

## MeshLab: Grundlagen zur Erstellung eines polygonalen 3D-Modells aus Punktwolken unterschiedlicher Scans

Günter Pomaska  
FH Bielefeld., gp@imagefact.de

MeshLab ist eine Open Source Software zur Editierung unstrukturierter Dreiecksmaschen. Die Software basiert auf der VCG Bibliothek des Visual Computing Lab ISTI-CNR und wurde an der Universität PISA von Kursteilnehmern des FGT (Fondamenti di Grafica Tridimensionale) an der Abteilung Computer Science entwickelt. Der Download erfolgt von der URL [meshlab.sourceforge.net](http://meshlab.sourceforge.net). On-line-Dokumentationen sind nicht umfangreich verfügbar. Sehr hilfreich zum Einstieg sind die Video-Tutorials von MrP bei [www.youtube.com/user/MrPMeshLabTutorials](http://www.youtube.com/user/MrPMeshLabTutorials).

Im **File-Menü** befinden sich Funktionen der Projektverwaltung sowie zum Im- und Export von Meshes und Rastern.

Mit Mesh bezeichnet man in der Computergrafik ein Polygonnetz zur geometrischen Beschreibung von Oberflächen. Das Ergebnis eines Scans kann als Knotenliste oder vermaschtes Dreiecksnetz in MeshLab importiert werden. Jede Masche wird dabei einem eigenen Layer zugeordnet. Ein Layer trägt ein Label und die Dateireferenz der Mesh.

Im **Layer Dialog** wird der aktive Layer markiert. Layer können ein- oder ausgeschaltet werden. Die Informationen über Dateinamen, Anzahl der Vertices und Faces sind aufklappbar. Zu beachten ist, dass viele Funktionen nur auf den aktiven Layer Auswirkung haben. Mit der rechten Maustaste in der Layerliste öffnet sich ein Kontextmenü zum Aufruf von Bearbeitungsfunktionen für den ausgewählten Layer.

Meshlab unterscheidet zwei Arten von Layern: Mesh-Layer und Raster-Layer. Mesh-Layer sind der Geometrie zugeordnet. Raster-Layer sind 2D-Texturen, die mit Kameradaten assoziiert werden.

In einer MeshLab **Projektdatei** MLP werden die Projektinformationen zusammengeführt. Layergruppierung und Transformationen der Meshes werden gespeichert, nicht aber Änderungen an der Mesh-Geometrie selbst. Letztere müssen explizit exportiert werden.

Zu Beginn eines Projektes wählt man **FILE > New Empty Project** und importiert die Maschen bzw. Punktwolken i.d.R. in den Formaten PLY oder OBJ.

Eine importierte Mesh muss zunächst bereinigt werden. MeshLab unterscheidet zwischen **Edit** und **Not Editing** Modus. Im Editing Modus können Maschen oder Knoten entfernt werden. Zu beachten sind die Details bei der Rechteckauswahl und der Gebrauch der Tasten ALT, CTRL, SHIFT und ESC. Die Auswahl von Punkten (vertices) oder Flächen (faces) erfolgt im Rechteck für alle Elemente oder bei gedrückter ALT-Taste nur für die sichtbaren Elemente. Mit CTRL wird der Auswahl etwas hinzugefügt, mit SHIFT werden Elemente aus der Auswahl entfernt. ESC schaltet vom Auswahlmodus in die Navigation und wieder zurück. Ausgewählte Objekte werden farbig markiert. Man kann auch ausschließlich die interessierenden Punkte auswählen und die Auswahl im Menü **Filters > Selection > Invert Selection** invertieren und die nicht gewünschten Punkte entfernen. Bitte beachten: MeshLab hat keine UNDO-Funktionalität.

Zunächst sollte man sich auch mit der **Navigation** vertraut machen. Eine Kurzübersicht erhält man über **Help > On screen quick help**. Mit der Tastenkombination CTRL-H gelangt man in eine de-

finierte Ausgangsposition des Trackballs, der die Grundlage der Navigation bildet. Mit der linken Maustaste und Dragging rotiert man um das Zentrum des Trackballs. Ein Doppelklick auf die Mesh definiert ein neues Zentrum für den Trackball. Bei gedrückter SHIFT-Taste wird gezoomt, mit der mittleren Maustaste erfolgt eine Verschiebung des Objekts. In der Z-Richtung wird mit ALT-Drag verschoben. SHIFT und Mausrad verändern das FoV der Kamera. Die vordere und hintere Clipping-Ebene wird mit CTRL-Wheel bzw CTRL-SHIFT-Wheel verändert. Die Beleuchtungsrichtung kann man bei eingeschaltetem Licht mit CTRL-SHIFT und Dragging festlegen..

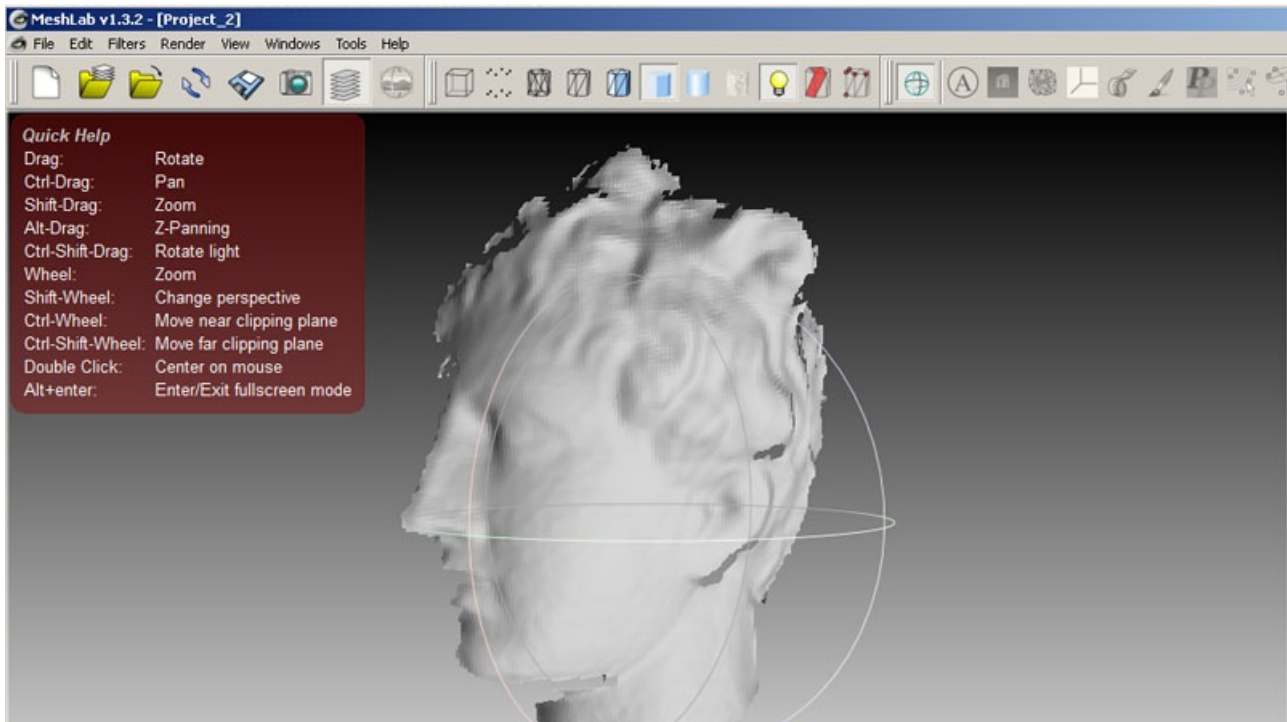


Abbildung 1: Trackball und On screen quick help zur Navigation

Die Anzahl der Punkte eines Scans kann man mit Filters > **Sampling** > Poisson-disk sampling zunächst reduzieren. Geben Sie in der Dialogbox die Anzahl der Samples ein und aktivieren Sie Base Mesh Sampling.

Es kann notwendig sein, zunächst die Normalen über Filters > Normals, Curvatures and Orientation > **Compute normals for point sets** zu bestimmen. Danach ist die Punktwolke für das Meshing über Filters > Remeshing, Simplification and Reconstructing > Surface Reconstruction Poisson vorbereitet.

Alternativ zur Bearbeitung der Punktwolke kann man auch mit den importierten Dreiecken die Vermaschung erneut vornehmen. Im Menü Filters findet man die Funktionen **Cleaning and Repairing**. Unterschieden wir zwischen Remove- und Selecting-Funktionen. Im Falle eines Scan-Imports wird man zunächst nicht interessierende Bereiche und doppelte Punkte entfernen und nahe beieinanderliegend Punkte vereinen. Weitere Bereinigungen an der Mesh sollten folgende Elemente entfernen: Duplicated Vertices, Zero Area Faces, Unreferenced Vertex. Zu entfernen sind Non Manifold und Self intersecting Faces. Die Möglichkeit eines späteren Systemabsturzes wird geringer. Der Dialogbereich im Layerdialog zeigt jeweils die Ergebnisse an

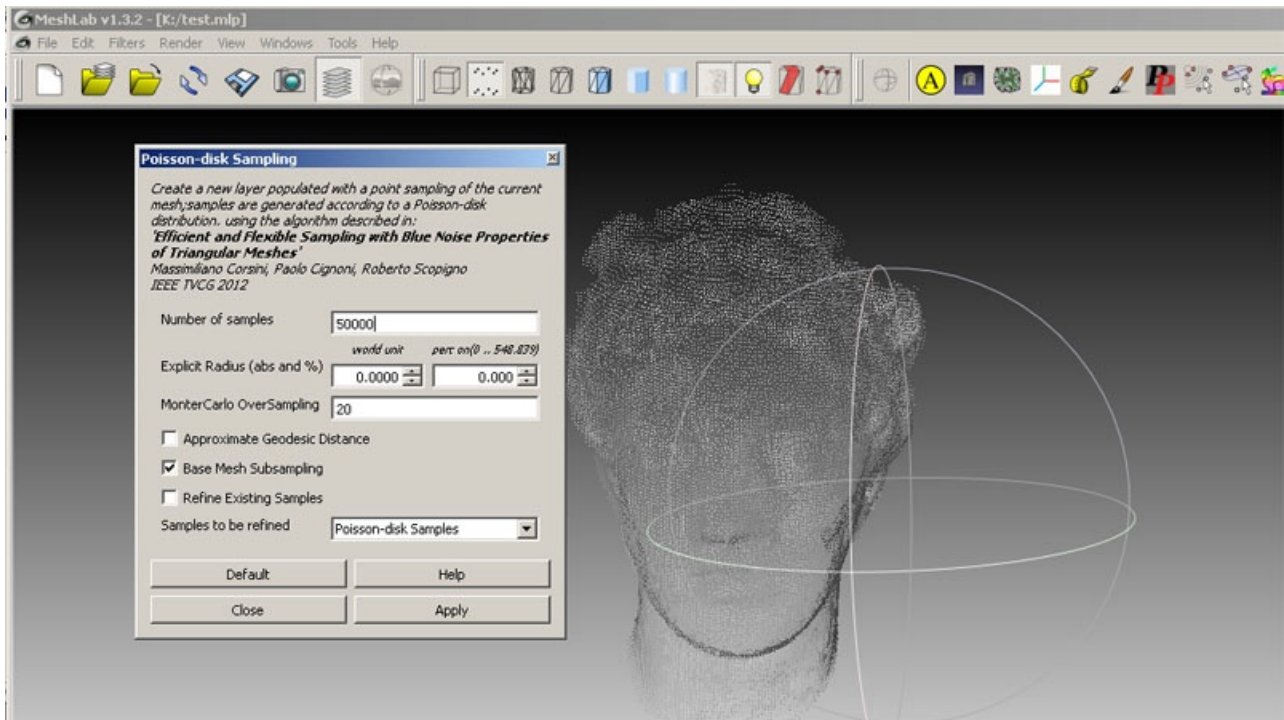


Abbildung 2: Reduktion der Punktwolke über Poisson-disk Sampling

Im Menue Filters>**Remeshing, Simplification and Reconstruction** befinden sich Funktionen zur Flächenrekonstruktion. Aufgrund der Punktwolke und deren Normalen wird mit der Poisson-Surface-Rekonstruktion eine Oberflächenmasche berechnet. Hier bei sind die Werte für Octree Depth und Solver divide einzustellen. Octree depth entspricht etwa der Auflösung, wählen Sie einen Wert um 10 und den Wert für Solver divide 1-2 Werte weniger.

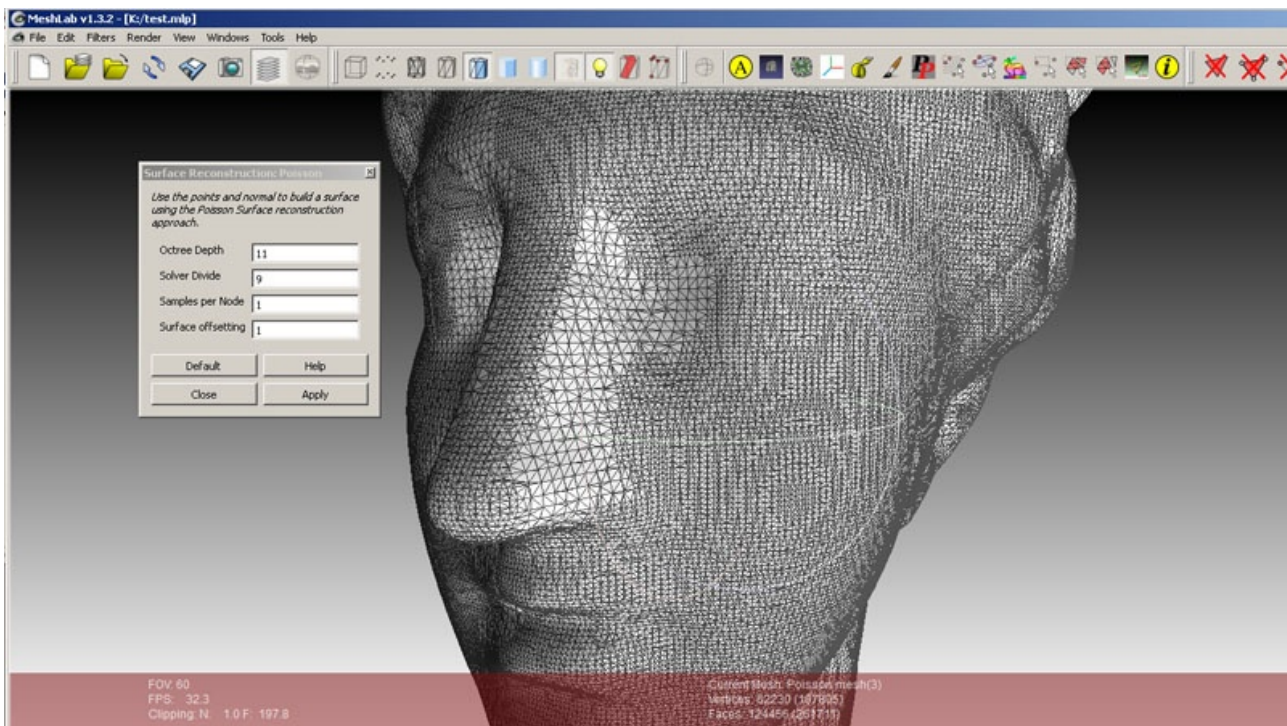


Abbildung 3: Surface Reconstruction: Poisson

Die unterschiedlichen Scans eines Objekts müssen zusammengeführt (registriert) werden. Hierzu bedient man sich in MeshLab des **Alignment-Tools**. Nach Aufruf von Edit > Align meldet sich das Align-Tool mit einer Dialogbox. In der Dialogbox wählt man einen Layer aus und deklariert diesen mit **Glue Here Mesh**. Man wählt einen zweiten Layer und startet **Point Base Glueing**. Beide Layer werden jetzt in getrennten Fenstern dargestellt und man wählt per Doppelklick vier identische Dreiecksflächen in den Meshes aus. Die Prozedur wird für alle Bilder wiederholt, sodass alle Layer mit \* gekennzeichnet sind. Danach ruft man die Funktion **Process** auf. Alle Maschen werden nun aufeinander transformiert. Speichern Sie das Projekt. Im nächsten Schritt wird die Funktion **Flatten Visible Layers** aus dem Menü Filters > Meshes aufgerufen. Jetzt kann man eine neue Mesh per Poisson Rekonstruktion wie oben beschrieben erstellen, ggf.. zuvor die Eingangsdaten per Cleaning und Repair zunächst erneut bereinigen.

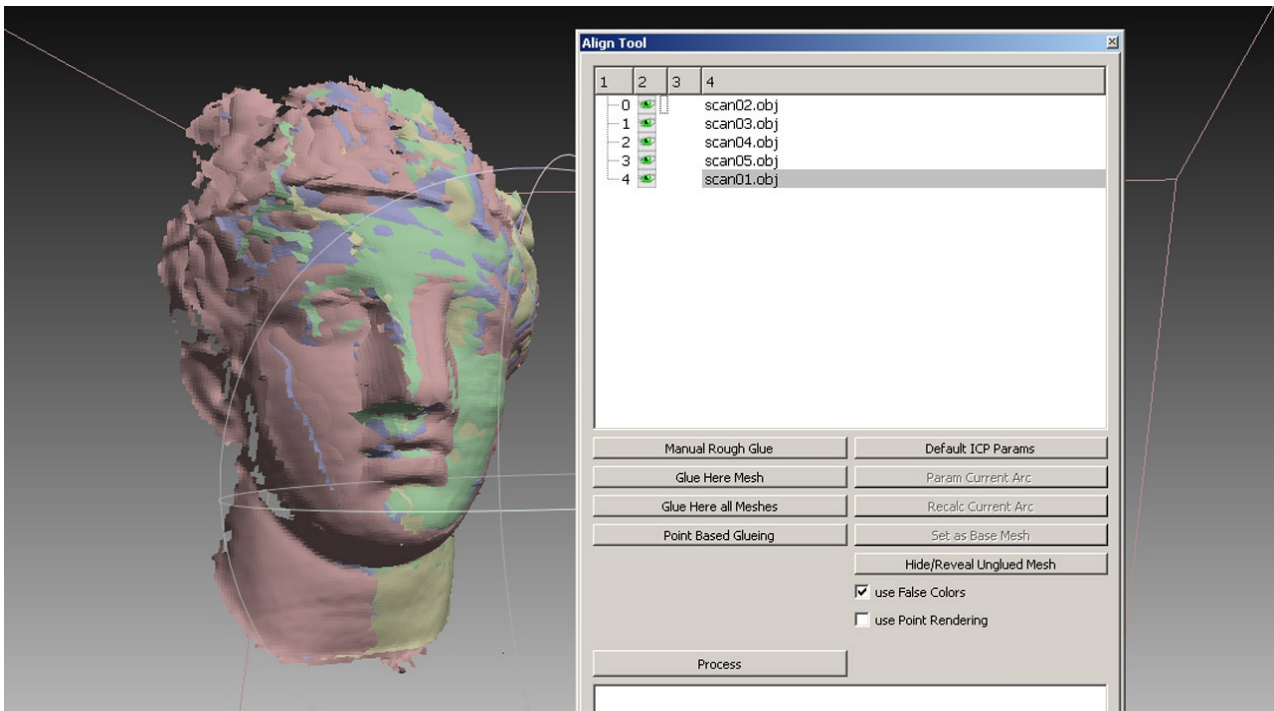


Abbildung 4: Das Align-Tool von Meshlab mit unterschiedlich gefärbten Scans

Eine Mesh können Sie im Nachhinein reduzieren und glätten. Gehen Sie zu Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction > **Clustering Decimation** oder Quadric Edge Collapse Decimation. Der Vereinfachungsgrad kann jeweils mit unterschiedlichen Parametern gesteuert werden. Die endgültige Mesh können Sie glätten, etwa mit Filters > Smoothing, Fairing and Decimation > **Laplacian Smooth**. Das Ergebnis einer derartigen Verarbeitungskette zeigt die Abbildung 5. Gesteuert über die Cell size wurden 52.000 Faces auf 4.000 Faces reduziert.

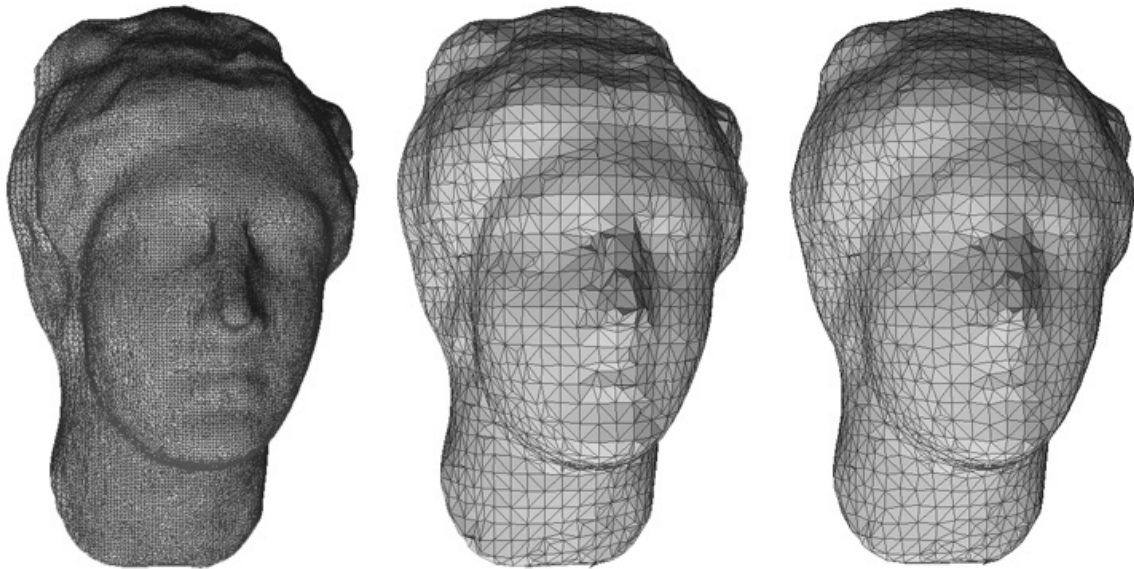


Abbildung 5: Clustering Decimation und Laplacian Smooth

**Texturing** einer Mesh. File > Import Raster ermöglicht die Eingabe von Rasterdaten, die mit einer Kamera assoziiert werden. Im Layerdialog befindet sich die Liste der geladenen Rasterbilder. Mit View > **Show Current Raster Mode** kann das Bild eingeblendet werden. CTRL-H ordnet einen Startwert für die Kameradaten zu. Mit dem Scrollrad wird die Transparenz verändert, das Modell erscheint im Hintergrund zusammen mit dem Trackball. Das Modell kann jetzt manuell dem Rasterbild angeglichen werden. Unter Filters > **Camera** > Set RasterCamera kann man dann die Modelleinstellung des Trackballs mit GET aufrufen und mit Apply dem Bild zuordnen. Ebenfalls unter Filters > Camera befinden sich die Funktionen zur Projektion der Bildinhalte auf die Mesh.

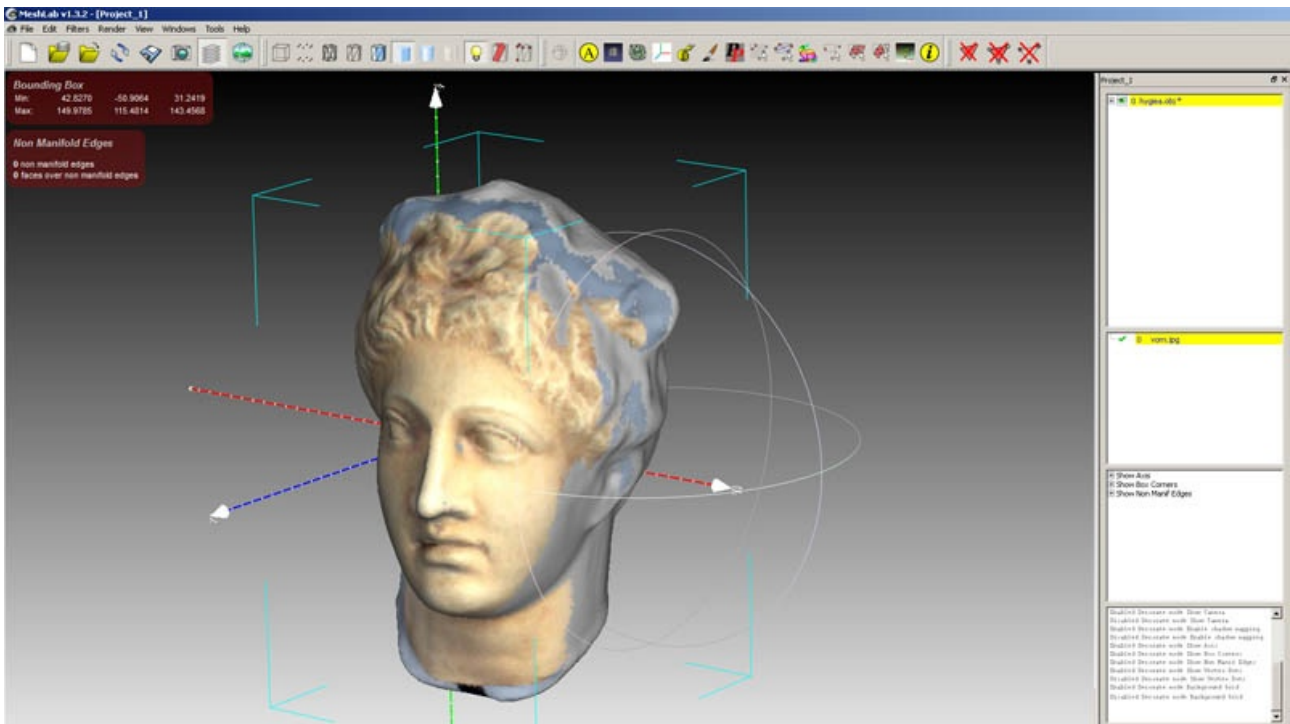


Abbildung 6: Import Raster Layer und Projektion, rechts der Layerdialog

**Transformieren.** Unter dem Menü Filters > Normals, Curvatures and Orientation befinden sich Funktionsaufrufe zur Transformation der Mesh. Im ersten Schritt wird das Objekt in den Ursprung mit einer Transform-Funktion überführt. Komfortabler ist dann das **Manipulators Tool** aus dem Edit-Menü einzusetzen. Nach Aufruf wird eine umhüllende Box angezeigt, das Objekt kann mit T, R, S verschoben, rotiert und skaliert werden. Bedienungshinweise werden in einer Help-Box angezeigt. Schaltet man in den Not Editing Modus um, kann mit SHIFT-CTRL und Mausrad eine Orthogonalprojektion angezeigt werden. Hilfreich ist es, im Render-Menü die Anzeige der Koordinatenachsen einzustellen. Beim Skalieren kann der Skalierfaktor auf der Diagonalen der Transformationsmatrix im unteren Dialogbereich beobachtet werden. Abbildung 7 zeigt ein Testmodell, mit dem eine Genauigkeitsinterpretation durchgeführt wurde. Die Punktwolke entstammt einer SFM-Auswertung. Das Ergebnis dieser ersten Genauigkeitsbetrachtung liegt im Definitionsbereich des Objekts.

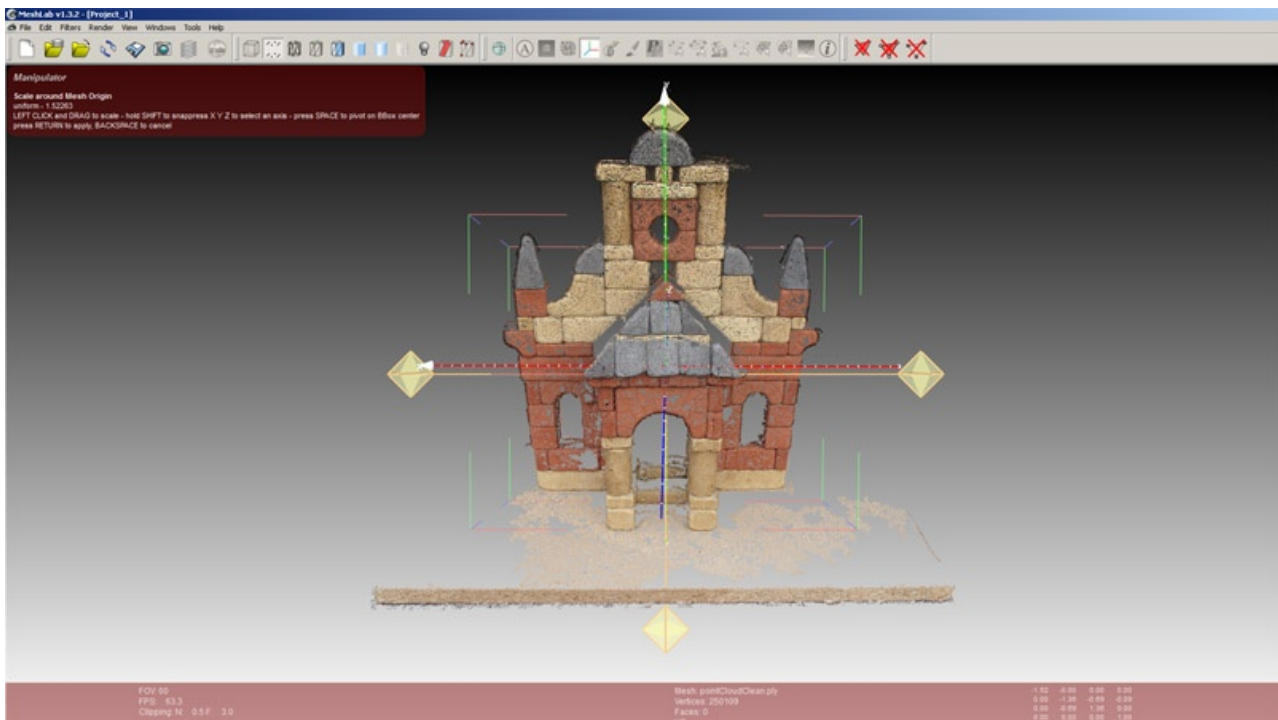


Abbildung 7: Manipulators Tool, hier Skalierung, unten rechts die Transformationsmatrix

Das **Rendermenü** von Meshlab ermöglicht unterschiedliche Darstellungen der Meshes, Beleuchtungseinstellungen und **Shaders**. Die Beleuchtungsrichtung wird mit SHIFT-CTRL und der Linken Maustaste eingestellt. Unter den Shadern gibt es interessante Effekte wie Radiance Scaling, Lnormal Map und Lattice, gezeigt in der Abbildung 8.

Die Punktwolke der Hygeia (aus der griechischen Mythologie Tochter des Asklepios, Göttin der Gesundheit und Schutzpatron der Apotheker) wurde mit der Testversion des David-Laserscanners von einem Replikat aus dem Archäologischen Museum Thessaloniki abgeleitet. Die Messungen dienen lediglich dem Test der hier beschriebenen Meshlab-Funktionen.



Abbildung 8: Meshlab Shaders

**Von der Punktwolke zur Oberflächenrekonstruktion, Tutorial** zum Nacharbeiten: Es folgt ein zusammenhängendes Beispiel. Starten Sie MeshLab und importieren Sie die Datei **alex.ply** mit File > Import Mesh. Die Datei liegt auf der Seite, benutzen Sie den Trackball und richten Sie die Ansicht auf. Im Layer Dialog wird die Anzahl der Vertices angezeigt, hier 688 645, keine Faces.

## 1 Reduktion der Punktwolke

Die Punktwolke ist eingefärbt und zeigt einige Lücken durch Abschattungen. Mit Filters > Samplig > Poission-disk Sampling wird die Anzahl der Samples reduziert. Geben Sie unter Explizit Radius 0.007 ein, die Checkbox Base Submesh Sampling muss aktiviert werden, und klicken Sie auf Apply. Ein neuer Layer mit dem Label Poission-disk Samples wird angelegt. Dort befinden sich jetzt nur noch 175 647 Punkte. Den Layer aley. Ply benötigen wir nicht mehr. Klick mit rechter Maustaste auf den Layer, dann Delete. Wir können Possion-disk Resampling als PLY exportieren.

## 2 Normals for Point Sets

Die Punktwolke ist unter Render Mode > Point Clouds eingeschaltet, Render Lighting ist on. Mit SHIFT-CTRL-Drugging linke Maustaste erkennt man kein Veränderung der Darstellung. Es wurden keine Normalen berechnet. Wir rufen auf Filters > Normals, Curvature and Orientation > Compute Normals for Point Sets. Die Zahl der Nachbarn kann bei 10 belassen werden. Aktivieren Sie die Checkbox Flip Normals und Klicken Sie auf GET mit View Dir. Nach Apply schauen Sie sich unter Render die Normalen mit Render Vertex Normals an. Es kann mit Export Mesh die Masche gespeichert werden.

### 3 Surface Reconstruction

Unter Filters > Remeshing, Simplification and Reconstructing kann jetzt Surface Reconstructin: Poisson aufgerufen werden. Stellen Sie für Octree Depth 9 und Solver divide 7 ein. Nach Klick auf Apply dauert es einen Augenblick bis die Mesh auf dem Layer Poission mesh erzeugt wurde. Wir haben es mit 159 128 Dreiecken zu tun, derzeit noch ohne Farbe.

### 4 Übertragung der Farbwerte

Unter Sampling > Vertex Attribute Transfer können die Farbwerte vom Ausgangslayer in den Ziellayer übertragen werden. Danach sind auch sie Maschen im Ziellayer eingefärbt. Exportieren Sie die Poisson mesh als OBJ- oder PLY-Datei und speichern Sie das Projekt. Die weitere Bearbeitung kann mit dem Entfernen nicht benötigter Faces beginnen und bis zur Aufbereitung eines 3D-Drucks mit MeshMixer oder anderen Programmen erfolgen.



Abbildung 9: MeshLab-Tutorial Surface Reconstruction