

---

# **Bestimmung eines detaillierten Objektmodells eines fossilen Brandungskliffs und seine interaktive realistische Visualisierung**

Frank BOOCHS, Karl-Hans EMMERMANN, Hartmut MÜLLER

## **Zusammenfassung**

Im Zuge der fortschreitenden Leistungssteigerungen von Computerhard- und Software finden sich auch auf dem Gebiet der Geowissenschaften in wachsendem Maße Anwendungen, in denen die Dokumentation und Analyse von Geoobjekten nicht mehr allein in-situ am Objekt vorgenommen wird, sondern durch virtuelle Modelle und deren Inspektion am Rechner ergänzt oder sogar ersetzt wird. Die hier präsentierte Arbeit zeigt, wie auf Basis von rein digitalen Daten und weitestgehend automatisiert detaillierte digitale Objektmodelle erzeugt und für die realistische interaktive Visualisierung im Computer aufbereitet werden können. Die Verfahrensweise wird am konkreten Beispiel eines entwicklungsgeschichtlich bedeutsamen Geotops dokumentiert.

## **1 Nutzeranforderungen**

Für die Behandlung raumbezogener Sachverhalte in geowissenschaftlichen Aufgabenstellungen wird oftmals noch eine kartographische Darstellung herangezogen, dies ist jedoch hauptsächlich durch die hohe Akzeptanz dieser Form der Dokumentation begründet und der damit verbundenen quasi standardisierten Vermittlung von Inhalten. Stehen dreidimensionale Aspekte im Vordergrund der Untersuchungen, so eignen sich digitale Objekt- bzw. Höhenmodelle sehr viel besser, die Gegebenheiten erfassen und für darauf aufbauende Anwendungen bereithalten zu können. Das Nutzungspotential von Objektmodellen hängt allerdings sehr stark von der geometrischen und morphologischen Qualität der Daten ab. Diese wird wiederum durch Art und Umfang der Datenerfassung und der dabei verwendeten Technik bestimmt. Ein weiterer Qualitätsaspekt ergibt sich durch den Inhalt der objektbezogen gespeicherten Information. Es ist zu unterscheiden, ob ausschließlich die Geometrie, ausgedrückt durch eine große Zahl einzelner Objektpunkte, abgelegt ist oder auch attributive oder physische Inhalte mit den Objektpunkten verknüpft sind. Für letztgenannten Fall besitzt man ein hohes Informationsangebot, das sich bestmöglich in einem Informationssystem, ggf. sogar in einem 3D-GIS verwenden läßt und auch alle Freiheiten für Visualisierungen aller Art und den damit möglichen Analysen eignet.

Die Spanne der Visualisierungsmöglichkeiten reicht von einfachen zweidimensional angelegten, an kartographischen Gesichtspunkten orientierten linienförmigen Darstellungen bis hin zu animierten Reisen durch virtuelle Welten. Liniengraphiken bestehen durch ihre Einfachheit, sowohl hinsichtlich der Anfertigung als auch der Darstellung, während kom-

plexere Repräsentationen sehr viel stärker das räumliche Wahrnehmungsvermögen des Beobachters anzuregen vermögen. Dies ist aber für das Verständnis von geometrisch und ggf. auch inhaltlich komplexen Sachverhalten sehr wichtig. Nicht zuletzt ist es auf diesem Wege auch möglich, Fachinformation einem fachfremden Beobachter näherzubringen und geowissenschaftliche Inhalte einem sehr viel breiteren Nutzerkreis verfügbar zu machen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Interaktion eine Rolle. Im Hinblick auf die wissenschaftliche Analyse können die verschiedensten Detail- oder Übersichtsbetrachtungen von Interesse sein, aber auch der neugierige Beobachter wünscht sich die Möglichkeit, individuell auf die visuelle Darstellung Einfluss nehmen und eigenständige Erkundungen am Objekt durchführen zu können.

## **2 Untersuchungsobjekt**

Komplexe, realistische und interaktiv steuerbare visuelle Darstellungen stehen neben der geometrisch und morphologisch korrekten detaillierten Erfassung der räumlichen Figur auch im Zentrum der Untersuchungen an dem hier bearbeiteten Geoobjekt. Es handelt sich um ein in Europa wohl einmaliges fossiles Brandungskliff, das vor einiger Zeit in einer Kiesgrube freigelegt worden ist. Es hat ein Alter von ca. 35 Millionen Jahren und dokumentiert die seinerzeitige Meeresaktivität im Mainzer Becken. Es weist unterschiedlichste morphologische Strukturen auf, die nicht nur optisch in Erscheinung treten, sondern auch als Grundlage für wissenschaftliche Analysen dienen. Hierfür ist eine exakte Erfassung des geometrischen Aufbaus ebenso notwendig wie die Registrierung des physischen Erscheinungsbildes. Die Kombination von Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit stellt dann eine wichtige Komponente für die Forschung am Objekt dar und bietet weiterhin die Möglichkeit, das Objekt einer breiten Öffentlichkeit nahezubringen.

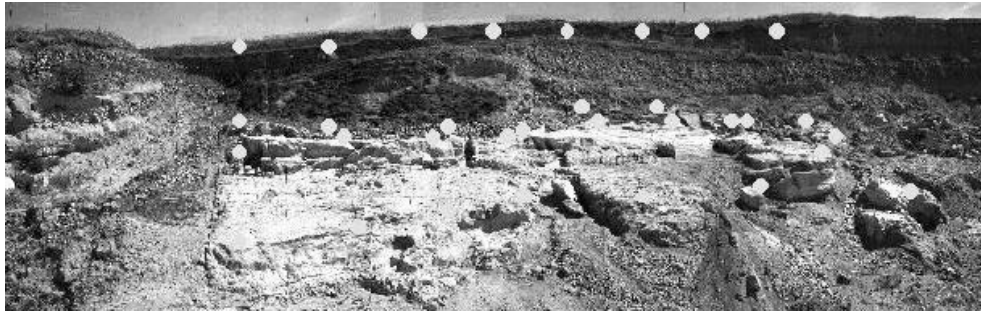
## **3 Digitales Objektmodell**

Nachfolgend wird ein Weg aufgezeigt, der zu der angestrebten geometrischen Beschreibung und deren interaktiven realitätsnahen Visualisierung führt. Das Vorgehen gründet sich auf verschiedenen Verfahrenstechniken, die in geeigneter Kombination und nach einigen Weiterentwicklungen zum angestrebten Ergebnis geführt haben. Dabei sind zwei Schwerpunkte erkennbar, die, zum einen, die weitestgehend automatisierte Bestimmung des Objektmodells zum Inhalt haben und, zum anderen, die softwaretechnische Realisierung eines auf graphischen Standards beruhenden Visualisierungskonzeptes sicherstellen.

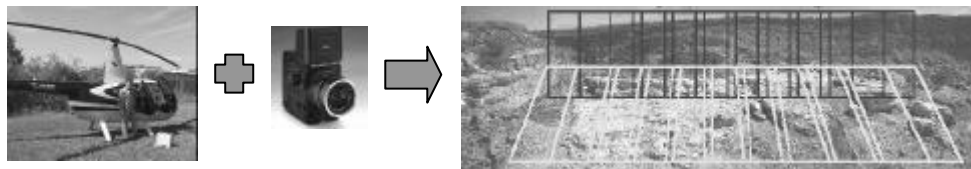
### **3.1 Datenerfassung**

Die Erfassung der Geometrie beruht auf geodätischen und digital-photogrammetrischen Methoden. Aufgabe der geodätischen Messtechnik ist die Schaffung eines verlässlichen Bezugs für die Lagerung des Objektes im Raum und für die sich anschließende photogrammetrische Datenerfassung. Letztere bietet den einzig sinnvollen Weg, das Objekt durch ein sehr dichtes Netz von Punkten exakt modellieren und gleichzeitig die erforderlichen physi-

sehen Charakteristiken mit Hilfe der registrierten Bildinformation erfassen zu können. Die Ausdehnung des Objektes (70m \* 40m \* 15m), sein morphologischer Aufbau und die benötigte Detailauflösung (ca. 1 cm im Objekt) stellen jedoch besonders hohe Anforderungen. Es sind eine Vielzahl von Bildern aus unterschiedlichsten Perspektiven notwendig, die in einen gemeinsamen Bezug zu bringen und paarweise stereoskopisch auszuwerten sind.



**Abb. 1:** Brandungskliff des Oligozän-Meeres (Alter 35 Millionen Jahre) am Steigerberg im Mainzer Becken. Die dargestellten Punkte markieren Passpunkte entlang des Kliffs und der Steilwand.

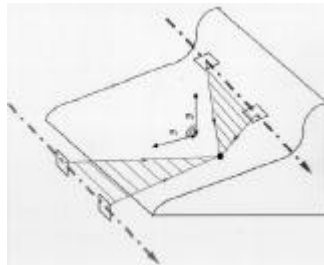


**Abb. 2:** Bildflug mit Hubschrauber und Messkamera

Das digitale Objektmodell sollte mit größtmöglicher Genauigkeit georeferenziert erstellt werden. Den Rahmen für die Georeferenzierung der Lagekoordinaten bildet das amtliche Gauß-Krüger Koordinatensystem, für die Höhenkoordinaten das NN-Höhensystem. Den Lage- und Höhenbezug liefern Passpunkte, die nach geodätischen Methoden, zum Teil mit GPS, zum Teil nach herkömmlichen tachymetrischen Verfahren, mit Koordinatengenauigkeiten im Bereich von 1 cm bestimmt sind (siehe Abb. 1).

Die photogrammetrischen Messbilder wurden mit einer für Messzwecke umgerüsteten Mittelformatkamera aus einem Hubschrauber heraus erfasst (vgl. Abb. 2). Verglichen mit einem Bildflug unter Einsatz einer professionellen aerophotogrammetrischen Ausrüstung verursachte dieses Verfahren im beschriebenen Projekt geringere Kosten bei der Datenerfassung. Es verlagert den Aufwand jedoch in die Datenauswertung, da die angestrebte gleichmäßige Verteilung der Messbilder hier u.a. wegen der manuellen Auslösung der Aufnahmen nicht erreicht werden kann und entsprechende Nachbearbeitungen notwendig werden. Die analog vorliegenden Messbilder wurden mit einem Präzisionsscanner in digitale Form gebracht, um das vorhandene hohe geometrische Genauigkeitspotential der Bilder voll

auszunutzen. Über verschiedene weitere digital-photogrammetrische Auswerteschritte wurden aus den Bildern geometrische Informationen extrahiert und schließlich die zum Zeitpunkt der Aufnahme vorliegende Orientierung der Messbilder im Raum rekonstruiert, woraus sich dann die räumliche Position beliebiger Punkte ableiten lässt (vgl. Abb. 3).

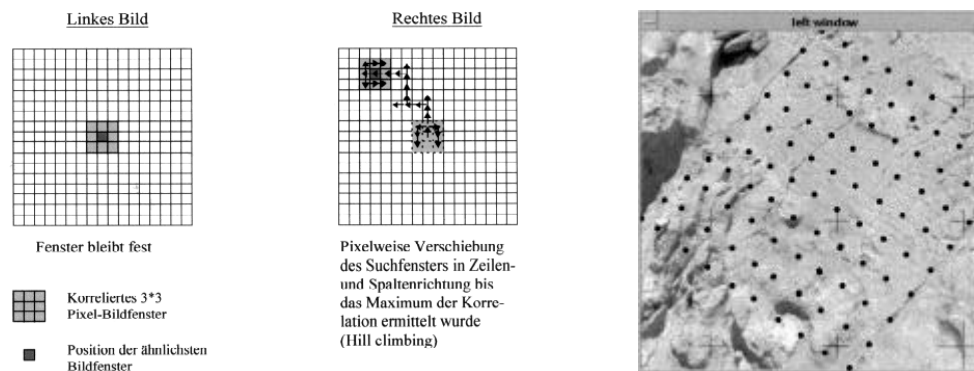


**Abb. 3:** Bestimmung von räumlichen Punktpositionen aus orientierten Messbildern

Da mit sehr hohen Redundanzen gearbeitet wurde, lässt sich die Genauigkeit dieser Rekonstruktion zuverlässig abschätzen: Punkte auf der Oberfläche des Kliffs lassen sich danach im Kernbereich aus den Messbildern mit 1 cm – Genauigkeit bestimmen, in den Randbereichen außerhalb des Kliffs sinkt die Genauigkeit geringfügig auf 2 – 3 cm ab.

### 3.2 Modellerstellung

Die benötigte Dichte von Objektpunkten (ca. 500.000 3D-Punkte) und die Formenvielfalt im Objekt verlangen eine differenzierte Auswertestrategie. Von entscheidendem Vorteil ist hier, dass die Bilder infolge der späteren Verwendung im Visualisierungsverfahren digital vorliegen und damit die Datenerfassung rechnergestützt mit Hilfe eines geeigneten Bildzuordnungsverfahrens ablaufen kann.



**Abb. 4:** Punktweise automatisierte Korrelation in Bildpaaren

Das eingesetzte Bildzuordnungsverfahren korreliert automatisch den zu einem vorgegebenen Ausschnitt eines Bildes gehörenden Ausschnitt in einem zweiten Bild. Aus den damit

bekanntem Positionen dieses Ausschnitts in beiden Bildern lässt sich, unter Berücksichtigung der bekannten Orientierung der Messbilder im Raum (siehe 3.1), auch die räumliche Position des untersuchten Ausschnitts automatisch berechnen. Setzt man dieses Verfahren auf alle Punkte eines vorgegebenen Gitters an (vgl. Abb. 4), so erhält man automatisch die 3D-Koordinaten aller Gitterpunkte. Da die Voraussetzungen für die Anwendung des Korrelationsverfahrens nicht in jedem Fall erfüllt sind, muss manuell zu behebenden Ausreißern gerechnet werden. Im bearbeiteten Projekt blieb die Ausfallquote in aller Regel unter 1 Prozent und erreichte nur in Ausnahmefällen 3 Prozent. Da mit einem extrem geringen Punktabstand von 10 cm gearbeitet wurde, blieben diese Ausfälle ohne praktische Auswirkungen auf die Qualität der Ergebnisse. Zur Verifizierung und Verbesserung der geometrischen Qualität wurden die Ergebnisse statistisch analysiert, wobei in geringem Maß auch Lücken infolge von Korrelationsausfällen nachträglich mittels Interpolation überbrückt wurden.

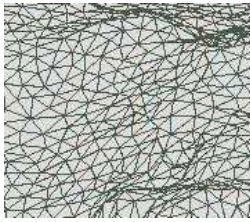
### 3.3 Visualisierung

Für die Visualisierung ist die geometrische Objektbeschreibung in mehreren Punkten aufzubereiten. Die wichtigsten Aspekte sind hierbei, dass aus dem generierten Punkthaufen eine geschlossene Beschreibung der Oberfläche gewonnen wird und den Flächenstücken die interessierenden attributiven Charakteristiken zugewiesen werden. Primär steht natürlich die physikalische Beschaffenheit, wie sie sich in dem aufgenommenen photogrammetrischen Bildmaterial wiederfindet, im Vordergrund, jedoch sind für die späteren Analysen auch andere Informationen von Interesse. Zu nennen wären beispielsweise Aussagen zur Qualität des Objektmodells oder aber auch fachbezogene Daten die aus anderen Quellen gewonnen werden können.

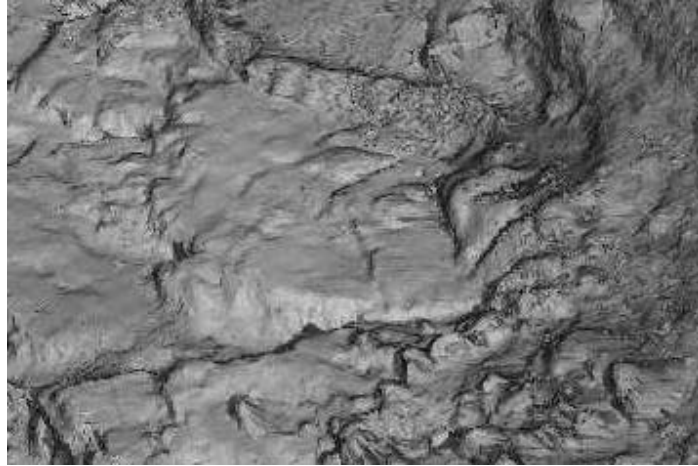
Auf diese Datenaufbereitung folgt der eigentliche Visualisierungsprozess, der dem Benutzer die Freiheit geben muss, das Objekt unter den verschiedensten Perspektiven, Auflösungen und Darstellungsformen betrachten zu können. Hierzu ist eigens ein Softwarepaket entwickelt worden, das dem Beobachter alle die gewünschten Freiheiten in der Visualisierung lässt. Die Software baut auf graphischen Standards wie OpenGL und Tcl/Tk auf und gestattet die Implementierung auf den verschiedensten Rechnerplattformen.

Selbst im Zeitalter immer leistungsfähigerer Computer stellen die hier zu bearbeitenden Datenmengen im Bereich von bis zu 1 GB erhebliche Anforderungen an die Hard- und Software, insbesondere, wenn die Bewegung solcher digitaler Modelle am Bildschirm in Echtzeit angestrebt wird, wenn also der Betrachter interaktiv das Erscheinungsbild nach seinen momentanen Wünschen steuern will. Mit der entwickelten Software wird dieses Ziel durch ein zweistufiges Vorgehen erreicht. Die auf Interaktion ausgelegte Einstellung der Perspektive (Rotation, Maßstab, Position, etc.) erfolgt zunächst über ein stark vereinfachtes und damit in Echtzeit bewegliches Modell, das, nachdem die gewünschte Ansicht gefunden ist, auf Anforderung durch den Benutzer in die endgültige Form überführt wird. Dabei bieten sich unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten an. Die einfachste Form besteht aus den im Dezimeterabstand vorhandenen 3D-Punkten. Einen besseren Eindruck von der Geometrie erhält man aus Dreiecksflächen zwischen diesen Punkten, wie sie sich beispielsweise aus einer Delaunay-Triangulation ergeben (vgl. Abb. 5). In einer weiteren Stufe ist möglich, die

in den Messbildern vorhandene Textur auf diese Dreiecke zu übertragen und so dem Betrachter zu einer anschaulicheren Vorstellung zu verhelfen, die dann den geowissenschaftlichen Fachleuten auch bei weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen dienen soll. Schließlich bietet das Visualisierungstool auch noch die Möglichkeit, Sachinformation, die in den Attributen steckt, die jedem Punkt anhaften, in die Darstellung einzubeziehen. Diese werden durch farbliche Kodierung sichtbar gemacht und geben eine zusätzliche Qualität in der visuellen Inspektion des Objektes.



triangulierte Dreiecke



Oberfläche mit Textur

**Abb. 5:** Ausschnitt aus dem digitalen Objektmodell in Perspektivansicht

## 4 Ausblick

Virtual Reality besetzt unterschiedliche Anwendungsfelder. Wissenschaftliche Anwendungen benötigen in vielen Fällen zuverlässige Aussagen insbesondere zur geometrischen Qualität der benutzten Modelle, deren nachträgliche Bestimmung sich besonders schwierig gestaltet und die in vielen Fällen dem Benutzer zur Zeit mehr oder weniger vollständig verborgen bleibt. Detailliert nachvollziehbare Verfahrensweisen bei der Erstellung dieser Modelle, wie sie im beschriebenen Projekt eingesetzt wurden, können einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung und damit zur weiteren Verbreitung digitaler Techniken in vielen Wissenschaftsdisziplinen liefern.

## 5 Literatur

- Barth, R., E. Beier & B. Pahnke (1996): *Grafikprogrammierung mit OpenGL*. Verlag Addison Wesley.
- Boochs, F., Hartfiel, P. (1989): *Festigung von Sicherheit und Zuverlässigkeit der DHM-Bestimmung bei Einsatz der Bildkorrelation*. Bildmessung und Luftbildwesen 57, Nr. 3.

- Boochs, F., Garnica, C., Wolter, F. (1998): *Determination and Interactive Visualisation of 3D-Objects..* International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, Part 5.
- Lang, R. & Kuhn, W. (1999): *Das fossile Meereskliff am Steigerberg bei Eckelsheim/Rheinhessen.* Informationen aus dem Geologischen Landesamt.
- Ousterhout, J.K. (1995): *TCL und TK.* Verlag Addison Wesley.
- Rode, K. & J. Sachreiter (1999): *Digital-photogrammetrische Vermessung eines Geotops und Erstellung einer pseudorealistischen Visualisierung.* Diplomarbeit, Fachhochschule Mainz, unveröffentlicht.
- Wolter, F. (1997): *Visualisierung einer geschlossenen Oberfläche mit OpenGL.* Diplomarbeit, Fachhochschule Mainz, unveröffentlicht.