomen kan worden. Deze extra spiegel veroorzaakt een bestraling van de kant van het gezicht dat van de camera weg ligt.



Figuur 40: Opstelling voor liggende portretopnames

#### 5.3.5 Hologram processing

Nadat de opname is gemaakt, moet de hologram een chemische processing ondergaan. Het materiaal waaruit de hologramplaat is opgebouwd, VRP-M genaamd, bestaat zoals eerder vermeld, uit fijne korrels van zilverhalide, die verspreid liggen in gelatine. Bij het uitnemen van de hologramplaat uit de houder, moet erop worden toegezien dat de plaat niet belicht wordt. Dit dient dus te gebeuren in de donkere kamer onder rode belichting. De chemische processing bestaat uit twee basisstappen: het ontwikkelproces en het bleekproces. Deze processen werden tijdens het project te UZ Gent manueel uitgevoerd door de hologram telkens gedurende twee minuten in plasticen bassins onder te dompelen.

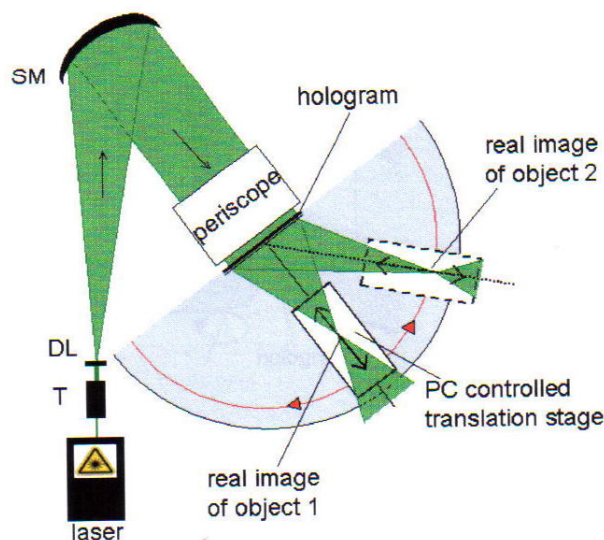
De ontwikkelaar bestond uit 1 liter water met hierin 18 gram ascorbinzuur, 12 gram natriumhydroxide, 6 gram 1-fenyl-3-pyrazolidinon (Fenidon) en 28,4 gram dinatriumhydrogeenfosfaat.

Het bleekproces werd uitgevoerd in een bassin van 1 liter water met 10 gram kaliumperoxodisulfaat, 50 gram citroenzuur, 1 gram koper-II-bromide, 20 gram kaliumbromide en 1 gram diaminofenoldihydrochloride (Amidol).

Het is ook mogelijk dit proces automatisch te laten verlopen. Er worden dan wel enkele eisen aan de hologram gesteld; zo moet deze bvb uit flexibel materiaal bestaan. De hologram wordt dan door middel van rollen door een ontwikkelmachine van bad tot bad vervoerd, analoog aan de ontwikkelmachines voor röntgenfilms. Het automatisch gebruik kan worden toegepast in bvb het ziekenhuismilieu.

### 5.3.6 *Het uitlezen van de hologram*

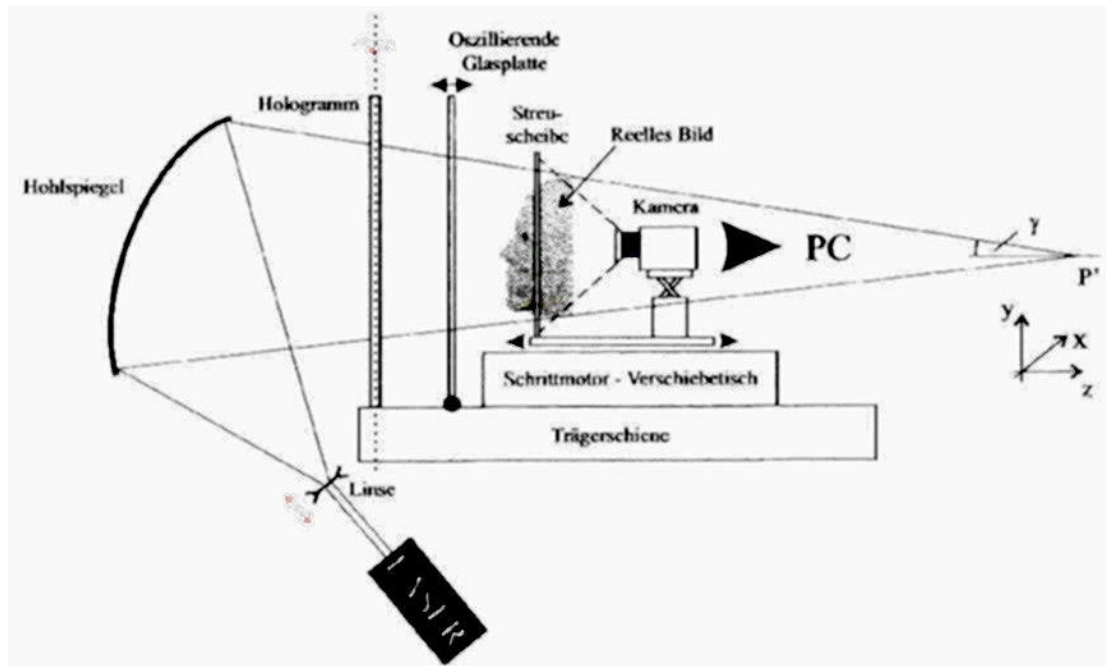
Zoals vermeld in 5.3.1 kun je een reëel beeld reconstrueren door de hologram te bestralen met een fasegepaarde referentiestraal. Om de diameter van de straal breed genoeg te maken zodat de hologram volledig wordt uitgelezen (30-40cm<sup>2</sup> is de standaardafmeting), wordt de laserstraal eerst verspreid en vervolgens gefocust met een sferische (bolvormig) spiegel.



Figuur 41: Om de laserstraal volledig te kunnen uitlezen wordt de fasegepaarde referentiestraal verdeeld en gefocust

Het verspreiden van de straal wordt bereikt door deze te laten lopen door een telescoop (T) en een concave lens (DL). Door deze elementen bereikt de laserstraal een diameter van, bij benadering, 50cm als ze invalt op de sferische spiegel (SM). De straal wordt dan gestuurd over een periscoop. Door deze periscoop wordt de opname ondersteboven (d.w.z. 180° ten opzichte van de oorspronkelijke opname set-up) afgebeeld.

### 5.3.7 *Digitale opname van de beeldprojecties*



Figuur 42: Het digitaliseerproces in schema<sup>28</sup>

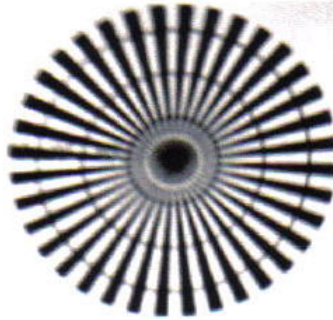
Voor het digitaliseren van het reële beeld wordt een scanner op een platform geïnstalleerd en axiaal doorheen het reële beeld geschoven. De scanner ‘snijdt’ het beeld zo in 2D-projecties en vangt het licht op. De scanner staat los op het platform en kan rondgedraaid worden, zodat ze naar de richting van de afbeelding gericht kan worden. Bovendien kan de hologram worden geroteerd over de horizontale en verticale as.

Eén mogelijkheid van scannen is door gebruik te maken van een verspreiderscherm (zie figuur 42: streuscheibe). Het verspreiderscherm wordt doorheen het reële beeld dat zich van de hologramplaat af projecteert, verplaatst en de lichtvelden die op het verspreider-scherm verschijnen worden opgevangen door een CCD-chip (Charge Coupled Device) met een cameralens. Echter, het verspreiderscherm heeft de eigenschap het beeld te verstrooien wat een verlies in helderheid voor het beeld oplevert.

<sup>28</sup>

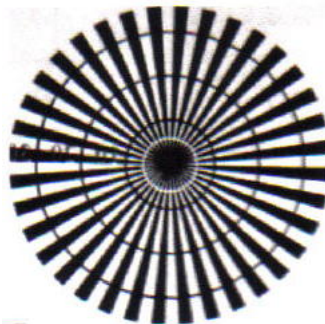
Bongartz. Hochoflösende dreidimensionale Gesichtsprofilvermessung mit kurzgepulster Holographie. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2002, 92 blz.

Dit is geïllustreerd in onderstaande fantoomafbeelding.



Figuur 43: Scannen met een verspreiderscherm levert minder scherpe beelden op

Door de nodige postprocessing, bvb door de hologram een beetje schuin te houden tijdens het uitlezen of door een schommelende glasplaat (zie figuur 42: oszillierende glasplatte) tussen de hologram en het reële beeld te plaatsen, kan men wel een scherp beeld bekomen:



Figuur 44: Met behulp van postprocessing is het wel mogelijk een scherp beeld te bekomen

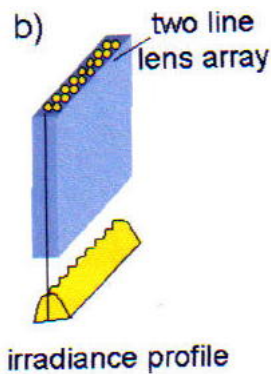
Een andere mogelijkheid is om het reële beeld direct te scannen met een 'CMOS document scanner' (CanoScan LiDE 50) in plaats van met een verspreiderscherm. CMOS staat voor Complementary Metal Oxide Semiconductor, refererend naar de samenstelling en niet naar –zoals de term CCD– de uitleesprocedure.

Het gebruik van een CMOS-scanner heeft twee voordelen:

- geen postprocessing noodzakelijk
- geen moeilijk weg te filteren ruis: bij het gebruik van een verspreiderscherm is de verstrooiing op het beeld (te wijten aan het verspreiderscherm) altijd een bron van ruis. Deze ruis heeft bovendien eenzelfde grootte en structuur als het gezichtsoppervlak, waardoor de ruis moeilijk weg te filteren valt

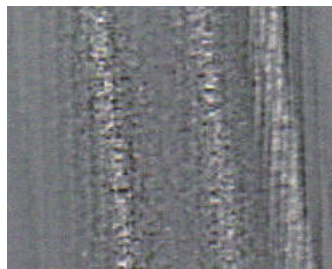
Een groot nadeel van de rechtstreekse scan met een CMOS-scanner is echter dat er streepartefacten optreden door de GRIN-lenzen (gradiënt index), een onderdeel

van de scanner dat lichtbronnen traceert. Dit effect wordt geïllustreerd in volgende afbeeldingen.



Figuur 45: GRIN-lenzen in de CMOS document scanner

Bovenstaande figuur illustreert de scanner in profiel met daarin de twee rijen lenzen in de scanner, die, zoals in de volgende figuur zichtbaar, streepartefacten veroorzaken:



Figuur 46: Holografie van een metalen staaf met streepartefacten

Je kan dit effect wel grotendeels weggewerken door de hologram uit focus te zetten, d.w.z. de scanner op een andere Z-positie te plaatsen ten opzichte van de hologram. Men bekomt dan dit resultaat:



Figuur 47: De streepartefacten zijn weggewerkt door een out-focusstand van de scanner

De opgenomen 'sneden' worden vervolgens naar een computer doorgezonden en daar opgeslagen op een harde schijf. Deze beelden worden de raw data genoemd.

Een standaard dataset bestaat uit 256 sneden. Elk beeld bevat een oppervlak van 20·30cm<sup>2</sup>.

Een volgende stap is de oppervlakte van het gezicht bepalen. Dit is een digitale beeldprocessing dat foci detecteert in het reële beeld. Foci liggen driedimensionaal in het reële beeld en zorgen er voor dat het mogelijk is om de staat van het opgenomen object te reconstrueren.

### 5.3.8 Shape-from-focus

Als de scanner door het reële beeld van het object beweegt verschijnen er, afhankelijk van de positie van de scanner, scherp afgebeelde contouren op het scanoppervlak. Wanneer de scanner zich aan het begin van het gezichtsoppervlak bevindt, zal de neustop scherp afgebeeld zijn (in focus liggen) en achterliggende contouren minder scherp zichtbaar verschijnen. Bij verder schuiven van de scanner doorheen het reële beeld worden de achterliggende structuren scherper afgebeeld en vervaagt de neustop. Dit proces herhaalt zich tot de scanner uit het reële beeld is. Onderstaande afbeeldingen illustreren het scanproces:



Figuur 48: Neustop  
in focus  
(scanner bevindt zich  
aan het begin van de  
gezichtsoppervlakte  
van het reële beeld)



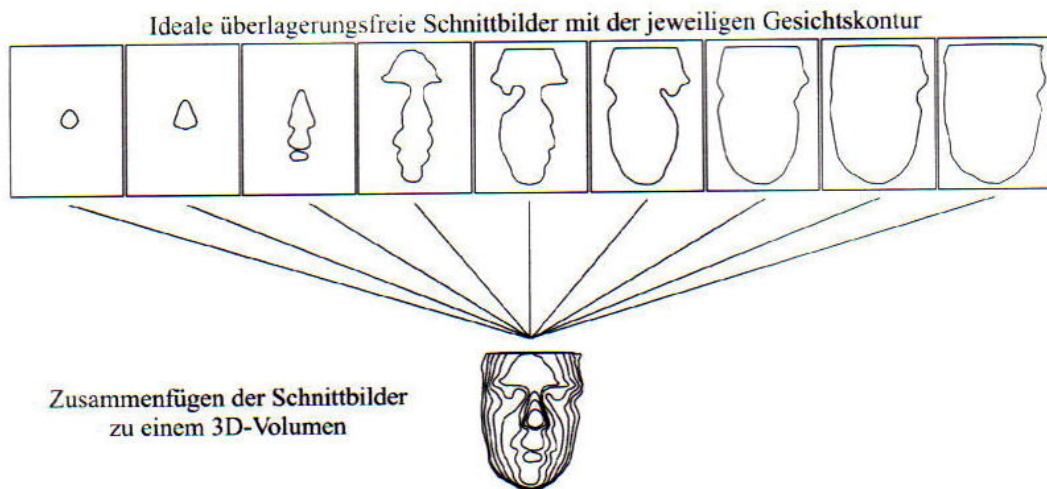
Figuur 49: Neusrug  
in focus  
(scanner is iets verder  
doorgeschoven en  
bevindt zich ter hoogte  
van de neusrug)



Figuur 50: Ogen  
in focus  
(scanner is nog verder  
doorgeschoven en  
bevindt zich ter hoogte  
van de ogen)



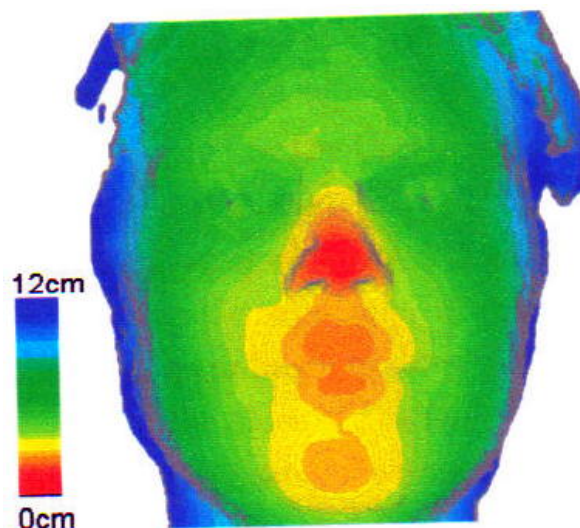
Om hieruit de objectoppervlakte terug te berekenen, worden scherp afgebeelde contouren in iedere projectie geïdentificeerd en gerelateerd aan de scannerpositie.



Figuur 51: Bij elke scanpositie ontstaan er scherp afgebeelde gezichtscontouren op het scanoppervlak. Deze afzonderlijke beelden worden bij elkaar opgeteld om zo een 3D-beeld te bekomen<sup>29</sup>

Zo bekomt men een driedimensionale dieptemap van de oppervlakte. Dit principe wordt *shape-from-focus*, *depth-from-focus* of *extended focus* genoemd.

Figuur 52 is een voorbeeld van zo een dieptemap. Iedere diepte heeft een verschillende kleur gekregen:



Figuur 52: Dieptemap van een gezicht

<sup>29</sup> Bongartz. Hochoflösende dreidimensionale Gesichtsprofilvermessung mit kurzgepulster Holographie. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2002, 92 blz.

Hieronder het resultaat van een 3D-model van een gezicht, verkregen via een hologram:



Figuur 53: 3D-model van een gedigitaliseerde hologram

De scanprojecties worden in een matrix van 1024 x 1024 of 2048 x 2048 pixels opgeslagen met een bitdiepte van 12 bit.

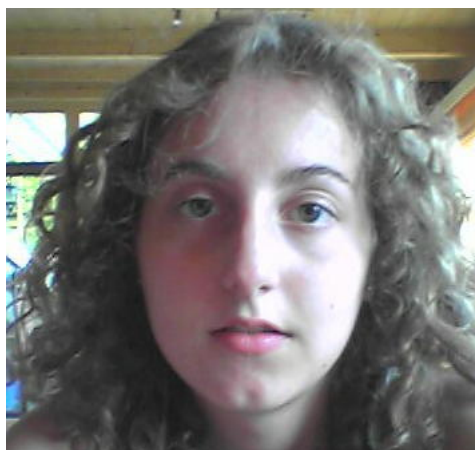
#### 5.4 Het samenvoegen van beide data: Rapid Form

Het samenvoegen van de data gebeurt, zoals eerder vermeld, door het team van Prof. P. Hering aan de stichting CAESAR Bonn met behulp van de software 'rapid form', versie 2006.

Ik ga mezelf als voorbeeld gebruiken. Links ziet u mijn hologram en rechts mijn foto:



Figuur 54: Hologram<sup>30</sup>



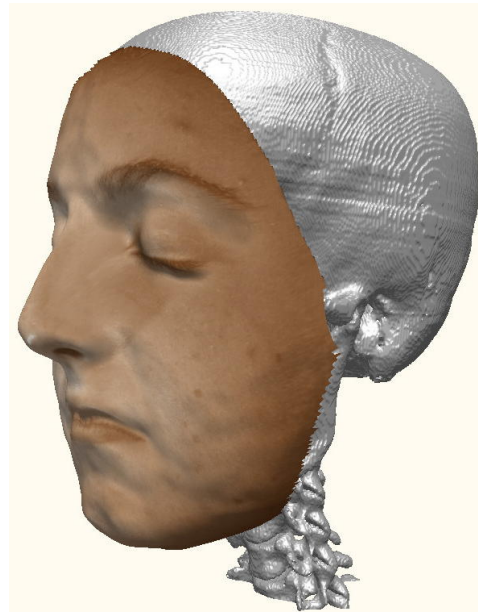
Figuur 55: Foto

Om weke weefseldiktes te kunnen meten, moeten er eerst zowel de schedeldata (bekomen door de CT) als de holografiedata op eenzelfde werkblad binnen rapid form ingeladen worden. De holografie wordt dan manueel anatomisch exact over de schedel geplaatst. Je kan je hiervoor baseren op de neusrug en het voorhoofd. De projectie van de hologram (en de schedel) kan je roteren om zo tot een goede positie te komen.

<sup>30</sup>

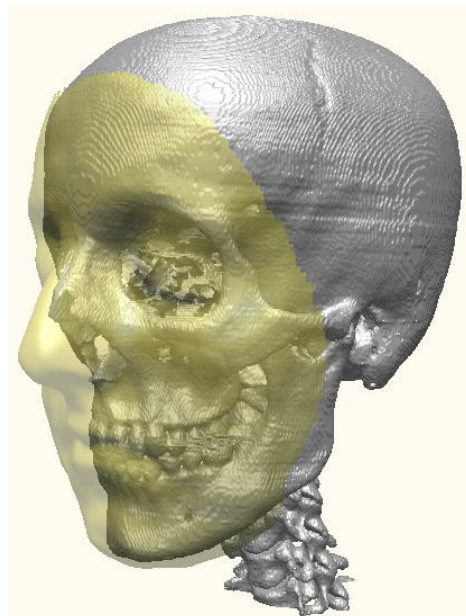
Figuur 54: Hering. Forschungszentrum CAESAR, Holographie und Lasertechnologie, Bonn, 2006.

Door de samenvoeging van de hologram- en CT-data wordt onderstaand resultaat bekomen:



Figuur 56: De hologram is over de schedel geplaatst<sup>31</sup>

Om de diktes van het weke weefsel te meten moet de onderliggende botstructuur zichtbaar zijn. Hiervoor wordt de hologram transparant gemaakt:



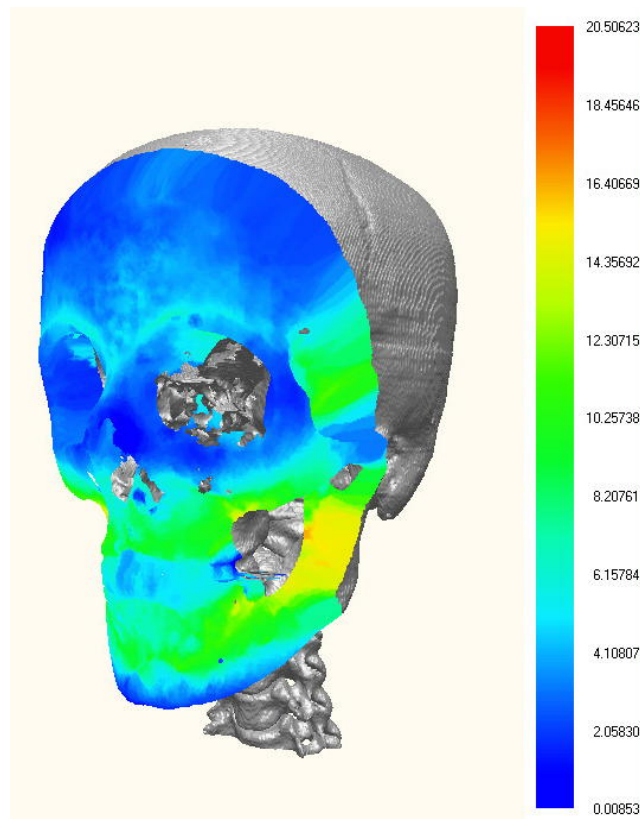
Figuur 57: De hologram is transparant gemaakt<sup>32</sup>

<sup>31</sup>      Figuur 56: Hering. Forschungszentrum CAESAR, Holographie und Lasertechnologie, Bonn, 2006.

<sup>32</sup>      Figuur 57: Hering. Forschungszentrum CAESAR, Holographie und Lasertechnologie, Bonn, 2006.

Door middel van de functie “measure whole deviation” in het rapid-form programma, kunnen de weke weefseldiktes worden bepaald: je meet vanaf het bot tot het huidoppervlak; en dit over heel het gezicht. Dit heeft als voordeel dat je op iedere plaats van het aangezicht informatie hebt over de weke weefseldiktes.

Mijn meting ziet er als volgt uit:



Figuur 58: Weke weefseldiktes<sup>33</sup>

Deze procedure kan herhaald worden voor de liggende opname. Hierdoor kunnen eventuele verschillen in de weke weefseldiktes liggend ten opzichte van staand tot uiting komen.

Voor- en nadelen van deze methode:

Voordelen	Nadelen
zeer korte opnametijd	niet alle gezichtsoppervlakken reflecteren de laserstraal even goed (bvb oudere huid)
makkelijk te hanteren	digitaliseerproces duurt één uur
3D	zowel CT- als holografiedata noodzakelijk
hoge resolutie	

<sup>33</sup> Figuur 58: Hering, P., Forschungszentrum CAESAR, Holographie und Lasertechnologie, Bonn, 2006.

Door de korte opnametijd ontstaan er minder bewegingsartefacten (ten opzichte van de CT en MRI) en zijn opnames met geopende ogen mogelijk waardoor de herkenbaarheid van mensen verbetert. Dit is zowel nuttig bij forensische craniofaciale reconstructie als bij patiënten in een ziekenhuis, die bvb craniofaciale chirurgie ondergaan.

## 5.5 Besluit

Deze techniek is ideaal om tegemoet te komen aan de probleemfactoren binnen de eerder vermelde weke weefseldiktemetingen:

- er is geen drukzetting op de weefsels door hetzij de zwaartekracht, hetzij de meetmethode
- de weke weefseldiktes kunnen op willekeurige plaatsen berekend worden en niets slechts op enkele meetplaatsen
- hoekmeting kan voorkomen worden
- er kan een vergelijking worden gemaakt tussen weke weefseldiktes bij liggende en staande metingen

Nadeel aan deze meetmethode is dat zowel holografie- als CT-data in de database noodzakelijk zijn. Bovendien is het de bedoeling dat deze methode op termijn een computergestuurde reconstructietechniek wordt, waardoor men de discussie omtrent computergestuurde craniofaciale reconstructies (aangehaald in paragraaf 4.3) opnieuw openstelt.

## **ALGEMEEN BESLUIT**

De reeds bestaande en toegepaste reconstructiemethoden berusten in feite op weke weefselmetingen die niet gestandaardiseerd en willekeurig bekomen zijn:

- er worden verschillende meetpunten gebruikt
- er wordt gebruik gemaakt van gemiddelde waarden
- de resultaten zijn bekomen met verschillende meetmethoden
- de meettechniek is vaak onderhevig geweest aan beïnvloedende factoren, denken we maar aan de drukzetting op de weke weefsels, hoekmeting, meting op lijken, enzovoort

Bovendien worden er in België momenteel slechts twee reconstructiemethoden toegepast, zijnde de overlay- en de kleireconstructie; waarvan de laatste techniek het meest gebruikt wordt.

In dit kader vindt zich het belang van het experimenteel project dat gebruik maakt van zowel holografie- als CT-data. Deze techniek heeft als voordeel dat het:

- de bovenstaande beïnvloedende factoren vermijdt
- de gezichtsoppervlakte zeer gedetailleerd weergeeft
- opnames met geopende ogen mogelijk maakt
- een uitgebreide database aan schedel- en gezichtsinformatie kan bevatten

Het nadeel aan craniofaciale reconstructie met behulp van holografie en CT is dat beide data noodzakelijk zijn en dus voorhanden moeten zijn. Bovendien zou dergelijke reconstructie computergestuurd verlopen en dit is tot op de dag van vandaag controversieel.

Voor de craniofaciale reconstructies zal de uitdaging voor de komende jaren er in bestaan om de nauwkeurigheid van de reconstructies te verbeteren door steeds nieuwere technologieën aan te wenden.

**FIGURENLIJST****Blz.**

1	Craniofaciale reconstructie	8
2	Ben Claes	10
3	Peter Clauwaert	10
4	Schets mannelijke schedel (vooraanzicht)	13
5	Schets mannelijke schedel (profiel)	13
6	Mannelijke schedel	13
7	Schets vrouwelijke schedel (vooraanzicht)	13
8	Schets vrouwelijke schedel (profiel)	13
9	Vrouwelijke schedel	13
10	Afrikaanse mannelijke schedel	15
11	Aziatische mannelijke schedel	15
12	Europese mannelijke schedel	15
13	Afrikaanse vrouwelijke schedel	15
14	Aziatische vrouwelijke schedel	15
15	Europese vrouwelijke schedel	15
16	Meetplaatsen ter bepaling van de weke weefseldiktes (volgens Rhine en Moore)	20
17	Tabel van gemiddelde weke weefseldiktes in millimeters voor caucasoiden types (volgens Rhine en Moore)	20
18	Echografie	21
19	MRI-beeld (van de hersenen)	22
20	CT-beeld (van de hersenen)	23
21	Het Frankfurter Horizontaal vlak	25
22	Stafjes aangebracht op de schedel overeenkomstig anatomische punten	26
23	Resultaat van een craniofaciale reconstructie met behulp van klei	27
24	Foto van de schedel op ware grootte	28



25	Transparantpapier wordt over de foto gelegd en men begint met de schets	28
26	Resultaat van een craniofaciale reconstructie met behulp van overlay	28
27	Overlayreconstructie	30
28	Kleireconstructie	30
29	Foto	30
30	3D-reconstructie van een schedel	34
31	De referentiestraal wordt achteraan de camera uitgezonden en door middel van spiegels gereflecteerd zodat ze alsnog op de holografische plaat terechtkomt	36
32	Objectgolven en golven van een referentiestraal worden op fotosensitief materiaal opgenomen	37
33	Het virtuele beeld verschijnt achter de hologram bij het uitlezen van de hologram met een laserstraal van dezelfde fase en amplitude als de referentiestraal	37
34	Het reële beeld verschijnt in de ruimte bij het uitlezen van de hologram met een fasegepaarde referentiestraal	38
35	De objectgolven van het reële beeld worden met behulp van lichtgevoelig materiaal opgenomen en gedigitaliseerd	38
36	De mobiele holografische camera	39
37	Schema van de holografische camera in de omhulsing	40
38	Links en rechts van de holografische plaat zijn er verspreiderschermen aangebracht waardoor de laserstraal uitgezonden wordt vooraleer het object te belichten	41
39	Schema van de standaardopstelling voor portretopnames	41
40	Opstelling voor liggende portretopnames	42
41	Om de laserstraal volledig te kunnen uitlezen wordt de fasegepaarde referentiestraal verdeeld en gefocust	43
42	Het digitaliseerproces in schema	44
43	Scannen met een verspreiderscherm levert minder scherpe beelden op	45
44	Met behulp van postprocessing is het wel mogelijk een scherp beeld te bekomen	45
45	GRIN-lenzen in de CMOS document scanner	46

46	Holografie van een metalen staaf met streepartefacten	46
47	De streepartefacten zijn weggewerkt door een out-focusstand van de scanner	46
48	Neustop in focus	47
49	Neusrug in focus	47
50	Ogen in focus	47
51	Bij elke scanpositie ontstaan er scherp afgebeelde gezichtscontouren op het scanoppervlak	48
52	Dieptemap van een gezicht	48
53	3D-model van een gedigitaliseerde hologram	49
54	Hologram	50
55	Foto	50
56	De hologram is over de schedel geplaatst	51
57	De hologram is transparant gemaakt	51
58	Weke weefseldiktes	52

## REFERENTIELIJST

AULSEBROOK, W., Becker, P. and YASAR ISCAN, M. Facial soft-tissue thickness in the adult male Zulu. Forensic Science International, vol.79, 1996, blz. 83-102.

BODYMETRIX. Science. internet, 2005. (<http://www.intelamatrix.com/science.html>)

BONE CLONES OSTEOLOGICAL REPRODUCTIONS. Human skulls. internet, Forensics. ([http://www.boneclones.com/catalog\\_forensics.htm](http://www.boneclones.com/catalog_forensics.htm))

BONGARTZ, J., Hochauflösende dreidimensionale Gesichtsprofilvermessung mit kurzgepulster Holographie. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2002, 92 blz.

DAM, T., LIP, R. en WEISSMAN, F., Techniek in de radiologie, Maarsse, Elsevier gezondheidszorg, 2003, 622 blz.

DE GREEF, S. and WILLEMS G. Three-dimensional Cranio-Facial Reconstruction in Forensic Identification: Latest Progress and New Tendencies in the 21st Century. internet, Journal of Forensic Sciences, vol. 50, nr. 1, 2005. ([www.astm.org](http://www.astm.org))

DE GREEF, S., CLAES, P., MOLLEMANS, W., VANDERMEULEN, D., SUETENS, P. en WILLEMS, G., Computergestuurde forensische aangezichtsreconstructie: Recente ontwikkelingen en tendensen. Belgisch tijdschrift voor tandheelkunde, nr. 60/3, 2005, blz. 237-249.

DUPUIS, B., Tussen wetenschap en kunst : een schedel kan veel vertellen. Revue van de Rijkswacht, nr. 148, 1999.

EVENHOUSE, R., RASMUSSEN, M. and SADLER, L. Computer-Aided Forensic Facial Reconstruction. internet, Journal of Biocommunication, vol. 19, nr. 2, 1992. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)

FREY, S., Three-dimensional facial measurement by portrait holography and texture-based focus detection. Dissertation, Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität, 2005, 110 blz.

GEUËNS, M. Forensische Gezichtsreconstructie. niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven – Postacademische Vorming Multidisciplinair Forensisch Onderzoek, 2003, 19 blz.

HERING, P., Hologram. niet-gepubliceerd, CAESAR, Holographie und Lasertechnologie, Bonn, 2006.

JONES, M. Facial Reconstruction Using Volumetric Data. VMV, 2001, blz. 135-142. (<http://wwwvis.informatik.uni-stuttgart.de/vmv01/dl/posters/6.pdf>)

MAPLES, W. Two-Dimensional Facial Reconstruction. internet, Forensic Art. (<http://www.karentaylor.com/FOR2dfacial.html>)

MAPLES, W. Three-Dimensional Facial Reconstruction. internet, Forensic Art. (<http://www.karentaylor.com/FOR3dfacial.html>)

MURRAY, W. Human Male Skull. internet, Sculpture Gallery. ([http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human\\_male\\_skull.html](http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human_male_skull.html))

MURRAY, W. Human Female Skull. internet, Sculpture Gallery. ([http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human\\_female\\_skull.html](http://www.sculpturegallery.com/sculpture/human_female_skull.html))

OTTEVANGER, B. Ontwikkelingen in het multidisciplinair forensisch onderzoek bij het Nederlands Forensisch Instituut en haar ketenpartners. Niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven – Postacademische Vorming Multidisciplinair Forensisch Onderzoek, 2003, 37 blz.

POWELL, T. Skeleton Sleuth: A Forensic Science Activity. internet, Carolina Biological Cy. ([http://www.carolina.com/calendar\\_activities/2001/0108\\_skull.asp](http://www.carolina.com/calendar_activities/2001/0108_skull.asp))

PRIEELS, F. Antropometrische schedelmetingen als hulp bij gelaatsreconstructies op onbekende schedels. Niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven – Postacademische Vorming Multidisciplinair Forensisch Onderzoek, 2003, 19 blz.

RHINE, J.S. and MOORE, C.E., Reproduction Tables of facial tissue thickness of American caucasoids. Forensic Anthropology: Maxwell Museum Technical Series 1, Albuquerque, 1984.

ROOSEN, A. Laboratoria voor technische en wetenschappelijke politie. Kruispunten van multidisciplinair forensisch onderzoek en de hiermee gepaard gaande nood aan specialisatie en modernisering. niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven – Postacademische Vorming Multidisciplinair Forensisch Onderzoek, 2002, 23 blz.

SCHLATTER, J. Identifying Remains: Some notes on methods and procedures. internet, 2 januari 1999. (<http://www.miafacts.org/identifi.htm>)

TAYLOR, K.T. *Forensic Art and Illustration*. internet, CRC Press, 2000. (<http://www.fcso.org/art/2d.html>), (<http://www.fcso.org/art/3d.html>) (<http://www.karenttaylor.com/FOR3dfacial.html>)

TOEGEPASTE SOCIALE GERONTOLOGIE NIJMEGEN. MRI (Magnetic Resonance Imaging) Two-Dimensional Facial Reconstruction. internet. (<http://www.btsg.nl/infobulletin/dementie/mri-scanner.html>)

TOROK, J. *Putting Faces on History – Florence County Forensic Artist Reconstructs History*, internet. (<http://www.forensicartist.com/facesfrompast.html>)

TYRRELL, A., EVISON, M., CHAMBERLAIN, A. and GREEN, M. Forensic Three-Dimensional Facial Reconstruction: Historical Review and Contemporary Developments. *Journal of Forensic Sciences*, vol. 42, nr. 4, 1997, blz. 653-661.

VAN DE KELFT, E. en VAN VYVE, M. Craniosynostose. internet. *Neuro-chirurgie A.Z. Maria Middelaers St-Niklaas*. ([www.neuro-chirurgie.org](http://www.neuro-chirurgie.org))

VANDENAENNE, Y., *Justitie en waardig afscheid nemen*, onuitgegeven thesis, Licentie in de criminologische wetenschappen, K.U.Leuven, 2001.

VANDENBRUAENE, M. Forensische antropologie. *Multidisciplinair forensisch onderzoek – Juridische en wetenschappelijke aspecten. Deel I*. Brussel, Politeia, 2003, blz. 251-263.

VANDERSMISSEN, M. Een gezicht geven aan een schedel – Forensische gelaatsreconstructie bij de technische en wetenschappelijke politie. *De Standaard*, 17 mei 2002.

VANEZIS, M. and VANEZIS, P. Cranio-Facial Reconstruction in Forensic Identification – Historical Development and a Review of Current Practice. *Med Sci Law*, vol. 40, nr. 3, 2000, blz. 197-205.

VAN DE VOORDE, W., GOETHALS, J. en NIEUWDORP, M. *Multidisciplinair forensisch onderzoek – Juridische en wetenschappelijke aspecten. Deel I*. Brussel, Politeia, 2003. 544 blz.

VAN DE VOORDE, W., GOETHALS, J. en NIEUWDORP, M. Multidisciplinair forensisch onderzoek – Juridische en wetenschappelijke aspecten. Deel II. Brussel, Politeia, 2003. 485 blz.

VAN HOEVER, G. Forensic Facial Imaging. niet-gepubliceerde eindproef, Leuven, Katholieke Universiteit Leuven - Postacademische Vorming Multidisciplinair forensisch onderzoek, 2002, 22 blz.

VAN KASTEREN, J. Niet voor een gat te vangen: Meer zien met minder straling. internet, TU Delft  
(<http://www.delftintegraal.tudelft.nl/info/indexd53c.html?hoofdstuk=Artikel&ArtID=2717>)

VERMEULEN, L. Manuele forensische aangezichtsreconstructie. Belgisch tijdschrift voor tandheelkunde, nr. 60/3, 2005, blz. 227-236.