

Forensische Gesichtsweichteilrekonstruktion einer historischen Person

So sahen unsere Vorfahren aus!

Sven Becker^{*}, Jasmin Rosenfelder, Dirk Labudde

Zusammenfassung

Die Gesichtsweichteilrekonstruktion (GWR) stellt in Fällen nicht identifizierbarer Individuen oftmals die letzte Möglichkeit zur Personenidentifikation dar, wenn etablierte Identifizierungsverfahren, wie die DNA-Analyse und Daktyloskopie, keine Aussicht auf Erfolg bieten. Aus forensischer Sicht besteht das oberste Ziel einer GWR darin, ein möglichst genaues, wahrheitsgetreues Abbild des Individuums zu erstellen, welches dann in Form von Bildern als Grundlage einer Personenidentifizierung dienen kann. Für eine GWR stehen dabei eine Vielzahl von Vorgehensweisen und Methoden zur Verfügung. Jedoch hat in den letzten Jahren die digitale GWR im Vergleich zur manuellen Vorgehensweise immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dies ist vor allem auf die Zeitersparnis und Flexibilität zurückzuführen. In der heutigen Zeit werden jedoch die Vorgehensweisen und Methoden einer GWR nicht ausschließlich im forensischen, sondern auch im archäologischen Rahmen, beispielsweise für eine Museumsausstellung, angewandt. Dabei steht weniger die Identifizierung im Vordergrund, als vielmehr die sinnbildhafte Darstellung einer Person zu deren Lebzeiten. Dadurch wird der Öffentlichkeit die Möglichkeit gegeben, Vorfahren und historischen Persönlichkeiten direkt ins Gesicht zu sehen. In dieser Veröffentlichung soll die Vorgehensweise der forensischen GWR am Beispiel einer Rekonstruktion des Gesichtes einer historischen Person vorgestellt werden. Neben der Prozessvorstellung einer GWR wird ein Überblick über Voraussetzungen bis hin zu Visualisierungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Keywords: Forensik, Gesichtsweichteilrekonstruktion, 3D-Rekonstruktion, Forensische Anthropologie.

Dieser Artikel beinhaltet Teile der Veröffentlichung Becker et al. (2022).

1 Einleitung

Die Gesichtsweichteilrekonstruktion (GWR) ist eine Methode, die darin besteht, das Gesicht eines unbekanntem Verstorbenen direkt auf dessen Schädel oder einer Nachbildung davon zu rekonstruieren (Vanezis et al., 1989; Wilkinson, 2010). Hierbei erfolgen Rekonstruktionen für forensische und archäologische Zwecke gleichermaßen. Im forensischen Kontext besteht das Ziel einer GWR jedoch darin, möglichst genau das Abbild des unbekanntem Individuums zu rekonstruieren und die daraus resultierenden Ergebnisse für eine Identifizierung der Person zu nutzen, wohingegen im archäologischen Rahmen vielmehr eine sinnbildhafte Darstellung der Menschen zu deren Lebzeiten im Vordergrund steht. Anwendung kann eine forensische GWR in den Fällen finden, wenn typische Identifizierungsmethoden, wie

DNA-, Zahn- und Röntgendaten, nicht verfügbar sind, um die verstorbene Person zu identifizieren (M. A. Verhoff et al., 2006). Dies ist dann der Fall, wenn keinerlei antemortale Vergleichsdaten von einer möglichen infrage kommenden Person vorliegen, wodurch eine Zuordnung von menschlichen Überresten zu einer bestimmten Person stark eingeschränkt ist (M. Verhoff et al., 2013). Neben der Anwendung einer forensischen GWR zur Aufklärung der Identität einer unbekanntem verstorbenen Person, nimmt die Bedeutung dieser Methode für die Aufarbeitung historischer Funde in den letzten Jahren immer mehr zu. Insbesondere Museen stellen des öfteren Gesichtsweichteilrekonstruktionen historischer Funde längst vergangener Zeiten aus, um der breiten Öffentlichkeit und der Fachwelt die Möglichkeit zu geben, zu sehen, wie unsere Vorfahren einst aussahen. Trotz der lebensgetreuen und realistischen Rekonstruktion eines Gesichtes handelt es sich nur um eine Annäherung des wahren Erscheinungsbildes. Diese Annäherung muss dennoch objektiven Kriterien folgen, insbesondere hinsichtlich der korrekten Darstellung von Haut-, Augen- und Haarfarbe des jeweiligen Individuums. Hierfür können Literaturrecherchen, aber auch molekularbiologische Analysen der Knochenfunde erfolgen. Mit der Rekonstruktion eines historischen Fundes rückt die Vergangenheit ein Stück näher und der Betrachtende erhält gefühlsmäßig die Möglichkeit, einer realen Person gegenüberzustehen und eine Verbindung zu ihr und ihrer Geschichte herzustellen.

In Abschnitt 2 findet sich eine Übersicht etablierter sowie aktueller Methoden im Bereich der forensischen Gesichtsweichteilrekonstruktion, gefolgt von der Vorstellung des Fallbeispiels in Abschnitt 3. Eine ausführliche Beschreibung der methodischen Vorgehensweise der hier angewandten GWR findet sich in Abschnitt 4. Abschließend erfolgen eine Einordnung der Ergebnisse in die Ermittlungspraxis in Abschnitt 5 sowie ein Ausblick auf weiterführende Forschungsvorhaben in Abschnitt 6.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Eine fundamentale Basis einer jeden forensischen Gesichtsweichteilrekonstruktion bilden grundlegende Vorgehensweisen, wie die Erstellung eines biologischen (bioanthropologischen) Profils des unbekanntem Individuums sowie seit Jahren etablierte Rekonstruktionmethoden. Hilfreiche Informationen zum biologischen Profil können durch Anwendung klassischer und moderner Methoden der forensischen Anthropologie zur Begutachtung sterblicher Überreste unbekanntem Individuen erhalten werden. Im Detail beinhaltet das biologische Profil u.a. Angaben zu Geschlecht, Alter und ethnischer Herkunft (Gottschaldt, 2003; Uerlings, 1991; M. A. Verhoff et al., 2006). Als Standardverfahren gelten morphognostische und osteometrische Analysen der Knochen, vor allem des Schädels, Beckens und

einzelner Langknochen, die durch Begutachtung und Vermessung geschlechtsspezifischer Merkmale, wie Ausprägungen der Augenhöhlen, die Zuordnung zu einem Geschlecht ermöglichen. Zusätzlich können altersspezifische Merkmale beispielsweise die Racemisierung von Asparaginsäure im Wurzelknochen der Zähne, Verwachsungen von Knochenfügen sowie Analysen der histologischen Struktur der Knochen eine Schätzung des Sterbealters ermöglichen (Babacan et al., 2021). Die morphognostische Geschlechtsbestimmung am Skelett erfolgt durch die Beurteilung sexualdimorpher skelettaler Merkmale, beispielsweise anhand des Schädels oder Beckens, die besondere Träger dieser Sexualdimorphismen sind (M. A. Verhoff et al., 2006). Die Merkmale werden für die morphognostische Beurteilung hinsichtlich ihres Ausprägungsgrades in eine Skala eingeordnet, die von einem hyperfemininen über einen femininen, indifferenten, maskulinen bis zu einem hypermaskulinen Ausprägungsgrad reicht. Die Gesamtschau aller beurteilten Merkmale führt zur Diagnose weiblich, männlich oder indifferent (M. A. Verhoff et al., 2006). Um dem Vorwurf der Subjektivität morphognostischer Methoden zu begegnen, wurden die osteometrischen Methoden entwickelt (Stewart, 1954). Für die Geschlechtsdiagnose hat sich vor allem die Diskriminanzanalyse durchgesetzt (Giles & Elliot, 1963). Dazu werden geschlechtsspezifische Längen- und Distanzmaße an dem knöchernen Material erhoben und daraus sogenannte Diskriminanzfunktionen entwickelt. Diese wiederum erlauben eine Zuordnung eines möglichen Geschlechts zu dem unbekanntem Individuum. Als Unterstützung zu den klassischen Methoden erfolgt zusätzlich die Anwendung moderner Methoden wie die DNA-Analyse (zur Geschlechtsbestimmung) oder Radiokarbonmethode, um Rückschlüsse auf das Sterbealter oder den Zeitraum, in dem das Individuum gelebt hat, schließen zu können. Insbesondere im forensischen Kontext gilt es herauszufinden, ob an den sterblichen Überresten Einwirkungen von Gewalt festzustellen sind, um so auch die Umstände des Todes analysieren zu können. Neben der Erstellung des biologischen Profils bilden, wie eingangs erwähnt, auch die Rekonstruktionsmethoden, die sich seit Jahren etabliert haben, eine essentielle Grundlage einer jeden Gesichtswichteilrekonstruktion. Insgesamt existieren drei derartiger Methoden. Bei der ersten handelt es sich um die Russische Methode, auch bekannt als Gerasimov-Methode, die auf einer rein muskulären Rekonstruktion des Gesichtes unter Berücksichtigung einzelner Gesichtsmuskeln und Muskelansätze an den Knochenstrukturen basiert (Ullrich & Stephan, 2011; Verzé, 2009). Die zweite Methode ist die Amerikanische Methode von Betty Pat. Gatliff und Clyde Snow, die als Grundprinzip die Kenntnis und Anwendung kranio-metrischer Referenzmarken, sogenannten anatomischen Weichteilmarken, die für das Alter, das Geschlecht und die ethnische Zugehörigkeit der Person, deren Gesicht rekonstruiert werden soll, charakteristisch sind, verwendet (De Greef et al., 2006). Die anatomischen Weichteilmarken werden an spezifischen Punkten am Schädel aufgebracht und die Zwischenräume aufgefüllt, um die Merkmale des Gesichtes herauszuarbeiten. (Neave & Prag, 1997; C. N. Stephan, 2015; Verzé, 2009) Bei der letzten Methode handelt es sich um die britische oder Manchester-Methode von Richard Neave, die eine Kombination aus russischer und amerikanischer Technik beinhaltet, um eine erfolgreiche Vorgehensweise zur Rekonstruktion von Gesichtern zu schaffen (Wilkinson, 2004, 2010; Wilkinson & Neave, 2003). Das menschliche Gesicht

kann im Anschluss manuell oder in einer virtuellen Umgebung auf Grundlage einer der drei Methoden rekonstruiert werden. Gerade in den letzten Jahren haben digitale Vorgehensweisen im Vergleich zur manuellen GWR immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dies ist nicht zuletzt auf eine zeitliche Ersparnis und hohe Flexibilität zurückzuführen, sowie insbesondere auf die Möglichkeit, einzelne Prozessschritte der Rekonstruktion durch Automatisierungen zu optimieren. Um jedoch eine computergestützte Rekonstruktion in einer virtuellen Umgebung durchführen zu können, sowie aus ethischen Gründen auch bei manuellen Rekonstruktionen, müssen zunächst die sterblichen Überreste, insbesondere der Schädel, digitalisiert bzw. repliziert werden. Hierfür können unterschiedliche Vorgehensweisen, wie Photogrammetrie, Laserscanning, bildgebende Verfahren sowie 3D-Drucktechniken eingesetzt werden. (Baldasso et al., 2021; Guyomarc'h et al., 2014; Jayakrishnan, 2021; Marić et al., 2020; Miranda et al., 2018; Stanciu et al., 2020) Vor allem photogrammetrische Vorgehensweisen zur Erstellung von Digitalisaten gewinnen, neben bildgebenden Verfahren, wie CT-Scans, immer mehr an Bedeutung (Donato et al., 2020; Lussu & Marini, 2020; Omari et al., 2021; Santoro et al., 2017). Für die Verarbeitung der erhobenen Daten in Form von Bild- und Videoaufnahmen bzw. Schnittbildern bei CT-Scans stehen eine Vielzahl von Softwareapplikationen aus dem kommerziellen sowie Open-Source-Bereich zur Verfügung ("Agisoft Metashape", 2022; "ALICEVISION: Photogrammetric Computer Vision Framework", 2022; "InVesalius", 2022; Omari et al., 2021). Eine weitere Möglichkeit der Digitalisierung stellen Laserscanner dar, die abhängig der zu digitalisierten Objekte, ebenfalls zahlreich eingesetzt werden (Kogan et al., 2020; Petleshkova et al., 2019; Pfeuffer, 2018; Toneva et al., 2017). Je nach Asservat und zugrunde liegender Technik können so durch Einsatz verschiedenster Methoden qualitativ hochwertige Digitalisate von sterblichen Überresten erstellt werden, die die Grundlage für computergestützte Rekonstruktionen bilden. Diese werden u.a. in der Open-Source Software Blender durchgeführt, eine 3D-Suite, die die gesamte 3D-Pipeline der Modellierung, Rigging, Animation, Simulation, Rendering, Compositing und Motion Tracking abdeckt (Baldasso et al., 2021; Blender Foundation, 2022; Zanatta et al., 2018). Der besondere Vorteil derartiger Applikationen liegt in der stetigen Erweiterbarkeit bereits integrierter Funktionen durch eigens entwickelte Skripte und Module, sogenannter Add-ons, wie im Rahmen dieser Publikation. Wie auch bei der manuellen Vorgehensweise erfolgt im virtuellen Bereich unter Anwendung einer der vorgestellten Rekonstruktionsmethoden die Herausarbeitung des Gesichtes. Hilfreich sind hierbei etablierte Vorgehensweisen für die Positionierung der Augäpfel und Erstellung von Gesichtsmarkmalen, wie Nase und Mund (Rynn et al., 2010; C. N. Stephan et al., 2003; C. Stephan & Murphy, 2008; Wilkinson, 2010). Unabhängig der Anwendung einer manuellen oder digitalen Vorgehensweise können so Rekonstruktionsergebnisse erzielt werden, mit deren Hilfe in der Vergangenheit bereits zahlreiche unbekannte Verstorbene identifiziert werden konnten. Dies bedeutet, dass manuelle Rekonstruktionen nach wie vor erfolgreich eingesetzt werden. Von besonderer Bedeutung ist, dennoch zu analysieren, welche Vorgehensweisen zur Erstellung von Digitalisaten optimale Ergebnisse liefern, inwiefern manuelle Ansätze noch weiter digitalisierbar sind und bereits bestehende digitale Vorgehensweisen optimiert werden können, um bislang erreichte

Maße an Genauigkeit und Plausibilität erstellter Gesichtswichteilrekonstruktionen verbessern zu können. Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen dieser Publikation die Vorstellung eines optimierenden Prozesses einer forensischen Gesichtswichteilrekonstruktion anhand eines historischen Falles bezugnehmend zu Becker et al. (2016).

3 Informationen über das vorliegende Individuum

Bei dem vorliegenden Individuum handelt es sich um mesolithische menschliche Überreste aus Wöllersdorf in Niederösterreich. Der Schädel dieses Fundes war stark fragmentiert, die Schädelbruchstücke erlaubten weitgehend die Rekonstruktion der Calotte, so dass einige Maßpunkte für anthropologische Analysen gewonnen werden konnten (siehe Abbildung 1). Die Beurteilung der knöchernen Überreste sowie des Zustandes des Gebisses, insbesondere der Zahnabration und Alveolarresorption, ergab für das vorliegende Individuum aus Wöllersdorf ein Sterbealter im späten adulten Bereich, von 31-40 Lebensjahre. Die deutliche Robustheit des Schädels, vor allem der Überaugenregion, ermöglichte die Zuordnung zum männlichen Geschlecht. Mit Hilfe der Radiokarbonmethode wurde die Lebenszeit auf 8.835-8.775 Jahre vor heute datiert. Eine rechtsmedizinische Untersuchung des Schädels ergab zwei wichtige Anhaltspunkte hinsichtlich möglicher Gewalteinwirkungen. Am linken Scheitelbein zwischen dem Scheitelbeinhöcker und der Sagittalnaht befand sich eine Knochennarbe. Eine genauere Analyse ergab, dass es sich hierbei möglicherweise um eine Verletzung handeln könnte, die schon längere Zeit vor dem Ableben des Mannes erfolgte und sorgfältig behandelt wurde. Ob eine Fremdeinwirkung oder Eigenverschulden, wie ein Sturz, die Verletzung hervorrief, kann jedoch an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden. Viel eher lässt sich jedoch Fremdverschulden bei genauerer Betrachtung der Zertrümmerungsspuren am Schädel vermuten. Neben Zertrümmerungen wiesen einige Bereiche des Schädels Defekte, Impressionen und Frakturlinien auf. Denkbar wäre, dass an diesen Stellen großflächig einwirkende Kräfte den Schädel getroffen haben, womöglich mit einem stumpfen Gegenstand. In der Impressionsform und -dimension, insbesondere auf der linken Parietalseite des Schädels, lässt sich scheinbar ein Schlaggegenstand abzeichnen. Zusammengefasst konnte festgestellt werden, dass diese Verletzungen scheinbar auf eine Gewalteinwirkung zurückzuführen sind, die zum Tod des Mannes aus Wöllersdorf geführt haben.

4 Vom Modell zum Gesicht – Vorgehensweisen einer forensischen Gesichtswichteilrekonstruktion

4.1 Recherche, Faktensammlungen und Voraussetzungen

Vor der eigentlichen Rekonstruktion bedarf es einer umfangreichen Recherche und Faktensammlung, um so viele Informationen über das vorliegende Individuum zu erhalten, wie möglich. In den meisten Fällen werden seitens von Ermittlungsbehörden und der Rechtsmedizin Hinweise in Form von Fotoaufnahmen der Auffindsituation am Tatort und Obduktionsberichten zur Verfügung gestellt. Letzteres beinhaltet vor allem Informationen über



Abbildung 1: Darstellung des Schädels des Wöllersdorfer Individuums.

Deutlich zu erkennen sind die Fragmentierungen im Bereich des Gesichtsschädels sowie der fehlende Unterkiefer.

das biologische Profil des Individuums sowie mögliche Hinweise über die Todesumstände oder ggf. Gewalteinwirkungen. (Burrath, 2009) Zusätzlich zu bereitgestellten Informationen erfolgen Recherchen in Datenbanken mit Fotos von Personen unterschiedlichen Geschlechts und Alters, um es den Rekonstrukteur:innen zu ermöglichen, sich beispielsweise über Alterserscheinungen und altersspezifische Veränderungen einen Überblick verschaffen zu können (Grgic & Delac, 2022; University of Massachusetts, 2022). Zusätzlich dazu ist es essentiell, den sogenannten Zeitgeist bei den Recherchen zu berücksichtigen. Unter diesem Begriff sei beispielsweise eine typische Haartracht zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. 90er Jahre) zu verstehen. Dies ist vor allem bei Cold Cases oder historischen Rekonstruktionen, in dem vorliegenden Fall, von besonderer Bedeutung. Um eine Gesichtswichteilrekonstruktion prinzipiell zu ermöglichen, ist als wichtigste Voraussetzung das Vorhandensein eines weitgehend intakten Schädels mit Unterkiefer anzusehen. Eine Rekonstruktion eines Gesichtes ohne Unterkiefer ist im Prinzip möglich, führt jedoch zu keinen zufriedenstellenden Ergebnissen. Jedoch existieren mittlerweile Vorgehensweisen für Unterkieferrekonstruktionen, die dann wiederum eine Gesichtswichteilrekonstruktion ermöglichen, wie in dieser Publikation angewandt. Beispiele hierfür sind Babacan et al. (2021), Krogman und Iscan (1986) und Sassouni (1957). Ebenso müssen Verletzungen oder Frakturen am Schädel zuvor rekonstruiert werden (M. A. Verhoff, 2008). Neben diesen Verfahren der Informationsgewinnung sind außerdem die eingangs erwähnten Vorhersagemethoden für Gesichtsmarkere, wie Nasen- und Mundformen, essenziell.

4.2 Anatomische Weichteilmarker

Einen weiteren unabdingbaren Faktor stellen die bereits erwähnten anatomischen Weichteilmarker, sog. Landmarken, dar (Abbildung 2). Diese repräsentieren mittlere Weichteildicken an definierten anatomischen Punkten des Gesichtes bzw. Schädels (Guyomarc'h et al., 2014). Die durchschnittlichen Millimeterangaben wurden mithilfe wissenschaftlicher Messmethoden gewonnen und unterscheiden sich bei männlichen und weiblichen Personen sowie leptosomen und adipösen Personen. Eine besondere Bedeutung für

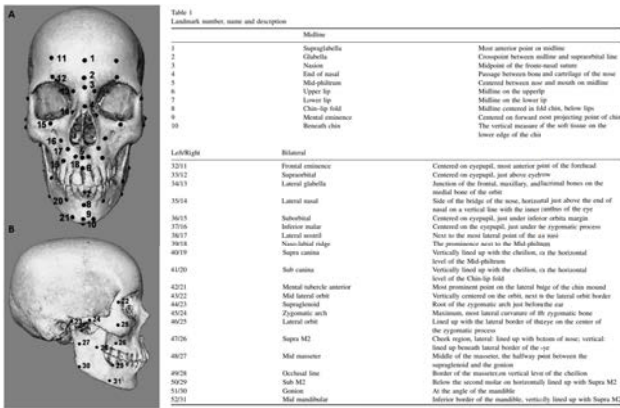


Abbildung 2: Darstellung anatomischer Weichteilmarker am Schädel.

In der Abbildung sind insgesamt 31 anatomische Weichteilmarker dargestellt, die eine zentrale Bedeutung in der forensischen Gesichtswerteilrekonstruktion (ausgenommen nach der Rekonstruktionsmethode von Gerasimov) besitzen. Die anatomischen Marker werden hinsichtlich deren Lage, d.h. frontal (A) und lateral (B) unterschieden. Eine detaillierte Bezeichnung der Landmarken ist der nebenstehenden Tabelle aus De Greef et al. (2006) zu entnehmen.

den Rekonstruktionsprozess liegt darin, festzustellen, inwieweit tatsächliche Werte, die für die optimale Rekonstruktion des Gesichts einer unbekanntenen toten Person notwendig sind, von den durchschnittlichen Weichteildicken an den jeweiligen anatomischen Punkten abweichen. Abweichungen ergeben sich u. a. aufgrund des Alterungsprozesses, Ernährungszustands und Lebensstils der zu identifizierenden Person. Die Daten über diese Weichteildicken wurden zu früheren Zeiten an Leichen erhoben (Kollmann & Büchly, 1898). Heutzutage stehen modernere Methoden wie Ultraschall, MRT und CT zur Verfügung. Vorteil der bildgebenden Verfahren ist zudem, dass diese die Möglichkeit eröffnen, Messungen an lebenden Menschen durchzuführen, um postmortale Veränderungen und Artefakte auszuschließen (Simpson & Henneberg, 2002). Zusätzlich können Unterschiede in den Weichteildicken bei sitzender und liegender Körperposition betrachtet werden (Werner, 2010). In der heutigen Zeit existieren zahlreiche Publikationen, die Angaben über Weichteildicken unterschiedlicher Ethnien, Geschlechter und Altersklassen liefern (De Greef et al., 2006; Rhine et al., 1982). Eine Übersicht der anatomischen Weichteilmarker ist in der Abbildung 2 dargestellt.

4.3 Prozess der computergestützten forensischen Gesichtswerteilrekonstruktion

4.3.1 Allgemeiner Prozessablauf nach Becker et al. (2016)

Der Prozess der forensischen Gesichtswerteilrekonstruktion auf Basis einer computergestützten Vorgehensweise teilt sich in die Bereiche Digitalisierung des zugrunde liegenden Skelettmaterials, Informationsbeschaffung, Prozess der Modellierung sowie Plausibilitätsprüfung ein (Abbildung 3). Die Datengrundlage einer GWR bilden u.a. Foto-

und Videoaufnahmen bzw. Daten aus bildgebenden Verfahren. Anthropologische und molekularbiologische Verfahren liefern hilfreiche Informationen zum biologischen Profil des unbekanntenen Individuums. Ebenso Asservate, wie Kleidungsstücke sind ein zusätzlicher Informationsgewinn. Nach erfolgter Informationsbeschaffung und Digitalisierung der sterblichen Überreste erfolgen die eigentlichen Rekonstruktionsschritte innerhalb der entsprechenden Softwareapplikationen. Die Positionierung der anatomischen Weichteilmarker, die Modellierung einzelner Gesichtsmerekmale sowie die Modellierung altersspezifischer Merkmale bilden dabei die zentralen Prozessschritte. Zur Optimierung des Rekonstruktionsprozesses wurden diese Prozessschritte aufbauend auf den Vorarbeiten von Becker et al. (2016) teilweise automatisiert. Nach erfolgter Rekonstruktion der Gesichts- und Altersmerkmale wird jedes Modell durch Einbezug weiterer Details, wie Accessoires und Haartrachten, individualisiert und einer abschließenden Plausibilitätsprüfung unterzogen. Eine detaillierte Übersicht über die einzelnen Prozessschritte, inklusive der bereits angesprochenen Optimierungen, ist der nachfolgenden Abbildung 3 zu entnehmen. Der vorgestellte Prozess bezieht sich dabei ausschließlich auf eine computergestützte Vorgehensweise.

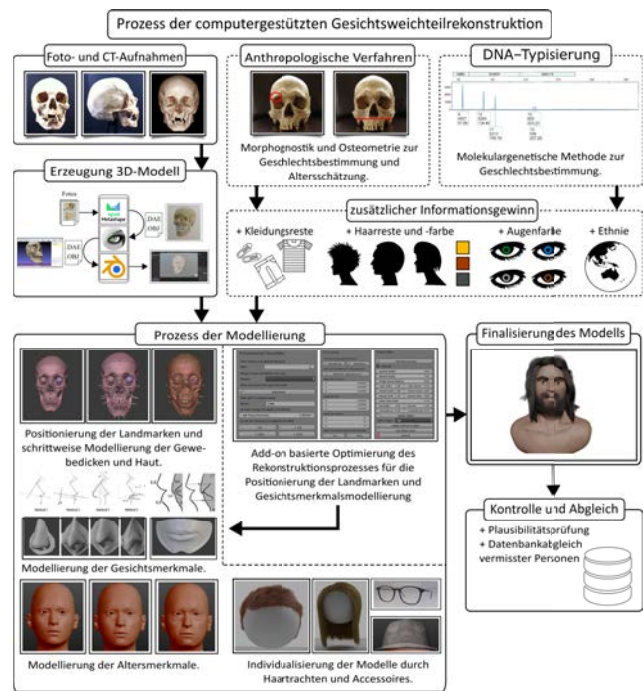


Abbildung 3: Darstellung des Prozesses einer computergestützten forensischen Gesichtswerteilrekonstruktion.

4.3.1.1 Digitalisierung des zugrunde liegenden Skelettmaterials

In der Abbildung ist der gesamte Prozess der computergestützten forensischen Gesichtswerteilrekonstruktion dargestellt. Dieser unterteilt sich in die Bereiche Digitalisierung des zugrunde liegenden Skelettmaterials, Informationsbeschaffung, den Prozess der Modellierung sowie Plausibilitätsprüfung (in Anlehnung an Becker et al. (2016)).

4.3.2 Optimierung des bestehenden Rekonstruktionsprozesses

Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, erfolgte eine Optimierung des bereits bestehenden Rekonstruktionsprozesses von Becker et al. (2016) durch die Entwicklung software-spezifischer Skripte und Module, sogenannter Add-ons. Die Entwicklung erfolgte in der Softwareapplikation Blender, die die entsprechenden Funktionen bereits beinhaltet. Bei der verwendeten Programmiersprache handelte es sich um Python. Ziel der Entwicklung der Add-ons war es, den Prozess der Rekonstruktion durch eine teilweise Automatisierung einzelner Prozessschritte hinsichtlich der Zeit, Flexibilität und Anwendbarkeit zu optimieren. Letzteres hat vor allem den Vorteil, dass den Anwender:innen auch ohne tiefgreifende Kenntnisse im Umgang mit derartigen Softwareapplikationen eine zielgerichtete Gesichtswichteilrekonstruktion ermöglicht werden wird. Konkret wurden Add-ons für folgende Prozessschritte erstellt: Add-on zum Platzieren der anatomischen Weichteilmarker, Add-on zum Erstellen von Augenmodellen, Add-on zum Erstellen einer Nase sowie Add-on zum Erstellen eines Mundes. Beispielhaft vorgestellt werden die Add-ons zum Platzieren der anatomischen Weichteilmarker und zum Erstellen von Augenmodellen.

Add-on zum Platzieren der anatomischen Weichteilmarker

Bei dem ersten Add-on, bezeichnet als Enchanted Soft Tissue Marker (kurz: ESTM) handelt es sich um eine Optimierung des Erstellens und Platzierens der anatomischen Weichteilmarker. In vorangegangenen Gesichtswichteilrekonstruktionen war es zunächst notwendig, entsprechende Literatur, mit für das vorliegende Individuum optimalen Weichteildicken, außerhalb der Softwareapplikation Blender vorzubereiten. Je nach Alter und Geschlecht sowie weiteren Faktoren, wie ein leptosomer oder adipöser Körperbau, existieren Datenblätter mit durchschnittlichen Weichteildicken, erhoben von zahlreichen Forschungsgruppen. Neben diesen Vorbereitungen waren Prozessschritte wie das manuelle Erstellen eines jeden Weichteilmarkers hinsichtlich dessen Länge sowie das Aufbringen auf dem Schädel selbst sehr zeitaufwendig. Auch nachfolgende Änderungen waren nur durch mehrere software-spezifische Zusatzschritte möglich. Das vorliegende Add-on ESTM bietet die Möglichkeit, präferierte Markerlisten in die Software zu importieren. Auf diese Weise können Anwender:innen abhängig von den zur Verfügung stehenden Informationen zum biologischen Profil des vorliegenden Individuums, die am besten geeigneten Daten zu den anatomischen Weichteilmarkern wählen. Zur Auswahl stehen u.a. die Daten von De Greef et al. sowie Rhine and Moore. Die Daten selbst befinden sich in einem .csv-Format, welches durch das Add-on eingelesen wird, und sind unterteilt in *depth*, *name* und *description*. Über ein Auswahlménü können die Weichteilmarker ausgewählt und importiert werden.

Add-on zum Erstellen von Augenmodellen

Bei der zweiten Erweiterung handelt es sich um das Eye Add-on. Bei jeder forensischen Gesichtswichteilrekonstruktion erfolgen Prozessschritte der Erstellung und Einpassung der Augen. Hierfür können einfache geometrische Grundkörper in der Softwareapplikation Blender als Ausgangsmodelle verwendet und durch Modellierungsschritte zu Augenmodellen verändert werden. Um diese Prozessschritte zu

optimieren, ist es mit Hilfe des Add-ons möglich, ein Modell eines rechten Auges an der Position des 3D-Cursors in der Softwareapplikation Blender zu erstellen, dessen Position, Größe und Rotation nachträglich über entsprechende Schieberegler geändert werden kann. Um das zweite, also das linke Auge zu erstellen, müssen Anwender:innen nur den 3D-Cursor an die entsprechende Position setzen und das Auge dann ebenfalls über eine entsprechende Funktion erstellen. Dieses Augenmodell stellt eine exakte Kopie des rechten Augapfels dar, möglich durch Duplizierungs- und Spiegelungsfunktionen. Anschließend ist es möglich, den Augenringmuskel an beiden Augen hinzuzufügen und den Abstand zwischen den Augen anzupassen.

4.3.3 Vorteile einer computergestützten Vorgehensweise

Zusammenfassend soll in diesem Kapitel auf die Vorteile der computergestützten Vorgehensweise eingegangen werden. Im Wesentlichen können durch moderne Methoden der Digitalisierung, wie u.a. durch die erwähnte Photogrammetrie, innerhalb weniger Minuten digitale Abbilder eines Schädels in Form dreidimensionaler Modelle erstellt werden. Diese dienen dann wiederum als Modellierungsgrundlage für weitere Prozessschritte. Es bedarf an dieser Stelle keiner aufwendigen Replizierung des Originals aus ethischen Gründen, da eine Modellierung stets auf dem Digitalisat und nicht auf dem Originalschädel vollzogen wird. Gerade in Fällen einer längeren Liegezeit der Individuen oder bei Opfern von immenser Gewalteinwirkung im Gesichtsbereich weisen aufgefundene Schädel vermehrt Fragmentierungen und Zerstörungen auf, die es vor dem eigentlichen Beginn der Arbeiten zu rekonstruieren gilt. Klassischerweise erfolgt dies durch Handmodellierungen unter Verwendung von Gips, Ton oder anderen Materialien. Computergestützte Ansätze bedienen sich dabei ähnlichen, jedoch weitaus flexibleren Vorgehensweisen. Wo bei klassischen Rekonstruktionen zum Teil fehlende Gesichtspartien nicht wiederherstellbar sind, ermöglichen Methoden, wie das computergestützte Morphing, neue Möglichkeiten fehlende Bereiche eines Gesichtsschädels zu rekonstruieren. Zu den essentiellen Faktoren einer Gesichtswichteilrekonstruktion zählen die anatomischen Weichteilmarker. Eine Ausnahme stellt die Russische Methode von Gerasimov aus dem Jahr 1971 dar, nach welcher lediglich die Anatomie des Schädels die Grundlage für eine Rekonstruktion bildet. Für die individuelle Ausgestaltung eines Gesichtes ist der Bezug zu diesen Markern unabdingbar, da jederzeit einige von diesen bewusst unter- oder überschritten werden, je nach vorhandenen Informationen zum vorliegenden Individuum. Aufgrund zahlreicher Visualisierungsfunktionen der Softwareapplikationen, die für eine Gesichtswichteilrekonstruktion Anwendung finden, lassen sich derartige Probleme sprichwörtlich mit einem Klick lösen. Dahingegen ist das Einhalten des Bezugs zu den anatomischen Weichteilmarkern bei klassischen Methoden zwar möglich, jedoch nur bedingt umsetzbar. Ein eher bei historischen Funden häufig auftretendes Problem sind nachträgliche Anpassungen der Modelle, gerade in Fällen nur spärlicher Informationsgrundlagen. Klassische Methoden weisen hier ganz klar nur eine bedingte Flexibilität auf, da bei ausgehärteten Gipsmodellen nicht ohne weiteres einzelne Gesichtsmarkere ausgetauscht und optimiert werden können, oder Haartrachten schnell einer Färbung unterzogen werden können. Durch Einsatz sogenannter digitaler Modellbibliotheken ist

es möglich, computer-generierte Modelle schnell und unkompliziert anzupassen, d.h. mit sehr geringem Aufwand zum Beispiel Haare einzufärben oder eine Nase zu verkleinern. Des Weiteren kann der computergestützte Rekonstruktionsprozess zum Teil durch entwickelte Skripte und Module in Form sogenannter Add-ons, insbesondere für die Auswahl und Positionierung der anatomischen Weichteilmarken sowie die Erstellung einzelner Gesichtsmerkmale, automatisiert werden. Zusammengefasst sei an dieser Stelle gesagt, dass klassische Methoden nach wie vor zielführend eingesetzt werden, computergestützte Ansätze jedoch Vorteile aufweisen, die es ermöglichen, mit wohl bekannten Problemen in diesem Bereich flexibler und zum Teil effektiver und effizienter umzugehen.

4.3.4 Vorgehensweisen im vorliegenden Fall des Wöllersdorfer Schädels

Digitalisierung der sterblichen Überreste

Als Grundlage der nachfolgenden Prozessschritte zur Gesichtswichteilrekonstruktion erfolgte eine Digitalisierung der vorliegenden sterblichen Überreste, genauer des Schädels durch Einsatz photogrammetrischer und bildgebender Verfahren. Aus erhobenen CT-Scans und photogrammetrischen Aufnahmen wurde ein Modell des Schädels berechnet.

Rekonstruktion eines nicht vorhandenen Unterkiefers

Für die Gesichtswichteilrekonstruktion ist ein größtenteils intakter Schädel, inklusive Unterkiefer, notwendig. Der Fund aus Wöllersdorf wies eine starke Fragmentierung des Schädels im Allgemeinen auf, der Unterkiefer selbst war nicht vorhanden. Einige, für die Gesichtswichteilrekonstruktion essentielle, Knochenteile waren nur teilweise vorhanden. Um dennoch eine Rekonstruktion durchführen zu können, wurden die fehlenden Knochenteile sowie der Unterkiefer rekonstruiert und dadurch eine Basis für eine Rekonstruktion geschaffen. Wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben, stellt das Vorhandensein von Fragmentierungen und Zerstörungen nur bedingt ein Problem dar, da computergestützte Ansätze, wie Morphing, eingesetzt werden können, um fehlende Bereiche des Gesichtsschädels wiederherzustellen. Voraussetzung sind wissenschaftlich fundierte Kenntnisse darüber, wie und mit welchem methodischen Vorgehen fehlende oder zerstörte Bestandteile rekonstruiert werden können. Der bei diesem Fund nicht vorhandene Unterkiefer wurde nach den Erkenntnissen von Krogman und Iscan (1986) und Sassouni (1957) rekonstruiert. In der Vergangenheit konnten mit dieser Methode zielführende Ergebnisse erzielt werden. Außerdem wurde von Matlock et al. (2014) eine Kieferrekonstruktion eines Schädels einer Frau aus der Kupfersteinzeit erstellt, die ebenfalls auf die Krogman und Sassounis Methode zurückgreift. Auch Mahoney et al. (2012) rekonstruierten den Schädel von Angelo Poliziano, einem italienischen Dichter und Humanist aus dem 15. Jahrhundert, mittels Sassounis kephalometrischer Analyse (Sassouni, 1957). Ismail und Sotereanos (1969) erstellten eine Analyse über Fehlstellungen des Ober- und Unterkiefers und beschrieben die (schon von Krogman und Sassouni festgelegten) Beziehungen zwischen diesen ausführlich.

Nach der Methode von Sassouni und Krogman werden bestimmte Landmarken des Schädels verwendet, um den Unterkiefer zu rekonstruieren. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der Unterkiefer in Relation zum Rest des

Schädels wohlgeformt ist. Da die Rekonstruktion nach den anatomischen Landmarken *Nasion*, *Spina nasalis* und dem Punkt *Sp* (hinterster (posterior) Punkt) an der Kontur der *Sella Turcica* erfolgt (Ismail & Sotereanos, 1969), wurden diese Punkte anhand der vorhandenen Schädeltopologie approximiert. Eine exakte Bestimmung war aufgrund des Fragmentierungsgrades in diesem Bereich nicht möglich. Anschließend wurden zwei Senkrechten frontal entlang der äußeren Ränder der Orbitale erstellt. Diese stellen jeweils den äußersten und tiefsten Punkt des *Gonions* auf beiden Seiten dar. Wird ein gleichseitiges Dreieck mit der Spitze am *Nasion* (Frontal) zwischen den Senkrechten aufgespannt, so gibt die Basis des Dreieckes die *Gonion*-Ebene, welche parallel zur Frankfurter Horizontalen (Matlock et al., 2014) verläuft. Daraufaufgehend wurde eine horizontale Ebene durch den *Spina nasalis*, sowie weitere Ebenen wie folgt gezogen (Ismail & Sotereanos, 1969): Palatal Plane: Ebene, die horizontal durch den Nasendorn (ANS) verläuft, Occlusal Plane: Ebene, die entlang des Gebisses führt, Anterior Cranial Base Line: Ebene, die parallel zur supraorbitalen Ebene verläuft. Idealerweise (bei einem wohlgeformten Schädel) sollten sich alle Ebenen schneiden. Jedoch variiert hier die Occlusal Plane. Laut Y. H. Ismail ist eine divergente Ebene zu vernachlässigen – sollte jedoch mehr als eine Ebene divergent sein, so muss der Schnittpunkt approximiert werden. In diesem Fall wurde der Schnittpunkt der Palatal Plane und der Anterior Cranial Base Line als Ursprungspunkt (O) dreier Bögen angenommen, die zu einem späteren Zeitpunkt die anatomischen Landmarken *Pognion* und *Gonion* festlegen. Der Bogen A wurde von O aufgezogen und durch den anatomischen Punkt *Nasion* geführt und sollte idealerweise durch die Spitze des Nasendorns verlaufen. Da dies nicht gegeben war, wurde ein zweiter Bogen B mit dem gleichen Ursprungspunkt erstellt, der ANS tangierte. (Ismail & Sotereanos, 1969) Ein letzter Bogen C wurde durch den Punkt *Sp* geführt. Der Schnittpunkt des Bogens C und der *Gonion*-Plane legte das *Gonion* fest. Zuletzt wurde eine letzte Ebene (Mandibular Plane) durch den Ursprungspunkt O und den anatomischen Punkt *Gonion* gezogen, um den Winkel des Kiefers und das *Pognion* (Schnittpunkt der Mandibular Plane und des Bogens A) zu bestimmen. Die beschriebene Vorgehensweise wurde auf den Wöllersdorfer Schädel angewandt und eröffnete die Möglichkeit, ein neues Unterkiefermodell auf Basis der nun vorhergesagten anatomischen Landmarken zu erstellen bzw. eine Art Blaupause zu verwenden, auf deren Grundlage der fehlende Unterkiefer rekonstruiert werden konnte. In dem hier vorliegenden Fall wurde letzteres durchgeführt. Der Schädel des Jünglings aus Pöttching, ebenfalls ein historischer Fund neolithischer menschlicher Überreste in einem außergewöhnlich gut erhaltenem Zustand, diente als Rekonstruktionsgrundlage (Blaupause), da dieser im Vergleich zu rezenten Schädeln mit einem Leben in der Jungsteinzeit zeitlich näher an der Lebenszeit des Wöllersdorfer Individuums lag. Des Weiteren handelte es sich ebenfalls um ein männliches Individuum. Die Rekonstruktion des Unterkiefers wurde in der Modellierungssoftware Blender durchgeführt (Blender Foundation, 2022). Bei Blender handelt es sich um eine kostenlose Open Source-Suite für die 3D-Modellerstellung, welche die gesamte 3D-Pipeline - Modellierung, Rigging, Animation, Simulation, Rendering, Compositing, Motion Tracking und Videobearbeitung, umfasst. Alle Prozessschritte der Rekonstruktion des Unterkiefers, des Gesichtes und der nachfolgenden Visualisierung

erfolgten in dieser Software. Die Schädel der beiden Individuen lagen bereits als 3D-Modelle, d.h. digitale Zwillinge, vor. Für eine Rekonstruktion innerhalb von Blender werden sogenannte Szenen erstellt, in denen alle notwendigen Objekte gespeichert und Prozessschritte durchgeführt wurden. In einer solchen Szene wurden die beiden Schädel ausgerichtet und für weitere Prozessschritte, initial für die Unterkieferrekonstruktion des Wöllersdorfer Schädels, vorbereitet. Mit Hilfe besonderer Funktionen innerhalb der Modellierungssoftware wurde der Unterkiefer des Pötttschinger Schädels von diesem separiert und nach der oben beschriebenen Methode von Sassouni und Krogman an die damit vorhergesagten anatomischen Landmarken des Unterkiefers und der Morphologie des Schädels des Wöllersdorfer Individuums angepasst (Abbildung 4). Des Weiteren wurde über die Funktion des Morphings der Gesichtsschädel des Pötttschinger Schädels der Morphologie des Wöllersdorfer Schädels folgend eingepasst, um die fragmentierten Teile des Wöllersdorfer Schädels zu ergänzen (Abbildung 5). Dies erfolgte in Anlehnung an die Methode von Benazzi zur Rekonstruktion eines fragmentierten Schädels (Benazzi et al., 2009). Somit war es möglich, für den Wöllersdorfer Fund eine Gesichtsteilrekonstruktion durchzuführen.

Setzen anatomischer Weichteilmarker

Die Daten für die Weichteilmarker beruhen auf der Studie von De Greef et al. (2006). In dieser Studie wurden von 967 erwachsenen Kaukasieren Weichteildicken, unter Berücksichtigung des Alters und BMI's der Probanden:innen, gemessen. Anschließend wurden die Datensätze nach Altersklassen, beispielsweise von 18 bis 29 Jahre und 30 bis 39 Jahre, eingeteilt. Die Positionen der anatomischen Weichteilmarker am menschlichen Schädel wurden für die nachfolgende Rekonstruktion des Gesichtes ebenfalls aus De Greef et al. (2006) entnommen. Für die Rekonstruktion wurden die anatomischen Weichteilmarker der Altersklasse von 30 bis 39 Jahre gewählt und in Blender auf das 3D-Modell des Wöllersdorfer Schädels mit Hilfe des entwickelten Add-ons aufgebracht.

Rekonstruktion ausgewählter Gesichtsmarkere sowie Modellierung des Weichteilgewebes und der Haut

Die Rekonstruktion der Weichteile erfolgte anhand der approximierten Landmarken, die zuvor auf den Schädel aufgesetzt wurden, und den dazu korrespondierenden Weichteildicken. Die Augen wurden mit Hilfe des Add-ons erstellt und nach Bailey (2014) mittig in den Orbitalen, aber um wenige Millimeter vom Zentrum versetzt, platziert. Die einzelnen Muskeln wurden modelliert und dienten als Grundlage für die weitere Modellierung des Gesichtes. Da wichtige anatomische Landmarken, wie der Nasendorn und auch der Nasenrücken, am Schädel nicht bestimmt werden konnten, wurde die Nase anhand der anatomisch vorhandenen Schädeltopologie modelliert. Außerdem wurde auf die Nasenrekonstruktionsmethode (gerade bei der Breite der Nase) von Rynn et al. (2010) zurückgegriffen. Die Lippen wurden anhand des Aufbaus des Ober- und Unterkiefers approximiert, wobei angenommen wurde, dass es keine Fehlstellungen des Unterkiefers gab. Da es für die Lippen noch keine einheitliche Methode gibt, diese zu rekonstruieren (Wilkinson, 2010), wurde die Lippenform möglichst neutral und ethnien spezifisch modelliert. Laut Deng und Xu (2018) ist die helle Haut der Europäer schon mindestens seit 6500-4000 Jahren entwickelt. Auch Wilde et al. (2014) fanden

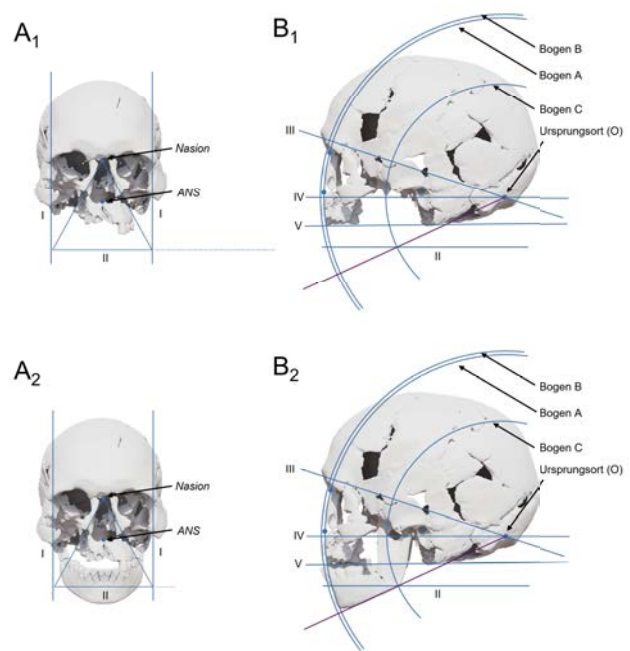


Abbildung 4: **Unterkieferrekonstruktion des Wöllersdorfer Individuums.**

(A₁) Darstellung des Wöllersdorfer Schädels in frontaler Ansicht mit Hilfslinien nach der Methode von Krogman und Iscan (1986) und Sassouni (1957) zur Vorhersage von anatomischen Landmarken am Unterkiefer als Grundlage zur Rekonstruktion von diesem. (B₁) Weitere Darstellung mit den konzentrischen Hilfslinien zur Unterkieferrekonstruktion in lateraler Sicht. Die Hilfslinien entsprechen folgenden Bezeichnungen: I - Senkrechte entlang der äußeren Ränder der Orbitale, II - Gonion-Ebene parallel zur Frankfurter Horizontalen, III - Anterior Cranial Base Line, IV - Palatal Plane, V - Occlusal Plane. (A₂) und (B₂) Darstellung des rekonstruierten Unterkiefers in frontaler und lateraler Perspektive.

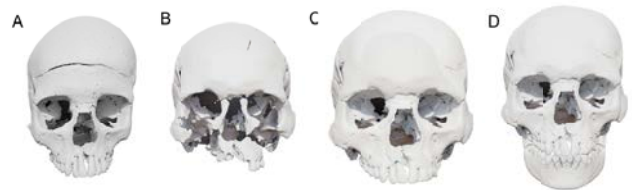


Abbildung 5: **Morphing des Wöllersdorfer Individuums.**

(A) Überlagerung des Pötttschinger Schädels mit dem des (B) Wöllersdorfer Fundes durch Morphing zur (C) Rekonstruktion von weiteren Fragmentierungen im Bereich des Gesichtsschädels in Anlehnung an die Methode von Benazzi et al. (2009) sowie (D) Darstellung des Wöllersdorfer Schädels nach der Unterkieferrekonstruktion und dem Morphing.

bei DNA-Analysen aus der Neusteinzeit und Bronzezeit heraus, dass die Depigmentierung des modernen Europä-

ers seit über 5000 Jahren stattfand. Jedoch gibt es kaum DNA-Analysen zur Hautfarbe in Mitteleuropa aus dem Mesolithikum. Deshalb kann angenommen werden, dass die Hautfarbe des Individuums zwischen der hellen (weißen) Komplexion und einer dunklen Komplexion liegt. Aus diesem Grund, wurde eine dunklere, aber kaukasische Hautbeschaffenheit angenommen. Eine Übersicht über die einzelnen Prozessschritte in der Modellierungssoftware Blender findet sich in der nachfolgenden Abbildung 6.

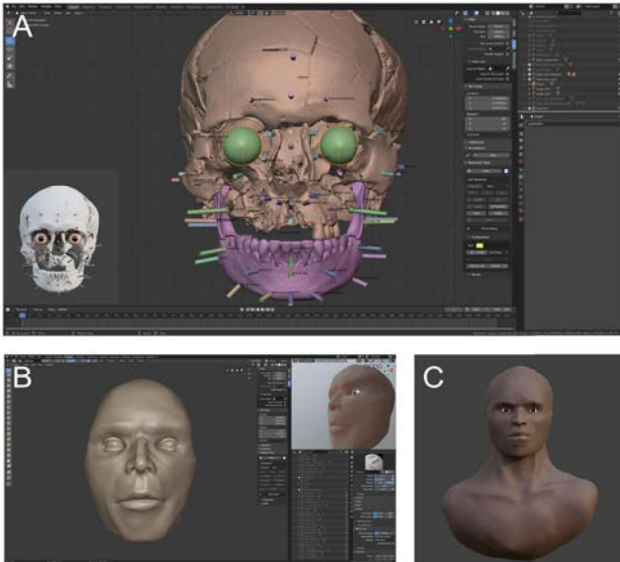


Abbildung 6: **Rekonstruktion des Gesichtes des Wöllersdorfer Individuums.**

(A) Darstellung des Wöllersdorfer Schädels in der Modellierungssoftware Blender. Auf dem Schädel sind die anatomischen Weichteilmarker aufgebracht und die Augen wurden, wie beschrieben, eingepasst. In der linken unteren Ecke ist das Modell in der Renderansicht dargestellt. (B) Auf dem Schädel wurden, nach den anatomischen Weichteilmarkern, das Weichteilgewebe sowie nach den beschriebenen Methoden einzelne Gesichtsmarkere modelliert. In der rechten oberen Ecke ist das Modell in der Renderansicht dargestellt. (C) Im nächsten Prozessschritt wurden Ansätze des Oberkörpers und Halses modelliert sowie die Haut auf das Modell übertragen.

Modellierung der Haare und Finalisierung des Gesichtes

Im letzten Prozessschritt wurden die Kopf- und Gesichtshaarung modelliert sowie das Gesicht finalisiert. Für die Modellierung der Behaarung standen verschiedene Funktionen in der Modellierungssoftware zur Verfügung. Es ist möglich, Haare, in unterschiedlicher Länge, Farbe und Beschaffenheit auf Modelle zu übertragen und daraus verschiedene Frisuren auszugestalten. In dem vorliegenden Fall des Wöllersdorfer Individuums wurde auf Grundlage von Recherchen eine dunkelbraune Haarfarbe gewählt. In Anlehnung daran erfolgte ebenfalls die Wahl einer braunen Augenfarbe. Die Struktur des Haares wurde als allgemein glatt, aber nicht sehr gepflegt modelliert. Der Bart wurde

ungeschnitten und kraus dargestellt. Zur realistischen Darstellung des finalen Gesichtes wurde dieses gerendert. Dieser finale Prozessschritt dient dazu, Lichtbrechungen exakt zu berechnen, wodurch Hauttexturen und Haare realistischer wirken. Eine Übersicht über die finale Gesichtsteilrekonstruktion ist in der nachfolgenden Abbildung 7 zu finden.



Abbildung 7: **Finale Gesichtsteilrekonstruktion des Wöllersdorfer Individuums.**

Darstellung der finalen Gesichtsteilrekonstruktion des Wöllersdorfer Individuums in der Modellierungssoftware Blender nach dem abschließenden Prozess des Renderings.

5 Einordnung des Modells in die Ermittlungspraxis

Das primäre Ziel einer forensischen Gesichtsteilrekonstruktion besteht in der Identifizierung des unbekanntes Individuums. Sobald das Gesicht final modelliert und individualisiert wurde, kann der Identifikationsprozess über unterschiedliche Vorgehensweisen begonnen werden. In erster Linie erfolgen Recherchen und Abgleiche mit Vermisstendatenbanken, gefolgt von medialer Verbreitung des Auffindens einer unbekanntes verstorbenen Person, in der Hoffnung, ermittlungsrelevante Hinweise aus der Zivilbevölkerung zu erhalten. In der heutigen Zeit stehen auch soziale Netzwerke zur Verfügung, um derartige Informationen der breiten Masse zukommen zu lassen. Aber nicht nur im forensischen Kontext der Personenidentifizierung, sondern auch zum Bereitstellen von Ergebnissen musealer Gesichtsteilrekonstruktionen können derartige Plattformen eingesetzt werden. Allen Vorgehensweisen als Voraussetzung gemein ist das Vorhandensein hochauflösender Fotoaufnahmen der angefertigten Gesichtsteilrekonstruktion, um eine bestmögliche Voraussetzung für den Identifikationsprozess und zum Bereitstellen von Ergebnissen zu bieten. Wo es vor einigen Jahren noch üblich war, in bereitgestellten Fotostudios Aufnahmen der finalen Gesichtsmodele anzufertigen, bieten digitale Rekonstruktionen und der virtuelle Raum zahlreiche Vorteile was das Generieren und Bereitstellen derartiger Informationen betrifft. Durch die Möglichkeiten, virtuelle Kameras gemäß allen technischen Parametern in gleicher Art und Weise, wie deren analoge Modelle, zu parametrisieren, können innerhalb kürzester Zeit hochauflösende Aufnahmen computergestützter Gesichtsteilrekonstruktionen, von Full HD, QHD bis hin zu UHD und darüber hinaus, erstellt werden. Dabei spielt die

Perspektive keinerlei Rolle, d.h. durch einfache Drehoperationen können die Modelle je nach Notwendigkeit präsentiert und erneute Aufnahmen berechnet werden. Durch moderne und gleichzeitig einfache Software- und Webapplikationen (wie Paint3D oder Sketchfab), die eine Visualisierung von 3D-Modellen per drag&drop ermöglichen, können zur Darstellung die Modelle selbst verwendet werden, ohne dass es notwendig ist, Aufnahmen von diesen anzufertigen. Eine Repräsentation von dreidimensionalen Daten ist in anderen Fachbereichen, wie der Archäologie, mittlerweile weit verbreitet und zeigt den deutlichen Mehrwert derartiger Präsentationsformen (Kersten et al., 2018; Rahaman et al., 2019). Durch die stetige Erweiterung der verwendeten Softwareapplikationen zur Visualisierung durch Optimierung der Licht-, Schatten- und Textureffekte können erzeugte Modelle und Szenen immer realistischer dargestellt werden, was einer Betrachtung durch Dritte nur zu Gute kommt. Abschließend sei zu erwähnen, dass herkömmliche Fotoaufnahmen den Zweck vollumfänglich erfüllen, der Einsatz computergestützter Visualisierungstechniken bieten jedoch eine wertvolle zusätzliche Hilfestellung im Zuge des Identifikationsverfahrens.

6 Ausblick und Forschungsbedarfe

Die forensische Gesichtswichteilrekonstruktion bietet vermehrt auch im archäologischen Rahmen, beispielsweise für Museumsausstellungen, die Möglichkeit, sinnbildhafte Darstellungen einer Person zu deren Lebzeiten, weit vor unserer Zeit, zu erstellen. Dabei finden sowohl allgemeine Vorgehensweisen als auch spezielle Rekonstruktionsmethoden, für einzelne Gesichtsmarkmal, die sonst bei forensischen Fällen eingesetzt werden, Anwendung. Vor allem die Automatisierung einzelner Prozessschritte wird in nachfolgenden Forschungsprojekten weiterentwickelt, um die Vorgehensweisen einer forensischen Gesichtswichteilrekonstruktion einem breiten Spektrum von Anwender:innen zur Verfügung zu stellen. Ziel dieser Arbeit war es, die bisher für unbekannt Verstorbenen zur Identifizierung eingesetzten Vorgehensweisen auf einen musealen Fall anzuwenden.

Literatur

Agisoft Metashape. (2022). Verfügbar 23. November 2022 unter <https://www.agisoft.com/>

ALICEVISION: Photogrammetric Computer Vision Framework. (2022). Verfügbar 23. November 2022 unter <https://alicevision.org/>

Babacan, S., Isiklar, S., Kafa, I. M., & Gokalp, G. (2021). Redesign of missing mandible by determining age group and gender from morphometric features of skull for facial reconstruction (approximation). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(5), 1–19.

Bailey, L. (2014). *Ask a Forensic Artist: Skulls, Suspects, and the Art of Solving Crime*. Honeybee Media.

Baldasso, R. P., Moraes, C., Gallardo, E., Stumvoll, M. B., Crespo, K. C., Strapasson, R. A. P., & de Oliveira, R. N. (2021). 3D forensic facial approximation: Implementation protocol in a forensic activity. *Journal of Forensic Sciences*, 66(1), 383–388.

Becker, S., Dreßler, J., Thiele, K.-H., & Labudde, D. (2016). Gesichtswichteilrekonstruktion mithilfe einer Open-Source-Software. *Rechtsmedizin*, 26(2), 83–89.

Becker, S., Rosenfelder, J., & Labudde, D. (2022). Forensische Gesichtswichteilrekonstruktion in der Anthropologie - Den Toten ein Gesicht geben [(im Druck)], *Schild von Steier 29*.

Benazzi, S., Stansfield, E., Milani, C., & Gruppioni, G. (2009). Geometric morphometric methods for three-dimensional virtual reconstruction of a fragmented cranium: the case of Angelo Poliziano. *International Journal of Legal Medicine*, 123(4), 333–344.

Blender Foundation. (2022). *Blender*. Verfügbar 23. November 2022 unter <https://www.blender.org/>

Burrath, S. (2009). *Visuelle Personenidentifizierung und polizeiliche Personenbeschreibung: Praxishandbuch* (1. Aufl.). Verlag für Polizeiwissenschaft.

De Greef, S., Claes, P., Vandermeulen, D., Mollemans, W., Suetens, P., & Willems, G. (2006). Large-scale in vivo Caucasian facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction. *Forensic Science International (FSI)*, 159, 126–146.

Deng, L., & Xu, S. (2018). Adaptation of human skin color in various populations. *Hereditas*, 155(1), 1–12.

Donato, L., Cecchi, R., Goldoni, M., & Ubelaker, D. H. (2020). Photogrammetry vs CT Scan: Evaluation of Accuracy of a Low-Cost Three-Dimensional Acquisition Method for Forensic Facial Approximation. *Journal of Forensic Sciences*, 65(4), 1260–1265.

Giles, E., & Elliot, O. (1963). Sex determination by discriminant function analysis of crania. *American Journal of Physical Anthropology*, 21(1), 53–68.

Gottschaldt, U. (2003). *Anthropologische Untersuchungen zur Geschlechtsbestimmung adulter Individuen sowie zur Altersschätzung subadulter Individuen* (Diss.). Universität Jena.

Grgic, M., & Delac, K. (2022). *FaceDB*. Verfügbar 23. November 2022 unter <https://www.face-rec.org/databases/>

Guyomarc'h, P., Dutailly, B., Charton, J., Santos, F., Desbarats, P., & Coqueugnot, H. (2014). Anthropological Facial Approximation in Three Dimensions (AFA 3D): Computer-Assisted Estimation of the Facial Morphology Using Geometric Morphometrics. *Journal of Forensic Sciences*, 59(6), 1502–1516.

InVesalius. (2022). Verfügbar 23. November 2022 unter <https://invesalius.github.io/download.html>

Ismail, Y. H., & Sotereanos, G. (1969). Archial analysis in cephalometric roentgenography for maxillomandibular deformities. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 21(2), 184–196.

Jayakrishnan, J. M. (2021). *Forensic facial reconstruction using cbct—a systematic review* [preprint] (2). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-437016/v2>

Kersten, T. P., Tschirschwitz, F., Deggim, S., & Lindstedt, M. (2018). Virtual reality for cultural heritage monuments—from 3d data recording to immersive visualisation. *Euro-Mediterranean Conference*, 74–83.

Kogan, I., Rucki, M., Jähne, M., Passos, D. E., Cvjetkovic, T., & Schmidt, S. (2020). One Head, many Approaches—Comparing 3D Models of a Fossil Skull. *Photogrammetrie—Laserscanning—Optische*

- 3D-Messtechnik: Beiträge der Oldenburger 3D-Tage, 22–31.
- Kollmann, J., & Büchly, W. (1898). *Die Persistenz der Rassen und die Reconstruction der Physiognomie prä-historischer Schädel*. Archiv f. Anthrop.
- Krogman, W. M., & Iscan, M. Y. (1986). Radiographic analysis (2. Aufl.). *The Human Skeleton in Forensic Medicine.*, 82–126.
- Lussu, P., & Marini, E. (2020). Ultra close-range digital photogrammetry in skeletal anthropology: A systematic review. *PLoS one*, 15(4), e0230948. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230948>
- Mahoney, G., Milani, C., Billinger, M., Lywood, V., & Gruppioni, G. (2012). Using a haptic device and virtual sculpting software for predicting a missing mandible: the case of Angelo Poliziano. *Journal of Biological Research-Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, 85(1). <https://doi.org/10.4081/JBR.2012.4170>
- Marić, J., Bašić, Ž., Jerković, I., Mihanović, F., Anđelinović, Š., & Kružić, I. (2020). Facial reconstruction of mummified remains of Christian Saint-Nicolosa Bursa. *Journal of Cultural Heritage*, 42, 249–254.
- Matlock, S., Darfler, M., & Tanasi, D. (2014). Forensic Facial Reconstruction of a Woman From Copper Age Sicily: The Case Study of Scintilia (Agrigento). In D. Gulli (Hrsg.), *Storie Sepolte. Riti, Culti e Vita Quotidiana All'alba del IV Millennio a.C., Regione Siciliana* (S. 67–80).
- Miranda, G. E., Wilkinson, C., Roughley, M., Beaini, T. L., & Melani, R. F. H. (2018). Assessment of accuracy and recognition of three-dimensional computerized forensic craniofacial reconstruction. *PLoS One*, 13(5), e0196770.
- Neave, R., & Prag, J. (1997). *Making Faces: Using Forensic and Archaeological Evidence*. Texas A&M University Press.
- Omari, R., Hunt, C., Coumbaros, J., & Chapman, B. (2021). Virtual anthropology? Reliability of three-dimensional photogrammetry as a forensic anthropology measurement and documentation technique. *International Journal of Legal Medicine*, 135(3), 939–950.
- Petleshkova, T., Manev, H., Sivkov, S., Timonov, P., Baltadjiev, A., & Raycheva, R. (2019). Study of the facial Morphology of young Bulgarians with 3D laser scan. *Trakia Journal of Sciences*, 17(2), 103–108.
- Pfeuffer, C. (2018). 3D-Modellierung von Skulpturen mit Laserscan und die quantitative Erfassung der 3D-Flächenmaße von Verwitterungsphänomenen. In R. Drewello (Hrsg.), *Risikoziffer: Umweltschäden an Marmor und Sandsteinskulpturen erfassen und objektiv bewerten* (S. 43–63). University of Bamberg Press. <https://doi.org/10.20378/irbo-51855>
- Rahaman, H., Champion, E., & Bekele, M. (2019). From photo to 3D to mixed reality: A complete workflow for cultural heritage visualisation and experience. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13, e00102.
- Rhine, J. S., Moore, C. E., & Weston, J. (Hrsg.). (1982). Facial Reproduction: Tables of Facial Tissue Thicknesses of American Caucasoids in Forensic Anthropology. *Maxwell Museum Technical Series*, 1.
- Rynn, C., Wilkinson, C. M., & Peters, H. L. (2010). Prediction of nasal morphology from the skull. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 6(1), 20–34.
- Santoro, V., Lubelli, S., De Donno, A., Inchingolo, A., Lavecchia, F., & Introna, F. (2017). Photogrammetric 3D skull/photo superimposition: a pilot study. *Forensic Science International*, 273, 168–174.
- Sassouni, V. (1957). *Palatoprint, Physioprint, and Roentgenographic Cephalometry, as New Methods in Human Identification: Preliminary Report*. Calhagan.
- Simpson, E., & Henneberg, M. (2002). Variation in soft-tissue thicknesses on the human face and their relation to craniometric dimensions. *American Journal of Physical Anthropology*, 118(2), 121–133.
- Stanciu, N.-V., Rosculeț, R.-T., Fetecau, C., & Tapu, C. (2020). Forensic Facial Reconstruction Using 3D Printing. *Materiale Plastice*, 57(4), 248–257.
- Stephan, C. N. (2015). Facial approximation—from facial reconstruction synonym to face prediction paradigm. *Journal of Forensic Sciences*, 60(3), 566–571.
- Stephan, C. N., Henneberg, M., & Sampson, W. (2003). Predicting nose projection and pronasale position in facial approximation: a test of published methods and proposal of new guidelines. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 122(3), 240–250.
- Stephan, C., & Murphy, S. (2008). Mouth width prediction in craniofacial identification: cadaver tests of four recent methods, including two techniques for edentulous skulls. *The Journal of Forensic Odontostomatology*, 27(1), 2–7.
- Stewart, T. (1954). Sex determination of the skeleton by guess and by measurement. *American Journal of Physical Anthropology*, 12(3), 385–392.
- Toneva, D., Nikolova, S., Georgiev, I., & Tchorbadjiev, A. (2017). Accuracy of linear craniometric measurements obtained from laser scanning created 3D models of dry skulls. In *Advanced Computing in Industrial Mathematics* (S. 215–229). Springer.
- Uerlings, H. (1991). *Zur Geschlechtsbestimmung von menschlichen Skeletteilen* (Diss.). Institut für Anthropologie und Humangenetik, Friedrich-Schiller-Universität, Jena.
- Ullrich, H., & Stephan, C. N. (2011). On Gerasimov's Plastic Facial Reconstruction Technique: New Insights to Facilitate Repeatability*. *Journal of Forensic Sciences*, 56(2), 470–474. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01672.x>
- University of Massachusetts. (2022). *Labeled Faces in the Wild*. Verfügbar 23. November 2022 unter <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/>
- Vanezis, P., Blowes, R., Linney, A., Tan, A., Richards, R., & Neave, R. (1989). Application of 3-D computer graphics for facial reconstruction and comparison with sculpting techniques. *Forensic Science International*, 42(1-2), 69–84.
- Verhoff, M., Kreutz, K., Jopp, E., & Kettner, M. (2013). Forensische Anthropologie im 21. Jahrhundert. *Rechtsmedizin*, 23(2), 79–84.
- Verhoff, M. A. (2008). *Forensische Osteologie: Problematische Fragestellungen*. Lehmanns Media.

- Verhoff, M. A., Kreutz, K., Ramsthaler, F., & Schiwy-Bochat, K.-H. (2006). Forensische Anthropologie und Osteologie—Übersicht und Definitionen. *Deutsches Ärzteblatt*, 103(12), 782–8.
- Verzé, L. (2009). History of facial reconstruction. *Acta Biomedica Atenei Parmensis*, 80(1), 5–12.
- Werner, G. (2010). *Weichteilverschiebung im Gesicht bei Personen in stehender und liegender Position* (Diss.). Universität Saarbrücken.
- Wilde, S., Timpson, A., Kirsanow, K., Kaiser, E., Kayser, M., Unterländer, M., Hollfelder, N., Potekhina, I. D., Schier, W., Thomas, M. G., et al. (2014). Direct evidence for positive selection of skin, hair, and eye pigmentation in Europeans during the last 5,000 y. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(13), 4832–4837.
- Wilkinson, C. (2004). *Forensic facial reconstruction*. Cambridge University Press.
- Wilkinson, C. (2010). Facial reconstruction—anatomical art or artistic anatomy? *Journal of Anatomy*, 216(2), 235–250.
- Wilkinson, C., & Neave, R. (2003). The reconstruction of a face showing a healed wound. *Journal of Archaeological Science*, 30(10), 1343–1348.
- Zanatta, A., Bezzi, L., Carrara, N., Moraes, C., Thiene, G., & Zampieri, F. (2018). New technique in facial reconstruction: the case of Giovanni Battista Morgagni. *Anthropologischer Anzeiger*, 75(2), 131–140.