

# Die Anwendung von Voxel in der Archäologie

Meeting der italienischen Grass-User - Genua 2006

Alessandro Bezzi, Luca Bezzi, Denis Francisci, Rupert Gietl

Arc-Team

[www.arc-team.com](http://www.arc-team.com)

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden die Anwendung von Voxel-Graphik in der archäologischen Forschung vorgestellt. Der erste Teil erläutert kurz die Vorgehensweise moderner archäologischer Dokumentation, um in der Folge die Vorteile des Einsatzes von Voxel bei der Datenauswertung zu beleuchten. Im zweiten Teil steht ein konkretes Fallbeispiel im Mittelpunkt. (Die Daten stammen aus einer bisher unpublizierten Grabung) Das Projekt wurde zum Großteil in GRASS abgewickelt. Zur Rekonstruktion einiger dreidimensionaler Fundobjekte setzten wird das bekannte FS/OS Programm *Blender* ein, zur abschließenden Visualisierung der Daten diente eine weitere FS/OS - Software mit dem Namen *Paraview*. Ziel des Experimentes war die digitale Rekonstruktion anthropogener und geologischer Schichten, einer mittlerweile durch Ausgrabung zerstörten Fundstelle, in Form von Volumina.

## Einleitung

Einer der Hauptunterschiede zwischen der Archäologie und den Naturwissenschaften liegt in der nur bedingten Wiederholbarkeit von Experimenten oder Wiedererzeugbarkeit von Zuständen, nicht zuletzt deshalb, weil das menschliche Verhalten im Detail nicht allgemein bestimmten Gesetzen unterworfen ist.

Betrachtet man eine archäologische Ausgrabung als wissenschaftliches Experiment zum Erkenntnisgewinn, unterliegt sie derselben Beschränkung, da sie nicht wiederholbar ist und mit der weitgehenden Zerstörung des untersuchten Objektes endet.

Aus diesem Grund wird im Zuge einer Ausgrabung darauf geachtet, die größtmögliche Menge an Daten zu sammeln. Die räumliche Anordnung und Verteilung von Objekten ist ein zentraler Schwerpunkt archäologischer Forschung. Deshalb kann auf eine dreidimensionale Dokumentation nicht verzichtet werden.

Hat man genügend Daten gesammelt, ist es möglich den archäologischen Befund und seine Komponenten zu einem späteren Zeitpunkt wieder zu rekonstruieren.

Um diese Thematik geht es in den folgenden Kapiteln.

## Die archäologische Ausgrabung



Obwohl eine Ausgrabung das zentrale Werkzeug der archäologischen Forschung ist, stellt sie doch einen definitiven Eingriff in den Zustand einer Fundstelle dar, da sie mit deren weitgehender Zerstörung und dem Verlust aller nicht aufgenommenen Informationen endet.

Aus diesem Grunde wurden im Laufe der Zeit verschiedene Ausgrabungstechniken entwickelt, die in die moderne stratigraphische Grabungsmethode Eingang gefunden haben. Deren Hauptziel ist es,

die gegenwärtige Situation festzuhalten, die Ereignisse abzuleiten, die zur gegenwärtigen Situation geführt haben und schließlich den originalen Zustand zu rekonstruieren.

Hierfür ist es wichtig, jede Schicht der Fundstelle zu dokumentieren, da sie für eine bestimmte Phase aus deren Geschichte steht. Deshalb haben sich parallel zur Grabungstechnik verschiedene Dokumentationstechniken entwickelt.

## Zweidimensionale Dokumentation



Die einfachste Möglichkeit, einen Befund zu dokumentieren, ist jene, mittels einer Zeichnung vor Ort die Lage (x,y) der einzelnen Objekte im Verhältnis zu einem Bezugssystem festzuhalten. Zu diesem Zweck kann man sich auch photogrammetrischer Methoden, wie z.B. der ebenen Entzerrung oder der Vermessung mit einem Theodoliten bedienen. Das Ergebnis ist in jedem Fall eine Reihe von Plänen, entsprechend den archäologischen Horizonten der Grabung. Dabei handelt es sich um die Basis-Dokumentation, die

noch durch andere Untersuchungen ergänzt werden muss (z.B. Materialanalysen)

Diese Pläne wurden in der Regel durch die Messung von Höhenpunkten an markanten Stellen und durch die Aufnahme von Profilen um die dritte Dimension erweitert.

Beschränkt man sich jedoch darauf, läuft man Gefahr, die Bedeutung der dritten Dimension für die stratigraphische Grabung zu unterschätzen und ihr bei der Dokumentation nicht gerecht zu werden.

In diesem Fall findet nämlich schon auf der Grabung eine weitreichende, meist individuell bestimmte Selektion der Informationen statt, der Rest geht verloren.

Mit einer entsprechenden dreidimensionalen Dokumentation, kann die Selektion der Informationen zur Phase der Datenaufarbeitung hin verschoben werden. Dadurch sind Neuinterpretationen des Befundes

auch im Nachhinein noch möglich.

## **Dreidimensionale Dokumentation**



Die dreidimensionale Dokumentation darf deshalb für eine Rekonstruktion der stratigraphischen Sequenz nicht fehlen.

Es gibt dafür verschiedene Systeme, von händischer oder semiautomatischer Vermessung mittels Totalstation, über Stereophotogrammetrie bis hin zum Laserscanning. Im besten Fall kann man mit diesen Methoden die Schichtoberflächen und die in den Schichten befindlichen Objekte und Strukturen dokumentieren.

Die Auswertung dieser Daten kann die stratigraphische Sequenz virtuell wieder aufbauen und ersetzt den mittlerweile zerstörten Grabungsbefund. Anhand der digitalen Schichtabfolge können Arbeitshypothesen überprüft und gegebenenfalls an die Situation angepasst werden.

Somit verfügt der Ausgräber über verbesserte Eigenkontrolle und kann darüber hinaus der Forschungsgemeinschaft relativ leicht die eigenen Ergebnisse zur Verfügung stellen und weitere Meinungen einholen.

Voxel (*volumetric pixel*) nehmen dabei eine wichtige Rolle ein, da sie die digitalen Bausteine sind, aus denen virtuelle archäologische Schichten zusammengesetzt werden können. Der Begriff Voxel stammt aus der 3D-Computergraphik, wo ein Voxel ein dreidimensionales Bildelement eines Volumendatensatzes bezeichnet, das Farbinformationen trägt. In der Archäologie werden die Voxel ebenfalls dazu eingesetzt, ein dreidimensionales Teilchen eines Volumendatensatzes darzustellen, sie können allerdings vielfältige Informationen beinhalten (Farbe, Bodentyp, Feuchtigkeitsgehalt, Material, Phase,...)

## **Die virtuelle Rekonstruktion eines archäologischen Befundes**

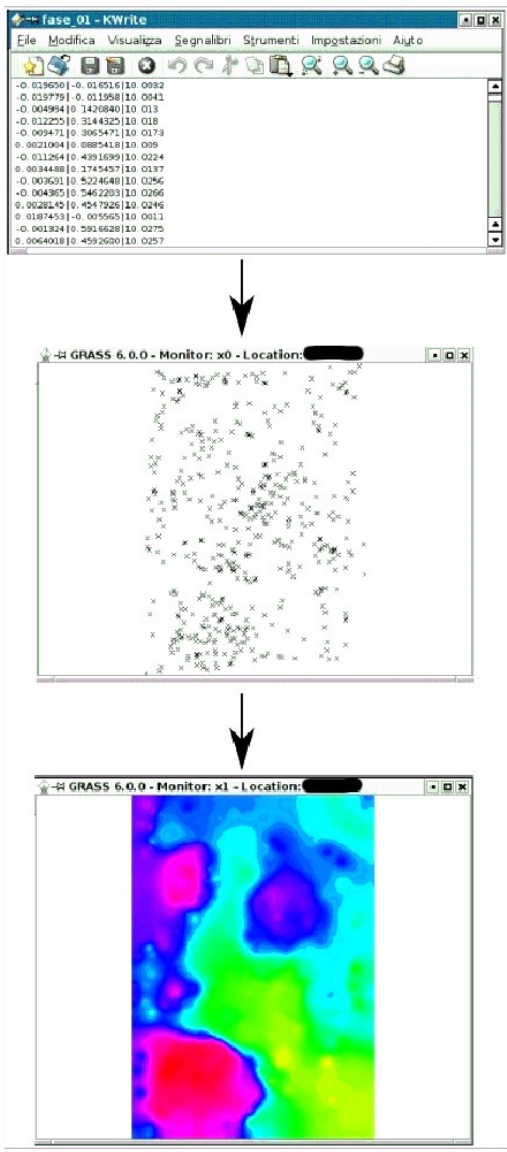
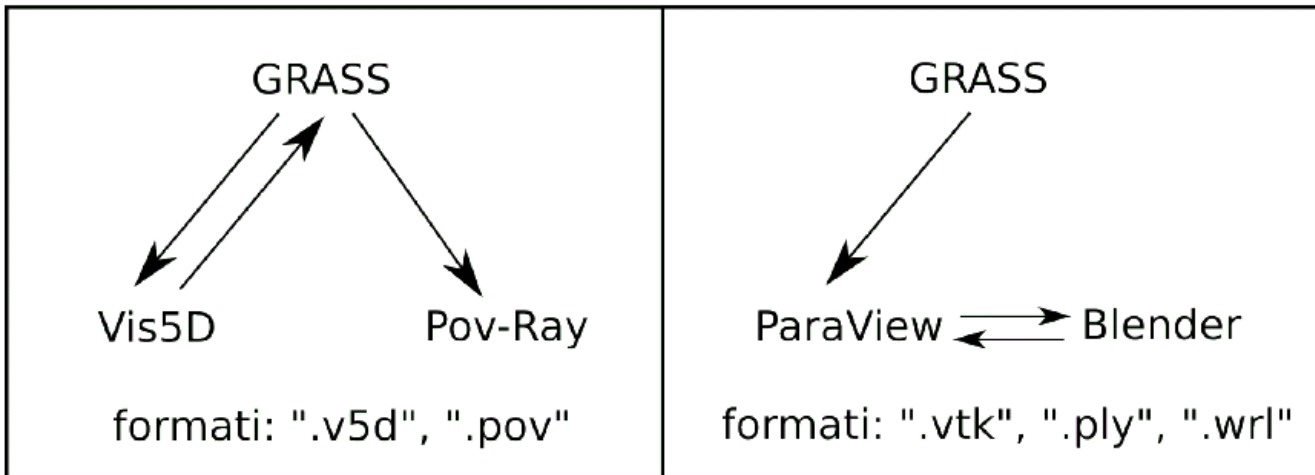
Im zweiten Teil dieses Artikels geht es um den konkreten Fall der Dokumentation und Auswertung einer Grabung mit Hilfe von Voxel-Graphik.

## **Systemkonfiguration**

Die Datenaufnahme auf der Grabung erfolgte mit Hilfe einer Totalstation. Die Auswertung erfolgte auf einem Notebook mit Pentium 4 Prozessor (3.0 GHz) auf dem Debian Sarge als Betriebssystem installiert ist. Das verwendete Softwarepaket besteht aus einem Geographischen Informationssystem, aus einem Programm für 3D - Graphik und einem Viewer.

Das GIS dient zur Auswertung, Verwaltung und Darstellung der Grabungsdaten (Datenbank,

kartographische Daten, Photomosaik, Geländemodelle, etc.), das Programm für 3D - Graphik ermöglicht die Rekonstruktion einzelner Fundstücke, während im Viewer beide Datenströme vereinigt und darstellt. Er ersetzt damit den Viewer des GIS, der zur Darstellung von Voxel in Kombination mit anderen Objekten noch nicht geeignet ist.



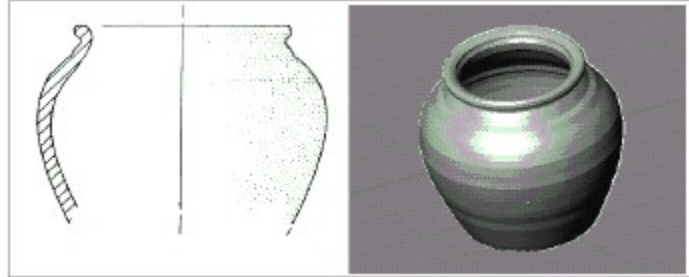
Eine ähnlich Systemkonfiguration kam z.B. in Projekten aus dem Bereich der Meteorologie zum Einsatz (<http://grass.itc.it/grid3d/>). Dort verwendete und kombinierte man andere Programme, z.B. GRASS, PovRay und Vis5D; GRASS wurde als zentrales System eingesetzt, da es im Stande ist, die Fileformate der anderen Programme zu interpretieren und/oder zu exportieren. In unserem Fall benötigten wir jedoch eine andere Systemkonfiguration, die es ermöglichte, sich auf ein Dateiformat zu beschränken. Trotz allem blieb GRASS weiterhin im Zentrum des Systems. Als am besten geeignetes Format erschien dabei \*.VTK, das von den Voxel-Modulen in GRASS (geschrieben von Soeren Gebbert) verarbeitet werden kann. Zur dreidimensionalen Rekonstruktion und zur Darstellung verwendeten wir Blender und ParaView, da sie großes Potenzial und relative Benutzerfreundlichkeit gepaart mit weiter Verbreitung in der Community bieten. Die Systemkonfiguration, mit der uns Voxel-Analysen erstmals gelungen sind, war: GRASS (6.0.0 und 6.1.cvs\_2006\_02\_04), Blender v. 2.36 und Paraview v. 2.4.

**Datenverarbeitung**

Zwei Arten von Daten wurden verwendet: Zur Rekonstruktion der Volumina diverser archäologischer Schichten wurden

Punktwolken verarbeitet, die aus der Messung von Schichtoberflächen gewonnen worden sind (Mittels Totalstation). Ergänzt wurden sie durch automatische Oberflächengenerierung aus überlappenden Aufnahmen (Stereophotogrammetrie). In GRASS wurden die Rohdaten (xyz ASCII) in Rasterdaten umgewandelt (DEM). Die dazu nötigen Schritte in GRASS sind in einem eigenen Tutorial genau beschrieben. Zur Rekonstruktion der Funde digitalisierten wir deren Geometrie aus Orthophotos, während die dritte Dimension aus den zugehörigen Oberflächenmodellen stammt. Das Ergebnis war eine Reihe von Vektorpolygonen, denen, nach dem Import in GRASS, noch eine weiterer Wert, nämlich die Stärke hinzugefügt worden ist. Dabei hielten wir uns an die gängigen archäologischen Typologien (Es handelte sich vor allem um Keramik und Knochenfragmente).

Der Vorgang beschränkte sich darauf, die Vektorpolygone um einen Mittelwert zu extrudieren. Mit Blender wurde schließlich der Versuch gemacht, wo möglich, einige sehr gut erhaltene Objekte zu rekonstruieren. Die dazu nötigen Arbeitsschritte sind im speziellen Blender Tutorial genau beschrieben. Nachdem



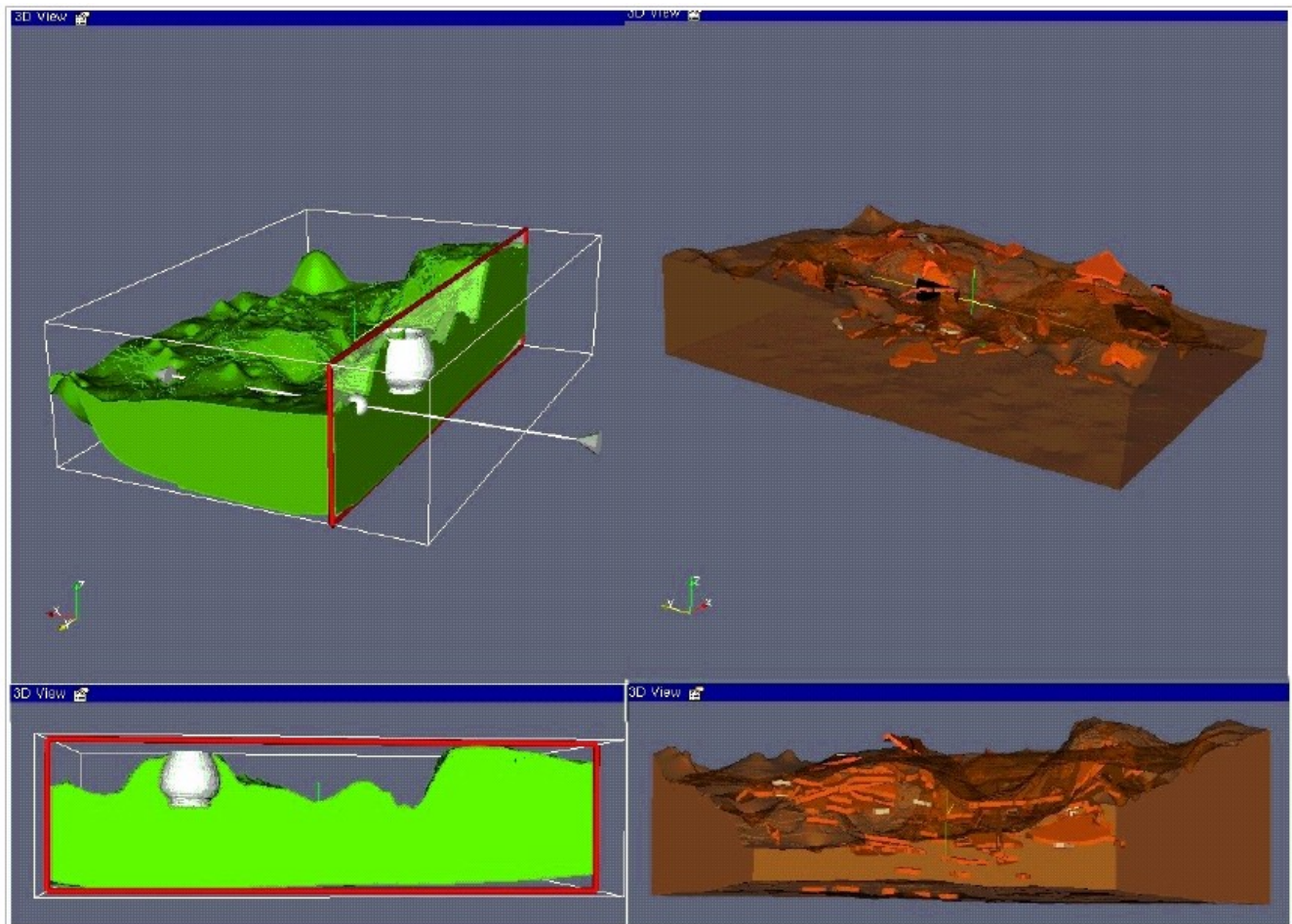
die Verarbeitung abgeschlossen war, wurden alle Daten im \*.vtk Format exportiert und in eigenen Ordnern abgespeichert.

### **Erzeugen von Volumina (Voxel - Graphik)**

Zwar stellt die Aufnahme von Oberflächenmodellen archäologischer Schichten bereits einen großen Sprung im Verhältnis zu traditionellen Dokumentationsmethoden dar, sie bleibt unter vielen Gesichtspunkten dennoch lückenhaft. Vor allem Informationen zur Bildung/Ablagerung von Schichten gehen verloren, wenn ein Stratum nur als Oberfläche wahrgenommen wird. Um die Masse angemessen zu erfassen, die sich zwischen einem unteren und oberen Interface abgelagert hat, muss man den Schritt hin zu Voxel gehen. Dank spezieller Fähigkeiten von GRASS ist es möglich, aus zwei Oberflächenmodellen die dazwischen liegende Schicht als Volumenkörper abzuleiten. Die einzelnen Teilchen dieses Volumens sind die Voxel. Ihre Anzahl hängt (identisch zu zweidimensionalen Rastergraphiken) von der Auflösung des Datensatzes ab. In GRASS führt das Modul r3.out.vtk diese Operation durch. Dabei handelt es sich um ein reines Exportmodul, sodass es zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich ist, Voxelmodelle im Format \*.vtk in GRASS zu importieren. Aus diesem Grunde haben wir den Schritt hin zu einem externen Visualisierungsprogramm gemacht und haben ParaView anstatt dem 3D Viewer Nviz von GRASS verwendet. ParaView stellt in diesem Zusammenhang eine gute Lösung dar, da die Software sehr einfach und intuitiv in ihrer Verwendung ist und gleichzeitig eine gute Kommunikation mit den anderen beteiligten Programmen ermöglicht. Daneben beinhaltet es eine Reihe von Routinen zur Analyse, welche ein GIS in seiner Natur nicht bieten kann. In ParaView sind Daten dreier Arten zusammengefließen: Volumina archäologischer Schichten aus GRASS (zwischen zwei übereinander liegenden Oberflächen), Volumina von Fundobjekten ebenfalls aus GRASS (Digitalisierte und extrudierte Grundformen) und dreidimensional rekonstruierte Objekte aus Blender

(aus der archäologischen Fundzeichnung, wie beschrieben im Blender-Tutorial).

Das Endergebnis ist ein Modell der abgelagerten archäologischen Schichten, wie es sich vor dem Beginn der (zerstörenden) Grabung darstellte. Es enthält sämtliche existierenden und relevanten Komponenten, von der Schicht bis hin zum einzelnen Fundgegenstand.



### Schlussfolgerungen

Schließen wir mit einigen Bemerkungen zur Interoperabilität der verschiedenen, im Experiment verwendeten Programme: Obwohl wir mit der oben beschriebenen Kombination unterschiedlicher Programme ausgezeichnete Erfolge erzielen konnten, stellten sich die größten Probleme vor allem beim Export und Import von Daten in GRASS. Solange GRASS das Format \*.vtk nicht direkt lesen kann, sind wir gezwungen, auf ein externes Programm zur Visualisierung archäologisch relevanter Volumina zurückzugreifen. Auch eine voll entwickelte Austauschbarkeit von Daten mit Blender (\*.blend) würde viele Arbeitsschritte immens beschleunigen. Dagegen hat die ständige Weiterentwicklung des Moduls zum Import von \*.dxf Dateien große Fortschritte gemacht und ermöglicht eine qualitativ hochstehende Visualisierung in Programmen wie z.B. mesh 3D. Leichter stellte sich dagegen die Kommunikation zwischen Blender und ParaView dar, die über drei gemeinsame Formate verfügen: "\*.vtk", "\*.wrl" und "\*.ply" (ein sehr gängiges Format im Bereich des

Laserscannings).

Negativ ist bei der Verwendung des VTK-Formates zu bemerken, dass die Files viel Speicherplatz belegen. Alle Arbeitsschritte sind jedoch auch ohne Paraview durchführbar, da GRASS mit seinem Viewer *Nviz* Voxel einlesen und darstellen kann. Einziger Nachteil dabei ist, dass alle externen Daten (z.B. rekonstruierte Objekte) zuerst in GRASS-Formate umgewandelt werden müssen, um dargestellt werden zu können. Darüber hinaus verfügt Paraview über spezielle Werkzeuge zur Analyse von Volumina.

Die Verwendung von Voxel als Bildelemente der Darstellung von Volumina in der Archäologie steht im Jahr 2006 noch am Anfang, ausgereifte Werkzeuge zum täglichen Gebrauch müssen erst entwickelt werden. Unser Versuch sollte zeigen, dass es prinzipiell möglich ist, gut dokumentierte, archäologische Schichten als Voxel darzustellen und in einen Kontext mit den darin gefundenen Objekten zu bringen.

Literatur:

M. Neteler - H. Mitasova, Open Source GIS: a GRASS GIS approach (2002).