

# Vorgehensweise zur Erstellung eines virtuellen Ötzis

Günter Hell und Gottfried Otepka

## 1. Einleitung

### 1.1 Fund der Leiche des Tiroler Eismannes

Auf dem Abstieg von der Finailspitze (3516 m) zur Similaunhütte in den Öztaler Alpen wählte das Ehepaar Erika und Helmut SIMON am 19. September 1991, nachdem sie das Hauslabjoch überquert hatten, eine Route abseits des markierten Weges. So kamen sie gegen 13h30 zu einer Felsmulde, die teilweise mit Gletschereis und Schmelzwasser gefüllt war. Aus dem Eis ragte der Kopf, die Schultern und der Rücken einer nackten Leiche. Unweit der Leiche fanden sie auch ein mit „Bast, Hanf oder Leder umwickeltes Stück Birkenrinde“. Später wurde dieses Birkenrindengefäß als „Glutbehälter“ beschrieben.

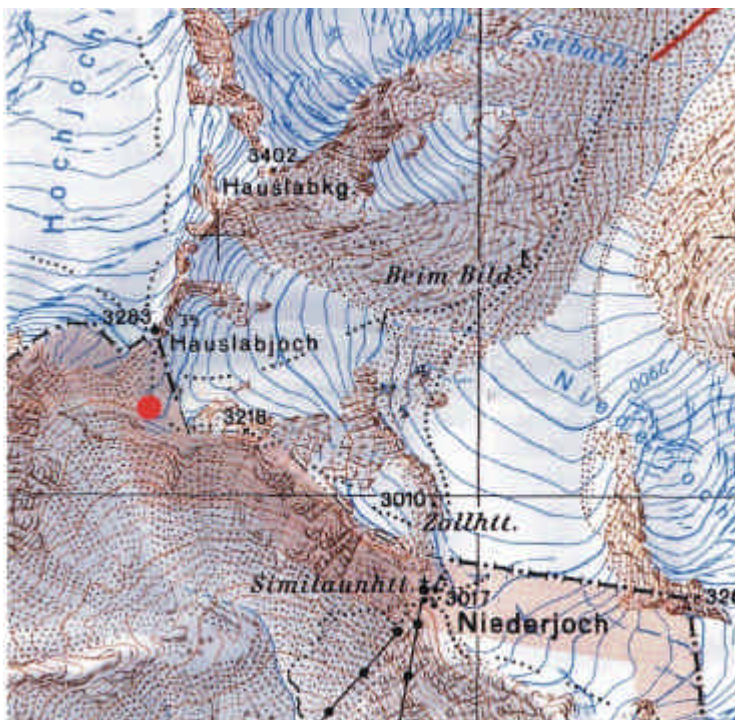


Abb. 1: Ausschnitt der Österreichischen Karte 1:25.000 ÖK 25 V, Blatt 173 Sölden, mit markiertem Fundort

Sie hatten damit, was sie zu diesem Zeitpunkt natürlich nicht wissen konnten, eine rund 5.500 Jahre alte Leiche entdeckt, die sich als die älteste menschliche Mumie des Kontinents herausstellen sollte. Auf die Beschreibung der Details der Bergung dieser Leiche, die dabei aufgetretenen Schwierigkeiten, die Begründungen wie diese Leiche nahezu unbeschädigt fünfeinhalb Jahrtausend überstehen und am selben Ort gefunden werden konnte, an dem dieser Mann aus der Steinzeit verstorben ist, wird hier verzichtet. Für Interessenten wird dazu auf entsprechende Publikationen verwiesen (z.B. SPINDLER (1992) und (1993), EGG und SPINDLER (1993)). Bedingt durch das mediale Interesse, das dieser Leichenfund verursachte, hat sich zwischenzeit-

lich der Name ÖTZI für die Leiche des *Tiroler Eismannes* eingebürgert. Daher wird auch in den folgenden Ausführungen dieser Name und nicht „Tiroler Eismann“ oder „Mumie vom Hauslabjoch“ als Bezeichnung verwendet.



Abb. 2: Foto der Leiche, wie sie das Ehepaar SIMON am 19/09/91 gefunden hat (übernommen aus EGG M. und SPINDLER K. (1993))

Eine Fragestellung im Zusammenhang mit dem Fundort, deren Lösung durch Fachkollegen erfolgte, sei hier doch angesprochen. Das Hauslabjoch ist ein Punkt der Staatsgrenze zwischen Österreich und Italien. Die Frage in welchem Teil Tirols der Fundort der *Leiche des Eismannes* liegt, wäre fast Anlass für ein Politikum geworden. Nachdem sich sowohl die Landesregierungen von Süd- als auch Nordtirol mit der Zuordnung des Leichenfundortes beschäftigten, war die Sicherheitsdirektion für Tirol an einer eindeutigen Klärung interessiert. Daher wurde das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), das laut Vermessungsgesetz für die Staatsgrenzen der Republik Österreich zuständig ist, beauftragt, die Vermessungsarbeiten am Hauslabjoch durchzuführen und damit die Klärung der Fragestellung bezüglich des Leichenfundortes vorzunehmen. Die dazu notwendigen Vermessungsarbeiten wurden am 2. Oktober 1991 durch das BEV durchgeführt und in NEUBAUER (1992) beschrieben. Entsprechend den nach dem 1. Weltkrieg bei der Staatsgrenzfestlegung zwischen Italien und Österreich getroffenen Vereinbarungen und den damit völkerrechtlich verbindlichen Grenzdokumenten und den Ergebnissen der Vermessung des Fundortes des *ÖTZI*, befindet sich dieser auf italienischem Staatsgebiet. Daher wurde die Leiche 1997 von Innsbruck nach Südtirol „rückgeführt“. Sie kann nun im Südtiroler Archäologiemuseum in Bozen besichtigt werden kann.

Mit der Problematik der Staatsgrenzfestlegung im Hochgebirge zwischen Österreich und Italien sowie den seinerzeit dabei getroffenen Abmachungen und der Auswirkung auf den Fundort des *ÖTZI* beschäftigt sich ein weiterer Artikel des BEV (KUBINA, 1992). Derartig spektakuläre Fragestellungen bezüglich der Lage von Grundgrenzen im Hochgebirge gibt es nicht oft. Aus dem vermessungstechnischen Tagesgeschehen der Ingenieurgemeinschaft Vermessung AVT-ZT GesmbH (AVT) ist aber festzustellen, dass mit der Erschließung und Nutzung des Hochgebirges für touristische und jagdliche Zwecke, in den letzten Jahren den Grenzverläufen zwischen Grundstücken in den Bergregionen auch wirtschaftliche Bedeutung zukommt und sie daher immer wieder Gegenstand von Grenzfeststellungen sind.

## **1.2 Vertragliche Vereinbarung zwischen der Universität Innsbruck und der Ingenieurgemeinschaft Vermessung AVT-ZT GesmbH im Zusammenhang mit der photogrammetrischen Bearbeitung von Bildern der Leiche des ÖTZI**

Zwischen der Universität Innsbruck und der AVT wurde im Oktober 1992 eine Vereinbarung abgeschlossen. Darin verpflichtete sich die AVT zu einer photogrammetrischen Aufnahme und numerischen, räumlichen Auswertung dieser Messbilder der Mumie sowie eine EDV-mäßige Datenaufbereitung zur Erstellung eines Digitalen Oberflächenmodells der Mumie. Bereits zum Zeitpunkt der Vertragsunterzeichnung stand fest, dass für die EDV-technischen Arbeiten die AVT einen Partner aus dem Hochschulbereich beziehen wird. Dieser Partner wurde schließlich in der Person des Co-Autors und seines Institutes gefunden. Nach Rücksprache mit dem Rektor der Universität Innsbruck, Herrn Univ. Prof. Dr. H. MOSER, kam es zu der Kooperation zwischen dem Institut für Photogrammetrie und Kartographie der FH-Karlsruhe und der AVT bei diesem Forschungsvorhaben.

Nachdem bereits in einem Kurzbericht Ergebnisse dieser Arbeit in der Ausgabe Nr. 10 vom Juni 2000 der UNIZEITUNG der Universität Innsbruck veröffentlicht wurden, sollen mit dem vorliegenden Artikel die bisherigen Ergebnisse dieses Forschungsprojektes als Fachbeitrag präsentiert werden.

## **2. Datenerfassung**

Nach der Überführung der Mumie von seinem Fundort nach Innsbruck, wurde sie im Anatomischen Institut der Universität Innsbruck in einer eigens dafür geschaffenen Kühlkammer unter Bedingungen, wie sie im Gletschereis der Ötztaler Alpen herrschten, verwahrt.

Für die Durchführung der wissenschaftlichen Untersuchungen an der Leiche wurde eine Vorrichtung geschaffen, in welche die Mitarbeiter des Anatomischen Institutes die Mumie bei den Visiten legten. Bei dieser Apparatur, die seitens der Mitglieder des Institutes für Anatomie als „Box“ bezeichnet wurde, ist nur die Vorderseite offen. Die beiden Seitenflächen bestehen aus Plexiglasscheiben. An der Rückseite befindet sich eine Vorrichtung, die Raumluft ansaugt, reinigt und dann diese Luft über die Leiche bläst. Dadurch sollte verhindert werden, dass die Leiche bei den Visiten z. B. durch Schimmel befallen wird. Da dieser Luftstrom Raumtemperatur hatte, war klar, dass die Mumie oberflächlich auftaute. Jede der Visiten durfte daher maximal 30 Minuten betragen. Zwischen zwei Visiten musste die Leiche mindestens wieder 2 Tage in der Kühlkammer gelagert werden. Auf Grund der technischen Gegebenheiten bezüglich der Aufnahmemöglichkeiten, der vorgegebenen Beleuchtungsmöglichkeit, der Ausmaße der Mumie sowie der notwendigen Auswertegenauigkeit, war für die Erstellung der Messbilder der Einsatz großformatiger Universalmesskameras notwendig. Eine entscheidende Erschwerung für die Auswertung des ÖTZI bestand darin, dass keinerlei Markierungen auf der Leiche vorgenommen bzw. angebracht werden durften.

### **2.1 Passpunktrahmen**

Für eine metrische Auswertung der Leiche mit der gewünschten Genauigkeit, die im Submillimeterbereich liegen sollte, sind Passpunkte notwendig. Bei Abschluss der oben angeführten vertraglichen Verpflichtungen (siehe 1.2) wurde die AVT vom Rektorat informiert, dass seitens des Institutes für Geodäsie der Universität Innsbruck bereits ein Passpunktgestell für eine photogrammetrische Aufnahme des ÖTZI angefertigt worden war. Nach Rücksprache mit dem Vorstand dieses Institutes, Herrn Univ. Prof. Dr. G. CHESI, wurde dieser aus Nirostastahl angefertigte Passpunktrahmen der AVT für die Aufnahmen der Mumie zur Verfügung gestellt.

Nach Kenntnis der Bedingungen und einer eingehenden Diskussion mit den Vertretern des Institutes für Anatomie erfolgte eine Planung zur Erstellung der Messaufnahmen der Leiche. Als eine Folge in diesem Zusammenhang wurden seitens der AVT an dem Passpunktrahmen noch zusätzliche Passmarken angebracht. Sämtliche 56 Punkte des Passpunktrahmens wurden anschließend über ein trigonometrisches Rahmennetz, bestehend aus 5 Standpunkten, durch räumliche Vorwärtsschnitte be-

stimmt. Die Streckenmessung für das Rahmennetz erfolgte ebenfalls auf trigonometrischem Wege unter Verwendung einer Basislatte. Die Berechnung der Raumkoordinaten der Passpunkte erfolgte über einen getrennten Lage-Höhen-Netzausgleich unter Verwendung des Netzausgleichsmoduls der seitens der AVT entwickelten Vermessungssoftware GEOSI.

## 2.2 Erstellung der Messbilder

Die Erstellung der Stereomessbilder erfolgte mit 2 Universalmesskammern Wild P 31 unter Einsatz von Weitwinkelobjektiven mit  $f = 10$  cm. Diese Kameras haben einen fixen Fokussierabstand. Änderungen können durch den Einsatz von Zwischenringen im Objektiv vorgenommen werden. Ausgehend von den auf die Leiche bzw. die „Box“ abgestimmten Dimensionen des Passpunktrahmens, den räumlichen Gegebenheiten im Anatomischen Institut, den geforderten Genauigkeitsanforderungen der Auswertergebnisse sowie dem Messmarkendurchmesser des Auswertegerätes wurden für die Erstellung der Stereobildpaare folgende Annahmen getroffen:

- Verwendung von Zwischenringen für eine Aufnahmeentfernung von 2,5 m. Damit wurde die Kammerkonstante auf ca. 104 mm verlängert.
- 0,81 m Basislänge für die Aufnahmen der Stereobildpaare. Mit diesem Wert ergibt sich ein Basisverhältnis von ca. 1:3 und ein Bildmaßstab von rund 1:25 bei den Messbildern.
- Parallele,  $15^\circ$  nach unten geneigte Aufnahmerichtungen
- Die Messmarken im analytischen Stereoauswertegerät ZEISS PLANICOMP P1, das für die Auswertung verwendet wurde, haben einen Durchmesser von  $30 \mu\text{m}$ . Bei der gewählten Aufnahmedisposition entspricht dies einem Wert von 0,75 mm in der Natur.

Da die stereoskopisch gedeckte Objektivbreite mit der oben skizzierten Aufnahmedisposition nur ca. 1,5 m beträgt, der Passpunktrahmen aber 1,8 m breit ist, mussten zur Abdeckung des Aufnahmebereiches pro Leichenlage zwei Stereobildpaare angefertigt werden. Die Leiche wurde bei den Aufnahmen um die gedachte Körperlängsachse um jeweils  $90^\circ$  gedreht. Bildpaare der Mumie wurden einmal im Sinne der Aufnahmerichtungen mit Kopf auf der linken Seite und anschließend mit Kopf auf der rechten Seite erstellt. Somit wurden insgesamt 16 SW-Stereobildpaare der Mumie aufgenommen.



Abb. 3: Ausschnittskopie eines mit der Terrestrischen Universalmesskammer Wild P 31 aufgenommenen Messbildes. Auf dem Bild sind neben dem ÖTZI, Teile der „Box“, sowie des Passpunktrahmens ersichtlich.

Erwähnt sei noch, dass zuerst Testaufnahmen ohne die Leiche erstellt wurden und vor dem Anfertigen der Mumienbilder der Passpunktrahmen desinfiziert wurde. Bei den Kameras Wild P 31 handelt es sich um Plattenkameras. Damit die 16 Stereobildpaare in weniger als 30 Minuten ausgeführt werden konnten, wurde das Handling für die Erstellung der Stereoaufnahmen davor entsprechend eingeübt. Neben den Ärzten, die die Mumie für die unterschiedlichen Aufnahmen bewegten, mussten auch die „Photogrammeter“ bei der Bilderstellung Bekleidung inklusive Mundschutz und Gummihandschuhe tragen, wie sie bei Operationen üblich sind.

### **3. Datengewinnung**

#### **3.1 Modellorientierung und Versuch einer Bündelblockausgleichung**

Die metrische Auswertung der Bildpaare erfolgte im analytischen Stereoauswertegerät PLANICOMP P1 der AVT. Die rechnerische Modellorientierung erfolgte über die bekannten Koordinatenwerte der Passpunkte des Passpunktrahmens (siehe 2.1).

Ursprünglich war beabsichtigt, die einzelnen photogrammetrischen Modelle als Bündelblock unter Benutzung der Ausgleichungssoftware ORIENT gemeinsam auszugleichen. Wie oben angeführt, durften an der Mumie keinerlei Marken angebracht werden. Damit konnten als Verknüpfungspunkte ausschließlich Naturpunkte der Mumienoberfläche benutzt werden. Die Anzahl der eindeutig identifizierbaren Punkte zwischen aufeinanderfolgenden Modellen war dadurch zu gering, um die gewünschte Genauigkeit bei der Bildverknüpfung zu erreichen. ORIENT gestattet bekanntlich die Einbeziehung von Zusatzinformationen. Daher wurde im vorliegenden Fall versucht, über idente Raumlinien der Mumie eine stärkere Verknüpfung zwischen aufeinanderfolgenden Bildpaaren zu erreichen. Wiederrum aus Gründen der Definitionsunsicherheit konnte auch über diese Möglichkeit an den dabei benutzten Hautfalten, Muskelfasern, Sehnen, Knochen usw. die notwendige Genauigkeit nicht erreicht werden.

#### **3.2 Auswertung der Oberfläche der Mumie**

Die Auswertung der Oberfläche erfolgte durch manuelle Rastermessung im oben angeführten analytischen Stereoauswertegerät mit einem Punkt- und Profilverabstand von 3mm. Zusätzlich wurden Strukturinformationen, die bei topographischen Auswertungen als Bruch- und Formenlinien bezeichnet werden, sowie singuläre Punkte (= Koten) der Leichenoberfläche ausgewertet. Neben dem oben skizzierten Problem der Verknüpfung der Stereobildpaare existiert noch eine weitere Schwierigkeit. Bei der Bergung der Leiche wurde das linke Hüftgelenk verletzt (siehe EGG und SPINDLER, 1993), so dass das linke Bein nicht fix mit dem restlichen Körper verbunden ist. Tatsache ist weiters, dass die Mumie innerhalb einer halben Stunde, die für eine Visite maximal vorgesehen wurde, so stark aufzutauen beginnt, dass sich auch der Schädel und der weggestreckte rechte Arm gegenüber dem Rumpf bewegt. Damit existiert bei der Erstellung eines Oberflächenmodells das zusätzliche Problem, die erfassten Daten zu einem konsistenten Gesamtkörper zusammen zu führen.

Um den Umfang und die Detailgenauigkeit der Auswertung beurteilen zu können, sei erwähnt, dass alleine für die Vorder- und Rückseite des Rumpfes rund je 15.500 Punkte ausgewertet wurden.

## 4. Geometrische Modellierung (Vermaschung der Oberfläche)

Nach der photogrammetrischen Punktbestimmung lagen die Punktwolken der einzelnen Stereomodelle in einer näherungsweise zueinander orientierten Lage vor. Bei den gängigen Programmen zur Erstellung von digitalen Geländemodellen ist die Behandlung von ‚Überhängen‘ (noch) nicht möglich, da die Algorithmen von einer Lagebeziehung bezüglich der Grundrissebene ausgehen. Daher werden die Punkte entweder in falschen Reihenfolge zu einem Dreiecksnetz (TIN) vermascht, bzw. bei flächenhaft arbeitenden Programmen eine falsche Punktreihenfolge berücksichtigt (Abb. 4)

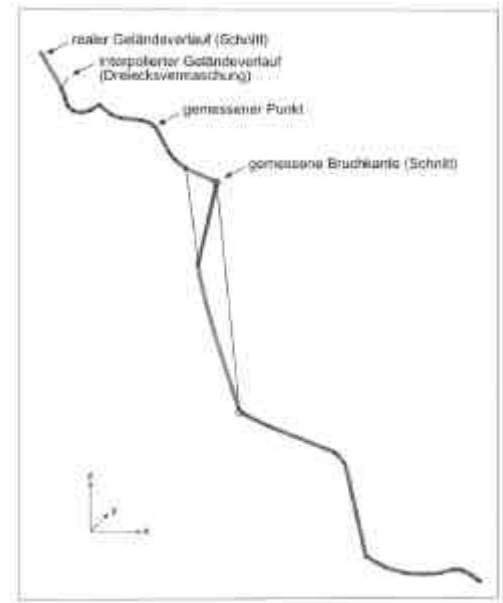


Abb. 4: Problem der Berücksichtigung von Überhängen bei Programmen zur Erstellung von Digitalen Geländemodellen

Nach längerer Suche für ähnliche Probleme bei Hochgebirgsmoellierungen mit Überhängen, sind wir auf ein Programmsystem des Werkzeugbaus gestoßen. Beim sogenannten ‚reverse engineering‘, der Ableitung von Konstruktionsgrößen von einem Designmodell oder einem Vorgängermodell ohne CAD-Daten, werden die Objekte oft mit einem Laserscanner abgetastet und aus der Punktwolke ein Objektmodell für Prototypingverfahren erstellt. Da es sich hierbei fast immer um Volumenkörper handelt, wurde hier eine andere Vorgehensweise zur Erstellung der Oberfläche, als bei Geländemodellen, zugrunde gelegt. Das Softwarewerkzeug ist das Programmsystem ‚WRAP‘ der Fa. Raindrop Geomagic, das genau diese Probleme beherrscht. Im Prinzip versucht der zugrunde liegende Algorithmus von außen kommend die Flächen zu vermaschen. Auch dabei treten Unbestimmtheiten auf, die im nachfolgenden Schritt interaktiv behoben werden müssen. Die Arbeitsweise sei an folgendem in Anlehnung an BIERBAUM und EIERS (1998) an einem einfachen Beispiel erläutert:

### a. Point Phase

In diesem Schritt werden die Punktkoordinaten importiert und weiter können Punkte gelöscht, hinzugefügt oder editiert werden.

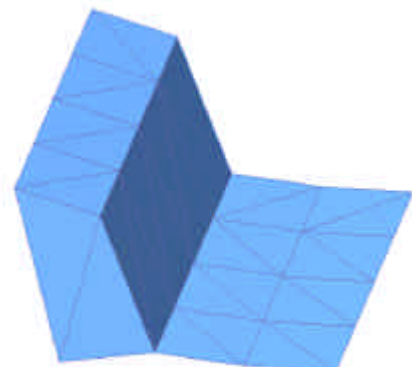
Abb. 5: Eingelesene Punktwolke

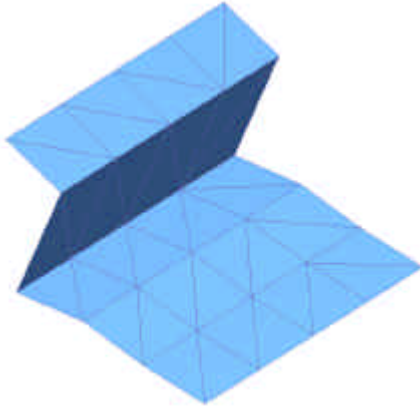


### b. Wrap Phase

Das Ergebnis der automatischen Triangulation (Compute Wrap) ist in Abbildung 6 zu sehen. Hier ist der ‚Überhang‘ ebenfalls mit Volumenkörpern ausgefüllt, da das Programm die richtige Zuordnung der Punkte nicht feststellen kann.

Abb. 6: Ergebnis der automatischen Vermaschung der Punktwolke

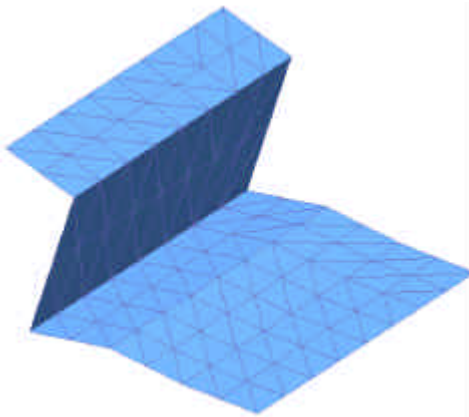




Durch Editieren der automatisch erzeugten Oberfläche wird nun das Modell händisch an die Punktwolke angepasst, so dass die wirkliche Form des Überhangs erscheint.

Abb. 7: Ergebnis der interaktiven Beseitigung von falschen Volumenkörpern

### c. Surface Phase



Hierbei werden zwischen den ursprünglichen vermaschten Punkten zusätzliche Dreiecke zur Verfeinerung der bisherigen Strukturen aufgebaut und damit die eigentliche Oberfläche erzeugt. Für den Datentransfer (Export) zu 3D-Studio Max ist dieser Schritt zwingend erforderlich

Abb. 8: Aufbau der für den Export geeigneten Oberfläche

Am Beispiel des ÖTZI sind die Schritte a) und c) in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

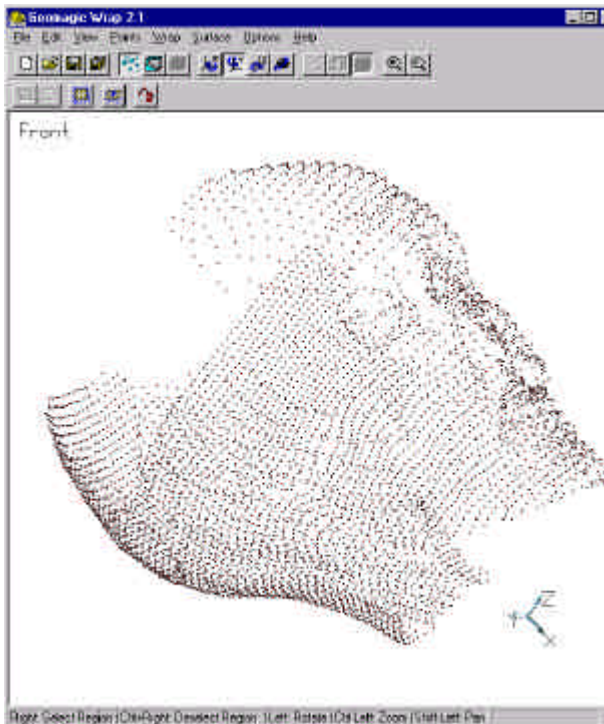


Abb. 9: Punktwolke Kopf des ÖTZI

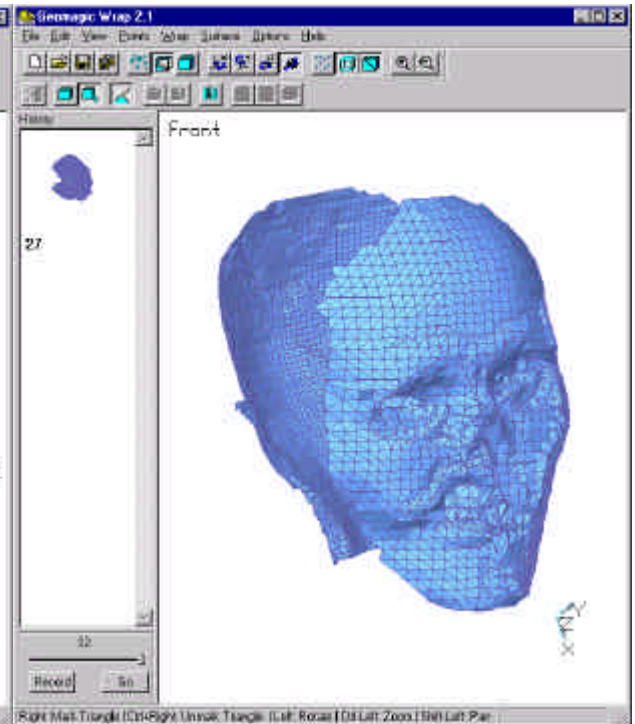


Abb. 10: Endgültige Oberfläche des Kopfes

Wie aus den Abbildungen 10 und 11 zu ersehen ist, fehlen Bereiche zu einem geschlossenen Kopfmodell. Diese fehlenden Teile wurden im photogrammetrischen Modell nachgemessen, in die richtige Lage 3D-transformiert und mit dem Bestand verbunden. Kleine Lücken wurden durch Einfügen von zusätzlichen Punkten nach Augenschein der Aufnahmen direkt eingegeben und deren Lage durch die Vermaschung überprüft. Weitere Unstimmigkeiten traten z. B. auf, wenn der Stützarm mal mit den Daten des Modells von vorne und einmal mit den rückwärtigen Modelldaten in den gesamten Verband eingepasst wurde. Durch unterschiedliche Belastung des Armes ergaben sich Abweichungen zwischen der Vorder- und Rückseite des gleichen Körperbereichs. Eine befriedigende Lösung wurde durch das Zerschneiden des Gesamtmodells in einzelne Körperteile und deren separate Transformation in das Gesamtsystem erreicht.

## 5. Oberflächenbelegung (Graphische Modellierung)

Für die nun notwendige graphische Gestaltung der geometrisch modellierten Gestalt des Objekts ist eine Oberflächenbelegung notwendig. Hierfür kommen drei prinzipielle Verfahren in Betracht:

- Belegung der Dreiecksflächen mit der Farbe der Dreiecksumrandung. Diese Möglichkeit wird häufig zur Kontrolle der Oberflächengeometrie durch einfache Beleuchtung und der daraus entstehenden ‚Schummerung‘ verwendet.
- ‚Tapezieren‘ der Oberfläche mit Materialien (Mappen). Die können aus einer Bibliothek – Bestandteil von CAD- oder Animationsprogrammen - übernommen werden. Möglich ist dabei die Modifikation der Materialeigenschaften bezüglich der Farbe, Spiegelungseigenschaften, Glanz, Durchlässigkeit, usw.. Diese Form der Oberflächenbelegung kann auch durch eigene Bitmaps = Bilder realisiert werden. Die zu mappenden Bilder werden mit sogenannten Mappingkoordinaten mit der geometrischen Oberfläche verbunden. Bei relativ glatten, großen Flächen, wie z. B. Hausfassaden bietet sich die Vorgehensweise an.
- Eine elegante Methode der Oberflächenbelegung wurde von HANKE und EBRAHIM (1997) vorgestellt. Sie projizieren ein Bild des Objekts mit der gleichen inneren und äußeren Orientierung wie zum Zeitpunkt der Aufnahme auf die geometrisch modellierte Oberfläche welche mit einer ‚weißen Leinwand‘ – siehe erste Vorgehensweise – belegt ist. Besonders bei sehr kleinförmig strukturierten Oberflächen ist die Methode hervorragend geeignet, da hierbei das Zerschneiden des Bildes in kleine der Oberflächenrepräsentation entsprechende Teile und das einzelne Belegen der kleinen Facetten der Oberfläche vermieden wird. Im verwendeten Animationsprogrammen kann ein Spotlicht als ‚Diaprojektor‘ verwendet werden, wenn statt eines Farbfilters die zu projizierende Aufnahme als Maskierung benutzt wird. Für die Oberflächen-gestaltung des ÖTZI bietet sich diese Methode hervorragend an.

## 6. Animation

Als Werkzeug zur Erstellung der eigentlichen Animation wurde das Programm 3D-Studio MAX verwendet. Neben der geometrischen und graphischen Beschreibung des darzustellenden Objekts sind noch

- die Beleuchtung der Szene (Position, Neigung, Art, Farbe, Intensität)
- der Schattenwurf von Objekten bezüglich der einzelnen Lichtquellen
- die Kamera mit ihren inneren Parametern und deren Bewegung bezüglich des Objekts
- die Definition der Umgebung (Himmel, usw.)

zu definieren. Eine gute Zusammenstellung der Struktur der für eine Animation notwendigen Schritte findet sich bei WENZEL (1999). All die Parameter fasst man unter dem Begriff Animationsvorschriften zusammen, wozu auch die notwendigen Veränderungsdefinitionen gehören.



Abb.11: Beispiel einer Schlüsselszene

Nachdem alle Veränderungsvorschriften festgelegt sind und der Animationsvorgang komplett eingerichtet ist, wurden zunächst einzelne Schlüsselszenen in Form von Einzelbildern gerendert. Unter Rendern versteht man die Erzeugung eines Pixelbildes der vorher definierten geometrischen Objekte, die mit Materialien belegt sind, unter Berücksichtigung der vereinbarten Animationsvorschriften. Anhand der Schlüsselszenen wird überprüft, ob die Lage, Gestaltung etc. der Animationsobjekte an diesen Stellen den Vorstellungen entsprechen. Ein Beispiel einer Schlüsselszene sei in Abbildung 11 gezeigt.

Sind alle Einstellungen zufriedenstellend, sollte daraufhin ein Probefilm im gängigen AVI-Format in geringer Qualität erstellt werden. Um Zeit zu sparen, bietet es sich an, z.B. nur jedes vierte Bild zu rendern. AVI (Audio Video Interleave) bedeutet, dass Audio- und Videodateien ineinander verzahnt abgespeichert werden. Ein AVI-Film kann aus unkomprimierten Bildern generiert werden, benötigt somit jedoch viel Speicherplatz und lange Renderzeiten. Der Sinn von AVI-Filmen liegt aber darin, mittels geeigneter (verlustbehafteter) Videokomprimierung, einen Film in angemessener Qualität und Dateigröße zu erstellen. Dazu sind sogenannte Codecs notwendig, die eine Komprimierung ermöglichen. Anhand dieses Probefilms kann anschließend überprüft werden, ob die Kamerafahrt und die restlichen animierten Komponenten schlüssig und widerspruchsfrei dargestellt werden. Entspricht das Ergebnis den Vorstellungen, so kann die Animation für die endgültige Berechnung und Ausgabe vorbereitet werden.

Vorab ist zu überlegen, in welchem Format die Animation ausgegeben werden soll. Hier gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten:

- Die erste Möglichkeit besteht darin, die Animation direkt aus 3D Studio MAX, wie eingangs erwähnt, im AVI-Format zu rendern. Der Vorteil besteht hierbei im geringen Speicherbedarf und der kürzeren Rechenzeit, allerdings müssen Qualitätseinbußen in Kauf genommen werden.
- Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Film in einer Reihe von durchnummerierten, qualitativ hochwertigen und unkomprimierten Einzelbildern rendern zu lassen, die anschließend unter Zuhilfenahme von Videobearbeitungsprogrammen zusammengefügt werden können. Der Nachteil besteht in der langen Renderzeit und im enormen Speicherbedarf für das Ablegen der Einzelbilder (ca. 2.4 GB für 1 Min. Film).

Es ist also zu klären, für welchen Zweck der Film gedacht ist und in welchem Verhältnis der Be- und Verarbeitungsaufwand zum Endprodukt steht. Soll der Film im Rahmen einer großen Präsentation, möglicherweise in Kombination mit Realvideos etc. vorgeführt werden und ist vor allem ausreichend Rechenleistung und Speicherkapazität vorhanden, empfiehlt es sich, die Animation in einer Reihe von qualitativ hochwertigen Einzelbildern zu rendern und in einem externen Nachbearbeitungsprogramm zusammenzufügen. Anschließend können die Einzelbilder als AVI-Film, auf Videoband oder andere Medien gespeichert werden. Stehen ausreichend Ressourcen zur Verfügung, ist in jedem Fall das Rendern von Einzelbildern vorzuziehen, da hier vielfältigere Möglichkeiten für die Weiterverarbeitung der Daten bestehen. Soll die Animation verhältnismäßig schnell erstellt werden und im Hinblick auf die anfallende Datenmenge, leicht nachzubearbeiten und auf dem Computer abspielbar, sowie schnell verfügbar sein, sollte die Animation direkt im AVI-Format gerendert werden. Zusätzlich kann die Ani-

mation in das MPEG1-Format konvertiert werden, so dass bei noch geringerem Speicherbedarf und der Wahl geeigneter Datenübertragungsraten, die Animation direkt von CD abgespielt werden kann.

Je nach Rechenleistung und Anzahl der Bilder sowie der vorgenommenen Einstellungen, kann dieser Prozess mehrere Tage in Anspruch nehmen.

## 6.1 Videonachbearbeitung

Die Videonachbearbeitung kann z. B. mit dem Videobearbeitungsprogramm Premiere von Adobe erfolgen. Premiere verfügt über mehrere Videospuren, Audiospuren und Überblendspuren, mit deren Hilfe ein Videofilm individuell nachbearbeitet werden kann. Dies kann durch Hinzufügen von weiteren Videos oder Standbildern, Einblenden von erklärenden Texten und der anschließenden Vertonung geschehen.

Abschließend kann der Film in verschiedenen Bildgrößen und unter Verwendung verschiedener Codes für die Komprimierung sowie der Wahl geeigneter Datenübertragungsraten als \*.avi-Datei ausgegeben werden.

In einem anderen Arbeitsvorgang kann der Film aus Premiere oder Ulead Media Studio Pro über eine Videodigitalisierungskarte, wie zum Beispiel der AV/DV-Master der Firma Fast auf analoges Video-band oder DV-Digitalband überspielt werden.

Unter Verwendung geeigneter Hard- und Software liegen weitere Möglichkeiten im Erstellen von DVD-R oder DVD-RAM. DVD steht für „Digital Versatile Disc“ (versatile = vielseitig) und soll in naher Zukunft Videofilme etc. ablösen. Die DVD-R ist einmal beschreibbar und bietet 4,7 GB Speicherkapazität pro Seite. Die DVD-RAM hingegen ist ein beschreibbares und lösches Medium, welches eine Datenmenge von 2,6 GB pro Seite speichern kann.

DVD's können nicht auf herkömmlichen CD-ROM Laufwerken abgespielt werden, umgekehrt können CD's aber auf DVD-Playern wiedergegeben werden. Für das Erstellen von DVD's müssen die Filme im MPEG 2-Format (MPEG = Motion Pictures Expert Group; Festlegung von Standards ) gespeichert werden, welches eine Übertragungsgeschwindigkeit von 4Mbit/s erlaubt. MPEG erlaubt das Komprimieren von Daten auf höchster Qualitätsstufe. Vereinfacht bedeutet dies, dass in einem Film nur Veränderungen und Bewegungen gespeichert werden, während sich wiederholende Filmsequenzen, wie z.B. Bildhintergrund, nicht gespeichert werden.

Um Interaktivität zu kreieren, müssen die Filme mittels geeigneter Autorenprogramme, wie z.B. Minerva Impression (Interactive Video Authoring), zusammengestellt und über Menüs oder Buttons etc. miteinander verlinkt werden, so dass der Betrachter später interaktiv in einen vorgegebenen Ablauf eingreifen kann und z.B. Schlüsselszenen des Films oder Zusatzinformationen direkt ansteuern kann.

## 7. Ausblick

Die jetzt vorliegende Animationsversion ist das Ergebnis der Lösung aller aufgetretenen methodischen Teilprobleme. Dies bezieht sich zum einen auf die Vermaschung der Punktwolken zu einer geschlossenen, bzw. beliebig geformter Oberfläche. Weiter ist das Einarbeiten der notwendigen Nachmessungen geklärt. Die Belegung der Oberfläche mit anderen als den für die Ausmessung verwendeten Bildern stellte ebenfalls eine zu lösende Aufgabe dar, da die Daten der äußeren Orientierung bezüglich des Gesamtkörpers bestimmt werden mussten.

Die noch notwendigen Aufgaben für ein vollständiges virtuelles ÖTZImodell lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Ergänzungsmessungen für die fehlenden Objektteile und Einarbeiten in die Punktwolke

- Bereitstellung von , schöneren' Bildern zur Belegung der Oberfläche, da die jetzt verwendeten eigentlich nicht für diesen Zweck gefertigt wurden, sondern zur Dokumentation der Aufnahmesituation
- Verbesserung der Beleuchtungsverhältnisse der Animation, was erst in Abstimmung mit den neuen Belegbildern geschehen kann
- Festlegung der endgültigen Form der Ausgabe und die darauf abgestimmte Berechnung und Aufbereitung der Animation

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Beschäftigung mit dieser Art von Projekten das fachliche Wissen um 3D-Objekte entscheidend erweitert und weiter die Möglichkeit bietet, dieses Wissen auch für nicht unbedingt klassische Vermessungsaufgaben zu nutzen. Auch das dabei notwendige , über den Zaun' schauen, um aus anderen Wissenschaftsbereichen u. U. Lösungen für die eigene Aufgabe zu finden, trägt sicher zu einem flexibleren Verhalten eines Messingenieurs bei.

## 8. Literatur

BIERBAUM, M. und EIERS, A. (1998): 3D – Modellerstellung mit PhotoModeler Pro 3.0 und Wrap 2.1 und Untersuchungen zur Bildgüte von UMK – Glasplatten im Vergleich zu Filmmaterial. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe

EGG M. und SPINDLER K. (1993): Die Gletschermumie vom Ende der Steinzeit aus den Ötztaler Alpen, Vorbericht In: Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums 39, Mainz 1993

HANKE K. und EBRAHIM A.-B. M. (1997): Architekturdokumentation mittels digitaler Photogrammetrie. Mitteilungen des Instituts für Geodäsie der Universität Innsbruck, Heft 17

KUBINA P. (1992): ÖTZI doch Österreicher ?  
Eich- und Vermessungsmagazin, Nummer 67, Wien 1992

NEUBAUER M. (1992): ÖTZI und die Staatsgrenze  
Eich- und Vermessungsmagazin, Nummer 67, Wien 1992

SPINDLER K. (1992): Der Mann im Eis  
SANDOZ bulletin 99; Basel 1992

SPINDLER K. (1993): Der Mann im Eis, eine populäre Darstellung  
Veröffentlichung der Universität Innsbruck, Innsbruck 1993

WENZEL, A. (1999): Visualisierung der Siedlungsentwicklung einer antiken Polis.  
Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe