

Signale im Sand: 3D-Erfassung und Visualisierung der "Geoglyphen von Nasca"

Journal Article**Author(s):**

Grün, Armin; Beutner, Sabine; Bär, Simon

Publication date:

2000

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005717565>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Visualisierung raumbezogener Daten

Signale im Sand: 3D-Erfassung und Visualisierung der “Geoglyphen von Nasca”

A. Grün, S. Beutner, S. Bär

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

ETH Zürich

ZUSAMMENFASSUNG

Die Geoglyphen von Nasca in Peru zählen zu den großen Rätseln der Welt. In den vergangenen 70 Jahren wurden viele Anstrengungen unternommen, diese Bodenzeichnungen zu erfassen und zu analysieren. Doch bei den verschiedenen Versuchen, ihre Bedeutung zu entschlüsseln, zeichnet sich bisher noch keine überzeugende Lösung ab, die ihren Zweck zweifelsfrei erklären würde. Die Verifizierung vieler Theorien wurde vorangetrieben und ihre Befürworter haben jeweils bestimmte Linien und Figuren ausgewählt, die ihre Theorien untermauern. Die Gesamtheit aller Linien und Linienzentren, Trapeze, biomorphen Figuren etc. hat sich bisher jedoch einer umfassenden und räumlich übergreifenden Analyse entzogen.

Derzeit arbeiten wir an einem umfangreichen Projekt mit dem Ziel, eine vollständige dreidimensionale Kartierung der Geoglyphen in den Gebieten von Nasca, Sacramento (Palpa) und San Ignacio (Palpa) mit photogrammetrischen Mitteln zu erstellen – insgesamt decken unsere Bilddaten ein Fläche von über 300 km² ab. Wir kooperieren mit Archäologen, die neben der Erforschung der Geoglyphen auch versuchen werden, die Ergebnisse ihrer Ausgrabungen in diesem Gebiet in räumlichen und zeitlichen Bezug zu den Geoglyphen zu setzen. Sie erhoffen sich einen besseren Überblick über die kulturellen und sozialen Hintergründe des Nasca-Volkes, das diesen Landstrich ca. 450 km südlich von Lima zwischen 200 v. Chr. und 600 n. Chr. besiedelte.

Wir nutzen moderne photogrammetrische Techniken für die Auswertung der Luftbilder der Geoglyphen und einige der besten Visualisierungs-Software-Pakete. Am Ende sollen alle Daten – photogrammetrische wie archäologische – auf einer GIS-Plattform integriert werden. Dies wird eine effiziente Verwaltung von Vektordaten, Sachdaten und umfangreichen Rasterbildern erfordern. Ein wesentliches Ziel des Projekts ist, die Vektordaten der internationalen Gemeinschaft von Wissenschaftlern verfügbar zu machen, die ernsthaft an der Lösung des Nasca-Rätsels interessiert ist.

Über 1000 Luftbilder, sowohl in Farbe als auch in Schwarz/Weiß, wurden in Maßstäben von etwa 1:5 000 und 1:10 000 in den Jahren 1997 und 1998 erfaßt. Darüberhinaus liegen uns einige ältere Luftbilder von Teilbereichen der Untersuchungsgebiete vor, anhand derer die Beschädigungen der Geoglyphen innerhalb der vergangenen 50 Jahre dokumentiert werden können.

Der kleinste Block Sacramento (Palpa) ist fast vollständig bearbeitet, es stehen noch letzte ergänzende und berichtigende Arbeiten am Vektordatensatz aus. Die ersten Ergebnisse wurden dem Publikum auf einer SGI Onyx2 im Rahmen der Nasca-Sonderausstellung im Rietberg-Museum in Zürich im Sommer 1999 als interaktive Visualisie-

rung vorgestellt. Im VisDome der ETH Zürich führten wir außerdem zeitgleich zur Sonderausstellung einen virtuellen Flug als Stereoprojektion auf einer 4 x 12 m² großen Leinwand vor.

Der nächstgrößere Block San Ignacio (Palpa), der sich südlich an Sacramento (Palpa) anschließt, wird momentan bearbeitet. Die Triangulation ist hier bereits abgeschlossen. Wir werden im Rahmen des GeoVISC2000-Workshops den aktuellen Stand des Projektes vorstellen.

1 EINLEITUNG

In der Wüste der peruanischen Küstenregion, 400 km südlich von Lima, liegt eines der größten Geheimnisse der Menschheit – die Geoglyphen von Nasca. Über eine Fläche von mehreren hundert Kilometern haben Völker, die früher in diesem Gebiet lebten, auf die flachen, „Pampas“ genannten Plateaus Zeichnungen in den Boden gescharrt. Es handelt sich hierbei um über tausend geometrische und biomorphe Figuren, die in variabler Grösse und Präzision ohne direkt erkennbaren Grund angelegt wurden (einige Beispiele zeigt Abbildung 1). Obwohl bereits allgemein vermutet wird, daß die meisten der Erdzeichnungen (Geoglyphen) von der sogenannten „Nasca-Kultur“ zwischen 200 v. Chr. und 600 n. Chr. hergestellt wurden, ist der Zweck dieser Arbeiten noch immer ein Rätsel. Wie häufig in solchen Fällen betreibt nur ein sehr kleiner Teil der Personen, die sich mit diesem Problem befassen, ernsthafte Forschung. Es überwiegt die Masse der selbsterklärten Experten, die ihre Meinungen in allen verfügbaren Medien, z. B. auch über das Internet, verbreiten. Heute können wir über zwei Dutzend Hypothesen zählen, die diese Phänomene erklären wollen. Die wohl populärste und gleichzeitig unwahrscheinlichste Theorie beschreibt die Linien als Lande- und Startbahnen für außerirdische Raumschiffe (Däniken, 1997).

Die eher seriösen Theorien lassen sich in folgende Kategorien untergliedern:

- (a) Astronomische Kalender,
- (b) Indikatoren unterirdischer Wasservorkommen,
- (c) Zeremonielle Bedeutung, Schamanismus,
- (d) Geometrie und künstlerischer Ausdruck,
- (e) Bewegung, Transport, Kommunikation.

Es ist schwer zu glauben, daß die Geoglyphen nur einem einzigen Zweck gedient haben. Die verschiedenen Muster und und Figuren variieren dafür viel zu stark. Wir können lange gerade Linien, sternenförmige Arrange-

ments, Dreiecke, Trapeze, Rechtecke, Spiralen, Doppelspiralen, Zickzack-Linien und mäandrierende Linien unterscheiden, außerdem biomorphe Figuren (Menschen, Tiere und Pflanzen) sowie Muster, die an nichts Realistisches erinnern.



Abb. 1: Geoglyphen von Palpa und San Ignacio. Das Bild links oben zeigt eine der schmalsten Linien, als Maßstab dient hier ein Taschenmesser.

Obwohl diese Geoglyphen, die im allgemeinen und vereinfachend als „Nasca-Linien“ bezeichnet werden, bereits den spanischen Eroberern bekannt waren, dauerte es noch bis 1926 bis die westliche Welt durch einen Bericht von Julio Tello und Toribio Mejía Xesspe (Mejía Xesspe, 1927), zwei peruanischen Archäologen, wieder von ihnen Notiz nahm. Doch wirklich bekannt wurden sie erst durch die Arbeit und den lebenslangen Einsatz von Maria Reiche (Reiche, 1969), einer deutschen Lehrerin und Mathematikerin, und auch die Bücher von Erich von Däniken (Däniken, 1970, 1997) haben dazu wesentlich beigetragen.

Maria Reiche, die einen großen Teil ihres Lebens, von 1942 bis 1998, auf den kargen Wüstenplateaus der Umgebung der kleinen Stadt Nasca verbrachte, wurde durch ihren Mentor Paul Kosok inspiriert, einen Historiker, der 1941 nach einem Flug über die Pampa von Nasca den Linien eine astronomische Bedeutung beimaß. Er vermutete in den Linien Anzeiger vergangener astronomischer Konstellationen am Himmel, die von Bauern benutzt wurden, um die jährliche Ankunft der andinen Wasserströme vor-

herzusagen. In diesem Fall wären sie als riesiger graphischer Kalender benutzt worden, ähnlich einer Sonnenuhr. Es gibt inzwischen viele Ansätze, die den Sinn der Geoglyphen erklären sollen (Kosok, Reiche, 1949; Hawkins, 1969; Morrison, 1978; Hadingham, 1987; Aveni, 1990; Reinhard, 1996) und es ist eine unüberschaubare Menge populärer Literatur erhältlich (Rohrbach, 1992; Däniken, 1970, 1997).

Viele Bestrebungen, die einzelnen Hypothesen zu belegen, haben nur bruchstückhaften Charakter. Ihnen fehlt ein Element, das wesentlich für jeden wissenschaftlichen Ansatz ist, der zu einer allumfassenden und überzeugenden Erklärung führen soll: Die vollständige Erfassung der Geoglyphen. Bis jetzt befaßten sich die Wissenschaftler jeweils nur mit den Teilen der Menge aller Geoglyphen, die ihre individuellen Theorien zu unterstützen schienen. Das ist verständlich, wenn man nur mit traditioneller Vermessungsausrüstung und –technik arbeitet, wie Theodoliten und Maßbändern. Moderne Techniken, wie digitale Photogrammetrie, Computervisualisierung und Geo-Informationssysteme (GIS), erlauben uns erstmals in einem angemessenen Zeitrahmen alle Geoglyphen dreidimensional in einem gemeinsamen Koordinatensystem mit homogener Genauigkeit aufzuzeichnen. Sie ermöglichen auch, mit modernen Werkzeugen über quantitative Vorgehensweisen die Sachverhalte objektiver zu bewerten.

Gleichzeitig werden immer mehr der Geoglyphen massiv von Zerstörung durch natürliche und menschliche Einflüsse bedroht. Die Pampa von Nasca wurde in der Zwischenzeit von der UNESCO in die World Heritage List aufgenommen (1994) und ist daher gut geschützt, andere Gebiete mit hoher Geoglyphendichte sind menschlichen Eingriffen jedoch noch immer ausgesetzt. Daher ist es höchste Zeit, all das, was hier bis zum heutigen Tag noch erhalten ist, vollständig zu erfassen.

In Zusammenarbeit mit der Schweizerisch-Liechtensteinischen Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland (SLSA) wurde ein Projekt mit den Zielen definiert, (a) die wichtigsten Geoglyphen-Vorkommen vollständig zu erfassen und (b) eine Gruppe von Archäologen zu unterstützen, die erstmals Ausgrabungen im Bereich dieser Geoglyphen vornehmen, um mehr über die Nasca-Kulturen und ihre Beziehungen zu den Geoglyphen zu erfahren. Während dreier archäologischer Kampagnen haben sie bereits bedeutsame Funde gemacht, die ebenfalls großes öffentliches Interesse gefunden haben (Reindel, 1997; Reindel, et al., 1998; Scagnet, 1998; Reindel, Isla Cuadrado, 1999; Schulz, 1999; Rehländer, 2000). Erste Ergebnisse der photogrammetrischen Verarbeitung und Visualisierung für einen Teil des Projektgebietes wurden der Öffentlichkeit aus Anlaß einer Sonderausstellung zur Nasca-Kultur am Museum Rietberg, Zürich, vorgestellt (Grün, 1999).

Wir werden hier vor allem über den photogrammetrischen Teil des Projektes berichten, d. h. über die Bildakquisition, Datenprozessierung und Visualisierung der Ergebnisse. Das Projekt beinhaltet:

- Akquisition analoger Luftbilder (mit kinematischen GPS-Messungen) sowie Digitalisierung der Bilder (Scanning)
- Bestimmung von Boden-Paßpunkten (mit statischen differentiellen GPS-Messungen)
- Aerotriangulation und Erzeugen von Digitalen Terrain Modellen (DTM) mit manuellen sowie automatisierten Verfahren
- Kartierung von 3D-Vektordaten (Geoglyphen)
- Erzeugung von digitalen Orthobildern in S/W und in Farbe
- Überlagerung der DTMs mit Textur und Vektordaten der Geoglyphen
- Erzeugung von künstlichen Ansichten und Flyovers
- Entwurf eines Datenmodells und Implementierung auf einer GIS-Plattform
- Entwicklung von GIS-basierten Analysefunktionen

Einige dieser Arbeitsschritte werden in enger Kooperation mit den beteiligten Archäologen durchgeführt, vor allem die Kartierung, die Datenmodellierung und Attributierung der Geoglyphen erfordert besondere Fachkenntnisse. Auch im Bereich der Visualisierung muß deren Ansprüchen genügt werden. Da dieses Projekt noch lange nicht beendet ist, können wir hier nur einen Zwischenbericht geben. Fragestellungen mit GIS-Bezug werden dabei noch nicht behandelt.

2 PROJEKTGEBIET UND BILDAKQUISITION

Die Kultur und die von ihr erschaffenen Geoglyphen sind nach der kleinen Stadt Nasca benannt, die im Tal des Rio Nazca gelegen ist, 60 km von der peruanischen Pazifikküste entfernt. Die Landschaft dieser Region wird von vegetationslosen Ausläufern der westlichen Andenhänge bestimmt.

Es ist ein rauher, trockener Landstrich, der nur durch schmale Flußläufe mit Wasser aus den Anden versorgt wird. Die Täler wirken allesamt wie Oasen, und nur hier kann man Landwirtschaft betreiben. Unser Interessensgebiet erstreckt sich vom Rio Grande bis zum Rio Nasca (Abb. 2). Dieses Gebiet, die „Pampas“, wird durch sehr flache Plateaus aus Sand, Geröll und kleineren Felsen geprägt. Die meisten der Geoglyphen befinden sich auf diesen geradezu idealen „Zeichentafeln“ (Abb. 3)

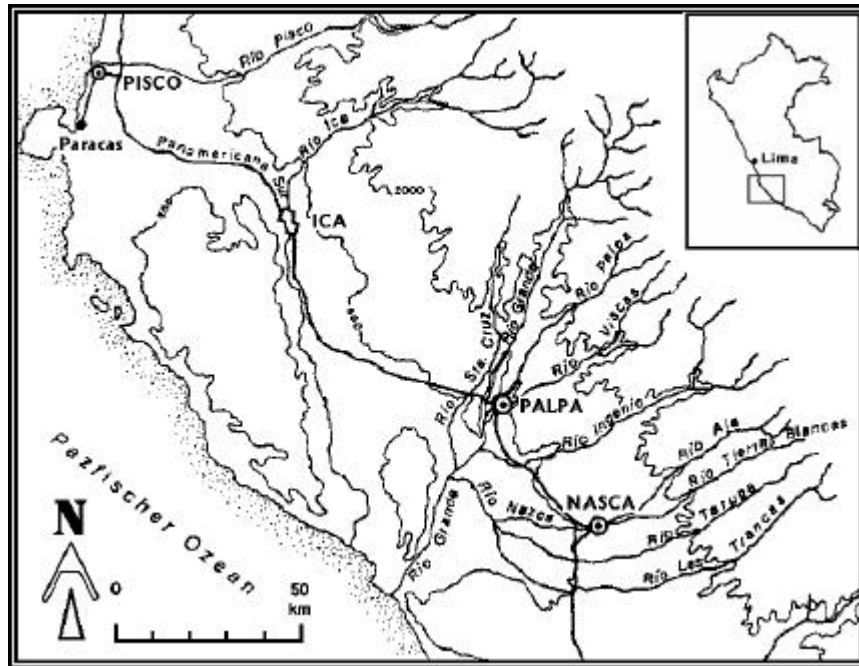


Abb. 2: Projektgebiet Palpa/Nasca

Für unsere Arbeit haben wir mit Nasca, Sacramento (Palpa) und San Ignacio (Palpa) drei der wichtigsten Vorkommen der Geoglyphen ausgewählt. Jedes Gebiet wurde durch einen separaten Bildblock abgedeckt und stellt ein unabhängiges Projekt dar.

Die Bildflüge wurden von der Firma Horizons, Inc., Rapid City, SD, USA unter Verwendung einer Reihenmeßkammer mit 15 cm Brennweite der Firma Zeiss (Zeiss RMK A15) durchgeführt. Es wurden zwei Missionen geflogen: Farbaufnahmen am 30. April und 1. Mai 1997 für die Blöcke von Nasca und Sacramento (Palpa) und S/W-Aufnahmen für alle drei Blöcke am 23. und 25. Mai 1998. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die Projektcharakteristika.

Tab. 1: Projektparameter für Nasca, Sacramento und San Ignacio

Block	Bildflug	Anzahl der Bilder	geplanter Maßstab	Art der Bilder *	Anzahl der Paßpunkte
Nasca	04/05'97	309	1:10 000	F	11
	05'98	309	1:10 000	S/W	-
Sacramento	04/05'97	134	1:5 000	F	8
	05'98	134	1:5 000	S/W	-
San Ignacio	05'98	189	1:5 000	S/W	9 (natürl.)

* (F: Farbe, S/W: Schwarz/Weiß)

Insgesamt haben wir mehr als 1000 Luftbilder in Farbe und S/W für Sacramento und San Ignacio im Nominalmaßstab von 1:5 000 und 1:10 000 für Nasca produziert. Die Bildmaßstäbe wurden so gewählt, daß die schmalsten Linien noch erkennbar sind, die in Sacramento und San Ignacio eine Breite von etwa 10 cm haben (Abb. 1). Die Überlappung der Bilder beträgt 60 % sowohl in Flugrichtung als auch quer dazu.

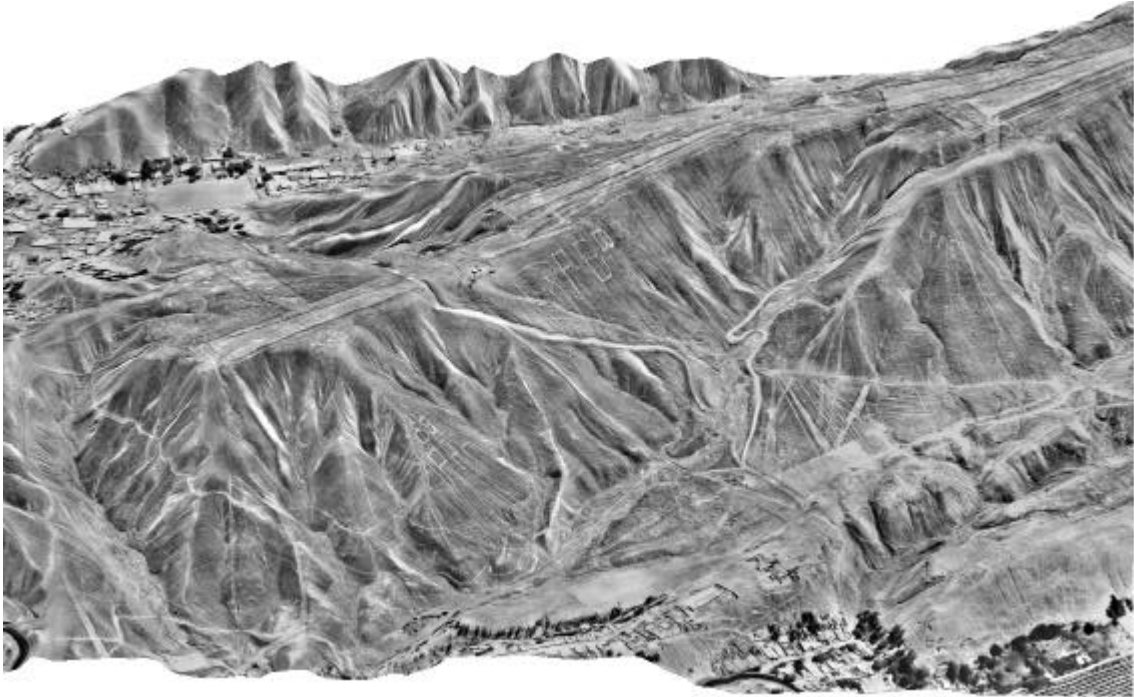


Abb. 3: 3D-Modell eines Abschnitts der Cresta de Sacramento, einer Stelle mit hoher Geoglyphen-Dichte nahe Palpa

Seit die Pampa von Nasca in die World Heritage List der UNESCO aufgenommen wurde, ist der Zugang stark eingeschränkt. Nur einige unbefestigte Straßen sind befahrbar und so mußten wir uns auf nur sehr wenige Paßpunkte beschränken (Tab. 1). Aus diesem Grund wurden während der Bildflüge im April und Mai 1997 über den Gebieten von Nasca und Sacramento zusätzliche kinematische GPS-Messungen durchgeführt. In diesen Blöcken wurden signalisierte Paßpunkte verwendet, die bei den zusätzlichen Flügen im Mai 1998 nicht mehr verfügbar waren. Außerdem fielen im Mai 1998 die GPS-Beobachtungen weg. Im Sommer 1999 organisierten wir eine terrestrische GPS-Kampagne, um die Koordinaten der 9 natürlichen Paßpunkte des Blockes San Ignacio zu bestimmen.

Die S/W-Bilder der Blöcke von Nasca und Sacramento von 1998 mußten via Triangulation mit den Blöcken von 1997 verknüpft werden, da nur hier Paßpunkte bestimmt wurden. Alle GPS Koordinaten wurden in das perua-

nische System UTM Zone 18 transformiert, das auch den nationalen topographischen Karten im Maßstab 1:50 000 zugrunde liegt.

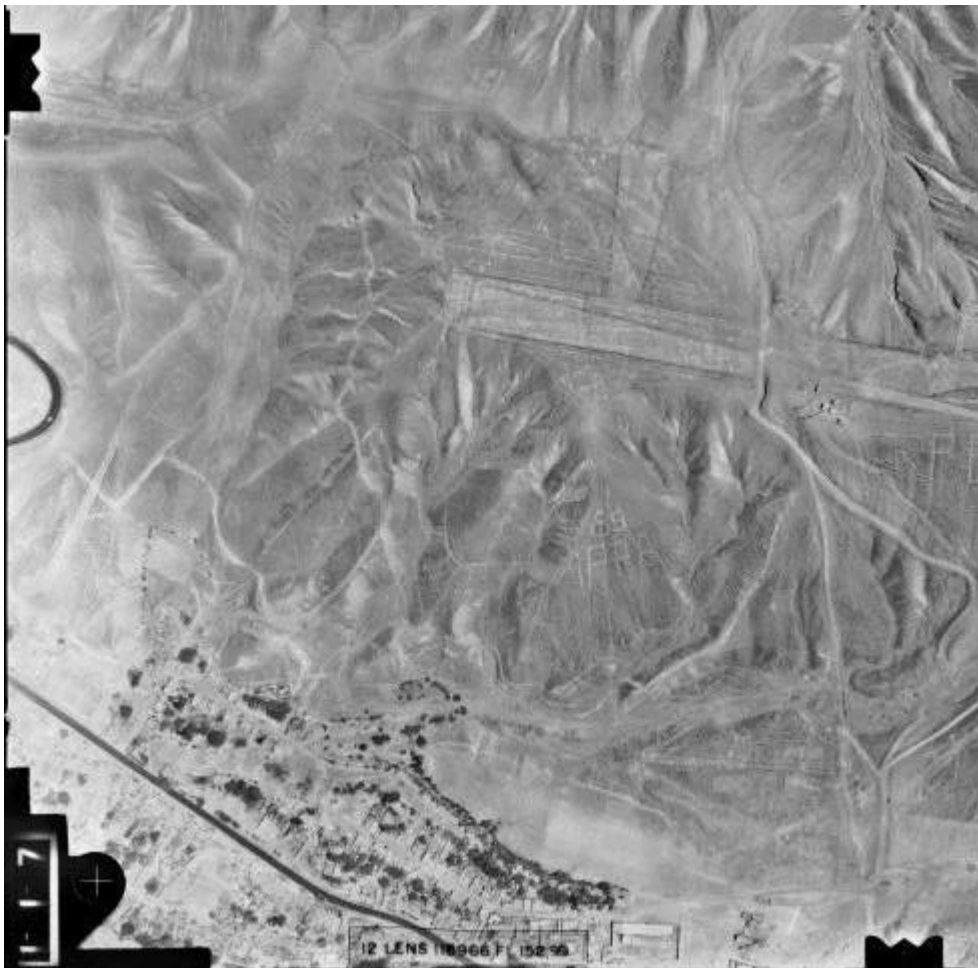


Abb. 4: Teil eines S/W-Luftbildes des Blocks Sacramento

Es gibt einige Luftbilder aus vorhergegangenen Missionen des SAN (Servicio Aerofotográfico Nacional), aber die meisten dieser Blöcke wurden für Belange der Landwirtschaft oder Landesentwicklung befliegen und decken überwiegend die Täler ab, die keine Geoglyphen enthalten. Unser ältester Satz von Bilddaten stammt von 1944 und zeigt den gegenüber heute besseren Zustand der Geoglyphen. Es gab auch Versuche, die Pampa von Nasca mit 70 mm Photos von einem Ballon oder einem kleinen Flugzeug aus festzuhalten (Aveni, 1990), aber diese Bemühungen schlugen fehl, da entweder die Aufnahmebedingungen des Ballons unkontrollierbar waren oder der Bildmaßstab (1:24 000) der Bilder vom Flugzeug zu klein. Unsere Photos stellen den ersten kompletten Satz von Luftbildern dieser Gebiete mit einem ausreichend großen Maßstab dar, die zur Stereoauswertung geeignet sind.

3 PHOTOGRAMMETRISCHE AUSWERTUNG

Nachfolgend werden wir nur über die Auswertung der Blöcke Sacramento und San Ignacio berichten. Diese Gebiete haben Vorrang, weil die Ausgrabungsarbeiten der am Projekt beteiligten Archäologen hier stattfinden. Die reine Datenerfassung für das Teilprojekt Sacramento ist dabei weitestgehend abgeschlossen, während die Arbeiten für San Ignacio noch andauern.

3.1 Aerotriangulation

Wir entschieden uns von Anfang an, die Messungen manuell auf unseren Analytischen Plottern WILD AC 3 und WILD System 9 durchzuführen. Unsere Vermutung, daß die automatische Messung der Verknüpfungspunkte wegen der schwachen Textur in vielen Regionen der Blöcke sehr problematisch würde und kein effektives Matching zuließe, bestätigten spätere Tests.

Die Triangulation des Farbblocks von Sacramento wurde mit 88 Bildern in 8 Streifen und 8 Paßpunkten durchgeführt. Da wir mit der Qualität der Bilder von 1997 nicht zufrieden waren (Kratzer und Unschärfen), gaben wir die zusätzliche S/W-Befliegung in Auftrag, die ein Jahr später durchgeführt wurde. Zu diesem Zeitpunkt, als wir uns nicht vor Ort befanden, waren die signalisierten Punkte nicht mehr vorhanden. Außerdem wurde während des Fluges kein kinematisches GPS mehr eingesetzt. Daher mußten wir den S/W-Block von Sacramento über natürliche Punkte mit Bildern aus dem Farb-Block verknüpfen, um auf die Koordinaten der Paßpunkte zugreifen und damit den S/W-Block absolut orientieren zu können. Wir rechneten anschließend eine gemeinsame Bündelblockausgleichung der Farb- und der S/W-Bilder, die auch die Daten des kinematischen GPS (S/W+F) einschloß. Die Resultate der Triangulation sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2: Triangulations-Charakteristika der Projekte Sacramento und San Ignacio

Block	Version	Anzahl der Bilder	Anzahl der Paßpunkte	Einsatz von kinemat. GPS	s_0 [mm]
Sacramento	S/W+F	211	8, signal. in F	ja	13.3
San Ignacio	S/W	168	9 natürliche	nein	9.5

Obwohl der Bildflug mit einem Bildmaßstab von 1:5 000 geplant war, zeigte sich, daß er tatsächlich nur etwa 1:7 000 beträgt. Die Genauigkeit des gesamten Blocks Sacramento von $\sigma_0 = 13.3 \mu\text{m}$, entsprechend 9.3 cm im Landeskoordinatensystem, war für den Zweck des Projektes gut genug. Aufgrund des hohen Rauschanteils würde eine Selbstkalibrierung die Resultate nicht verbessern, weshalb sie auch nicht benutzt wurde.

Das Teilprojekt San Ignacio wurde mit 168 Bildern in 10 Streifen trianguliert. Es standen 9 natürliche, nicht signalisierte Paßpunkte zur Verfügung, von denen 8 gut über die westliche Blockhälfte verteilt waren und der neunte am östlichen Rand lag. Diese recht ungünstige Konstellation war durch den beschränkten Zugang zum Gebiet begründet. In diesem Block muß der tatsächliche Bildmaßstab ebenfalls mit 1:7 000 angesetzt werden. GPS wurde nur zur Bestimmung der Paßpunkt-Koordinaten eingesetzt. Aus der Triangulation des Blocks San Ignacio ergibt sich nach der Bündelblockausgleichung eine Gesamtgenauigkeit von $\sigma_0 = 9.5 \mu\text{m}$ (Tab. 2), was im Objektraum einem Wert von 6.7 cm entspricht.

3.2 DTM-Generierung

Um ein DTM der Region um Sacramento zu erzeugen, mußten 57 S/W-Stereopaare gemessen werden. Auch hierbei entschieden wir, manuell zu messen, da wir insbesondere für die Integration der Textur und der Vektordaten der Geoglyphen ein sehr präzises DTM benötigten, denn jegliche Abweichung zwischen Vektordaten und der Textur würde sich bei der späteren Visualisierung stend auswirke.

Erste Untersuchungen mit kommerziellen Software-Paketen zum automatischen Image-Matching zeigten daß wir mit automatischen Verfahren die gewünschte Genauigkeit des DTM nicht erhalten würden. Weitere Tests, welche inakzeptable DTM-Resultate in den ausgedehnten textur- und kontrastschwachen Bereichen der Bilder erzielten, in denen sich die meisten Geoglyphen befinden, bestätigten dies.

Vor kurzem untersuchten wir noch einmal die Leistungsfähigkeit automatischer Matching-Verfahren auf drei verschiedenen kommerziellen Systemen mit einem Modell des Blocks von Sacramento. Wir erhielten viele grobe Fehler und mit RMS-Werten von 0.55 m und mehr ein relativ schlechtes Ergebnis verglichen mit der theoretischen Genauigkeit von 0.2 m, die man von manuellen Messungen erwarten kann (0.015 % der Flughöhe über Grund).

In Sacramento arbeiteten wir mit parallelen Profilen in einem Abstand von 20 m und rechneten zusätzliche Bruchkanten ein. So erhielten wir über 200 000 Punkte für ein Fläche von 2x 9 km. Später integrierten wir auch

die Vektordaten der Geoglyphen als Bruchkanten in das DTM. Abbildung 5 zeigt ein schattiertes Wireframe-Modell des Plateaus, Cresta de Sacramento', das den Großteil der Geoglyphen in diesem Projekt enthält. Die flache Region ist das Tal des Rio Grande, die wichtigsten Ausgrabungsorte La Muña und Los Molinos werden angezeigt.

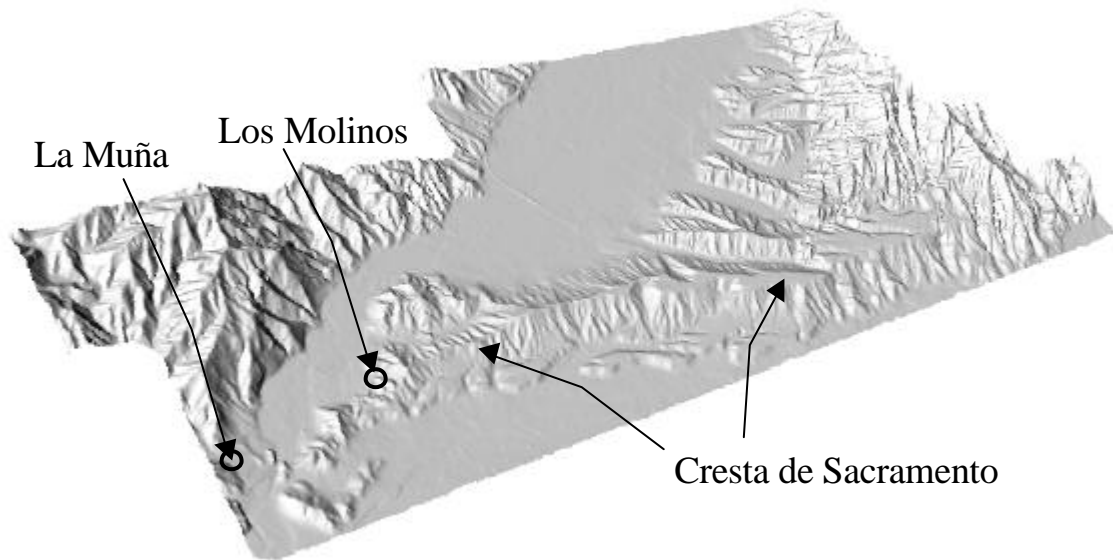


Abb. 5: Schattiertes DTM der Region Sacramento

Das Wireframe-Modell dient als Basis für die Produktion von Orthobildern und Visualisierungen. Wir erzeugten Modelle mit Rasterweiten von 25 m für Übersichtsdarstellungen bis hin zu 1 m für hochauflösende Anwendungen.

3.3 Orthobilder

Alle Luftbilder, in S/W wie in Farbe, wurden mit einer Auflösung von 21 mm Pixelgröße auf dem Agfa Horizon Imagescanner digitalisiert. Im Fall des Blockes Sacramento ist dies einem „Footprint“ von 15 cm im Objekt, was ungefähr der Größenordnung der schmalsten Geoglyphen dieser Region entspricht. Einige Bilder wurden vom Bundesamt für Landestopographie, Wabern (Schweiz), mit einer Auflösung von ebenfalls 21 mm Pixelgröße gescannt. Für die Herstellung der Orthobilder und Mosaikierung benutzten wir das System Leica/Helava DPW 770. Das größte damit erzeugte Mosaik besteht aus 34 Bildern und benötigt 1.4 GB Speicherplatz. Die Auflösungsstufen reichen von 25 cm bis 2 m im Objektraum.

3.4 Vektorisierung der Geoglyphen

Die 3D-Kartierung der Geoglyphen wurde manuell am analytischen Plotter ausgeführt. Da archäologische Kenntnisse unverzichtbar für die zutreffende Interpretation der Geoglyphen und anderer archäologischer Objekte sind, wurden die Stereomessungen von einem Archäologen durchgeführt, der an diesem Projekt beteiligt ist.

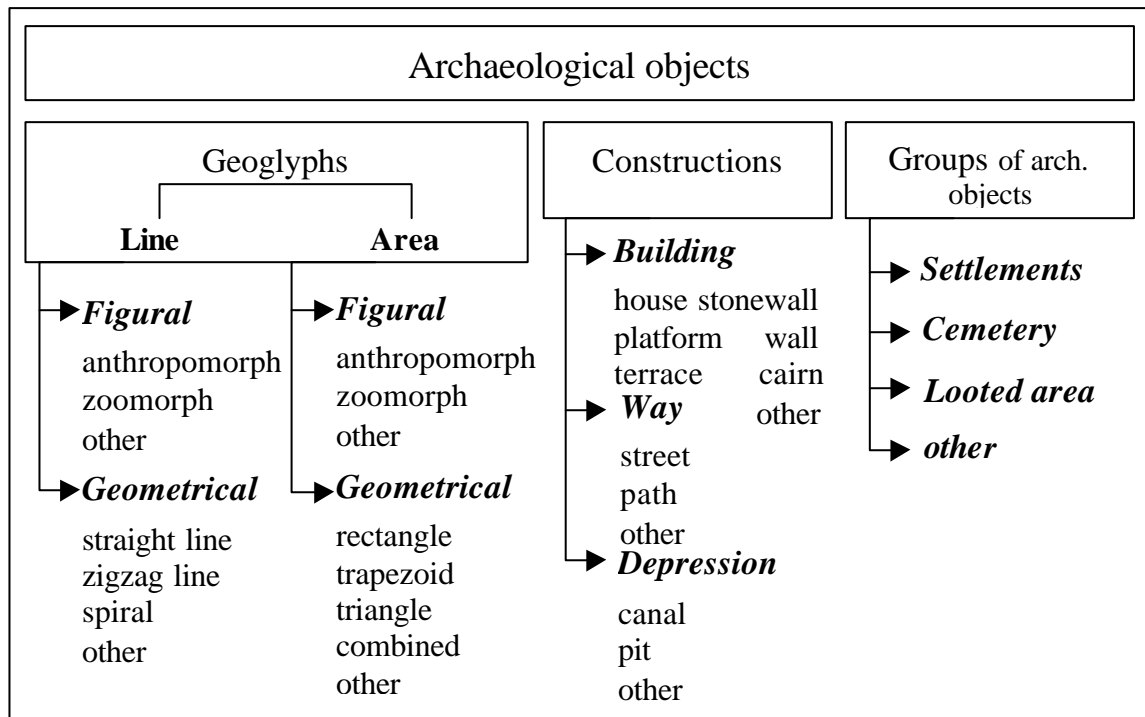


Abb. 6: Klassifikationsschema der archäologischen Objekte. Die unterste Stufe (Stratigraphie und Herstellungsart) ist nicht dargestellt.

Für spätere Analysen auf einer GIS-Plattform mußten wir ein System von Attributen (Abb. 6) zur Definition eines Datenmodells entwickeln, das die vielfältigen Typen von Geoglyphen und anderen Objekten von archäologischem Interesse, wie antike Siedlungsreste, Befestigungsmauern, Terrassen, Plattformen, ausreichend genau klassifiziert.

Die Attribute enthalten auch Informationen zur Stratigraphie sowie zur Herstellungsart der Geoglyphen. So gibt es negative (aus aufliegenden Steinen) und positive (durch Wegräumen dieser Steine geschaffene) Flächen, gehäufte, geräumte und gefurchte Linien. Entsprechende Feature-Codes werden zu den 3D-Objekten im speziellen Format der Mapping-Software des Plotters, XMAP von Aviosoft, gespeichert. Anschließend kann dieses Format in DXF umgewandelt werden, wobei die Feature-Codes erhalten bleiben.

Übersichts- und Detailkarten, die die Geoglyphen und Höhenlinien enthalten, wurden mit Hilfe der Software ArcView Rel. 3.1 erstellt und von den Archäologen im Feld auf die korrekte Attributierung und Geometrie sowie Vollständigkeit hin überprüft. Mit Maßstäben von 1:24 000 bis 1:6 000 für die Übersichten und 1:1 000 bis 1:500 und in Ausnahmefällen auch 1:100 für die Detailansichten sind diese Karten die besten, die es bislang von der Gegend gibt.

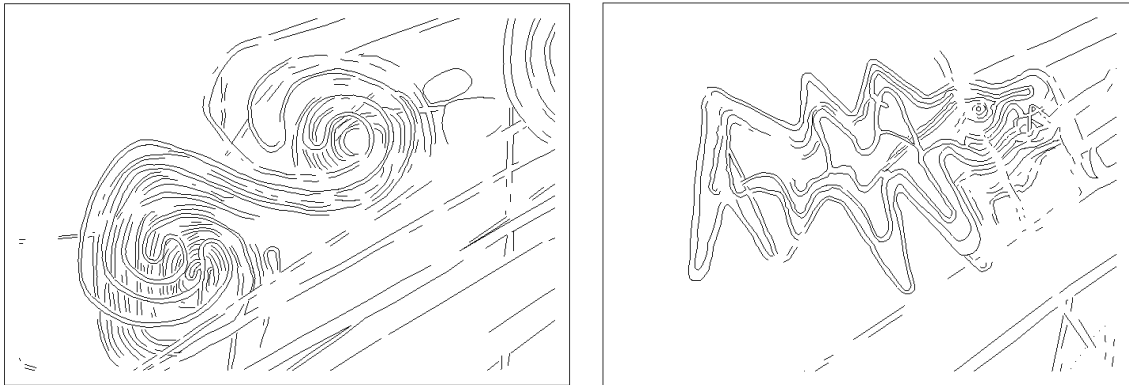


Abb. 7: Figürliche Geoglyphen in Sacramento: Doppelspiralen (links), Wal (rechts)

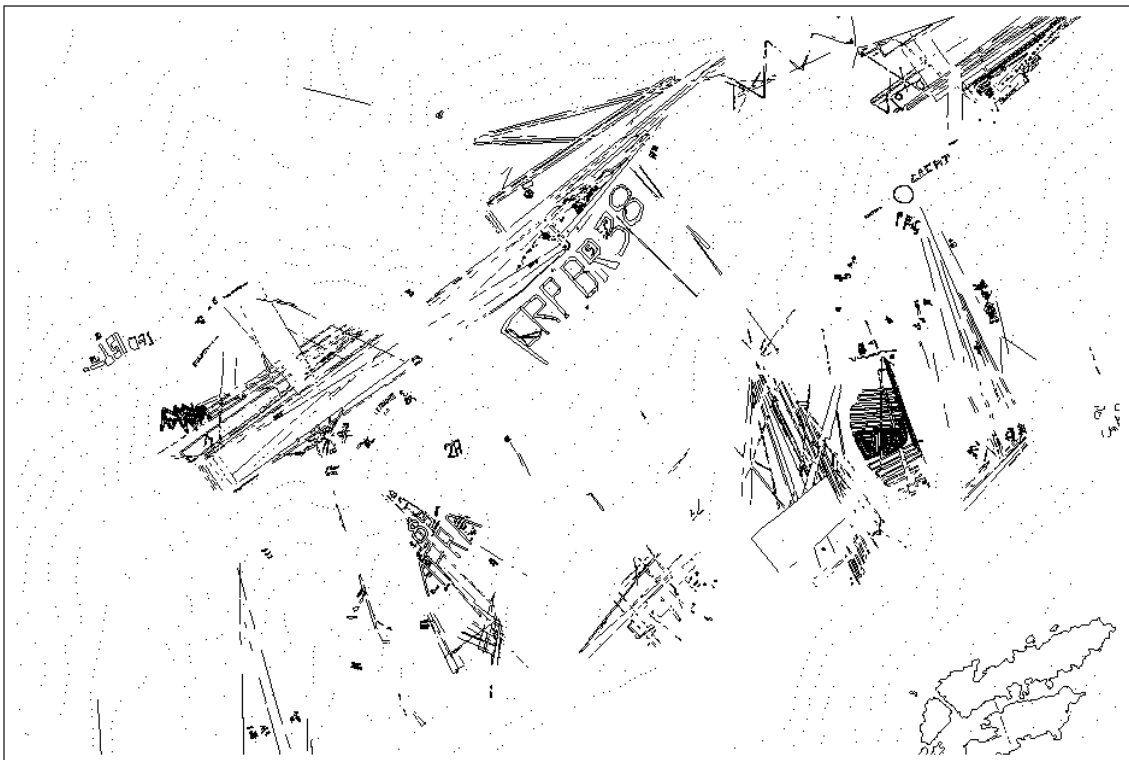


Abb. 8: Vektorbild der Geoglyphen eines Ausschnitts im Zentrum von Sacramento

Allein im Projektgebiet Sacramento erzeugten wir mehr als 9 500 Vektorsegmente. Abbildung 7 zeigt zwei Einzelobjekte der Geoglyphen von Sacramento – sich überlagernde Doppelspiralen sowie einen Wal (vgl. Abb. 1).

Einen kleinen Ausschnitt mit sehr hoher Dichte der Zeichnungen sieht man in Abbildung 8. Abbildung 9 zeigt daraus vergrößert die sogenannte „Sonnenuhr“, den „Hasen“ und die „Schlange“.

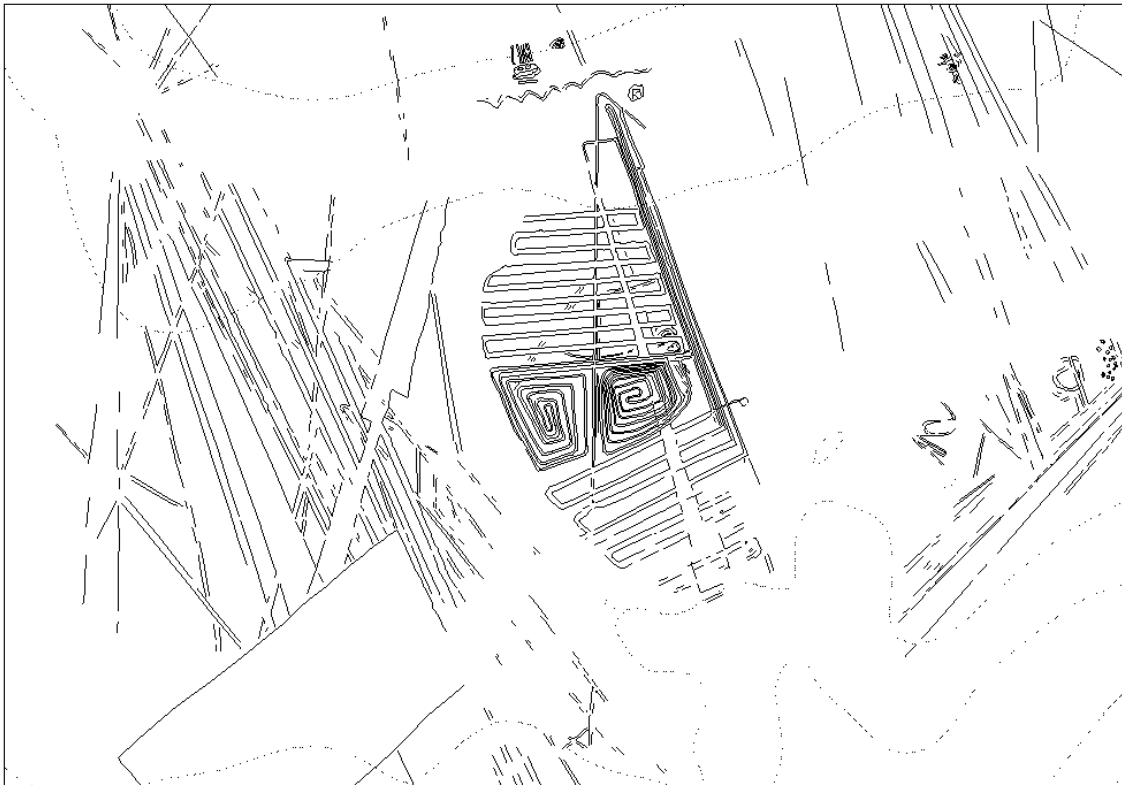


Abb. 9: Vergrößerung auf die „reloj solar“ (Sonnenuhr)

Wie viele andere Geoglyphen, erhielten sie ihre Namen durch Einheimische und Besucher erst in jüngster Zeit, ohne daß diese Benennungen die Bedeutungen wiedergeben, die ihre Erschaffer im Sinn hatten. Einheimische Kinder sind früher spielend auf den Geoglyphen entlang gelaufen, heutzutage werden die Bilder für touristische Zwecke gereinigt, obwohl sich Touristen nur selten in der Gegend um Palpa efinden.

Allgemein weisen die Pampas von Nasca, Sacramento und San Ignacio eine sehr reiche Ikonographie auf. Neben anthropomorphen Figuren finden wir viele zoomorphe Objekte (Wal, Affe, Hund, Ameisenbär, Condor, Kolibri, Papagei, „Chaucato“, Flamingo, Fregattvogel, Pelikan, Schlange, Spinne, Eidechse, Libelle) sowie pflanzliche Spezies wie Bäume, Blumen und Gewürze.

4 VISUALISIERUNG DER ERGEBNISSE

Zur Visualisierung nutzen wir eine Vielzahl von Software-Paketen: SGI SceneViewer, Inventor, CosmoPlayer, Installationen des VisDome der ETH Zürich, Virtual GIS von Erdas und unser eigenes Produkt, das die Textur in Parallelprojektion wiedergibt. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auch auf andere Medien wie Videos oder Realtime-Demos, die bereits verfügbar sind.

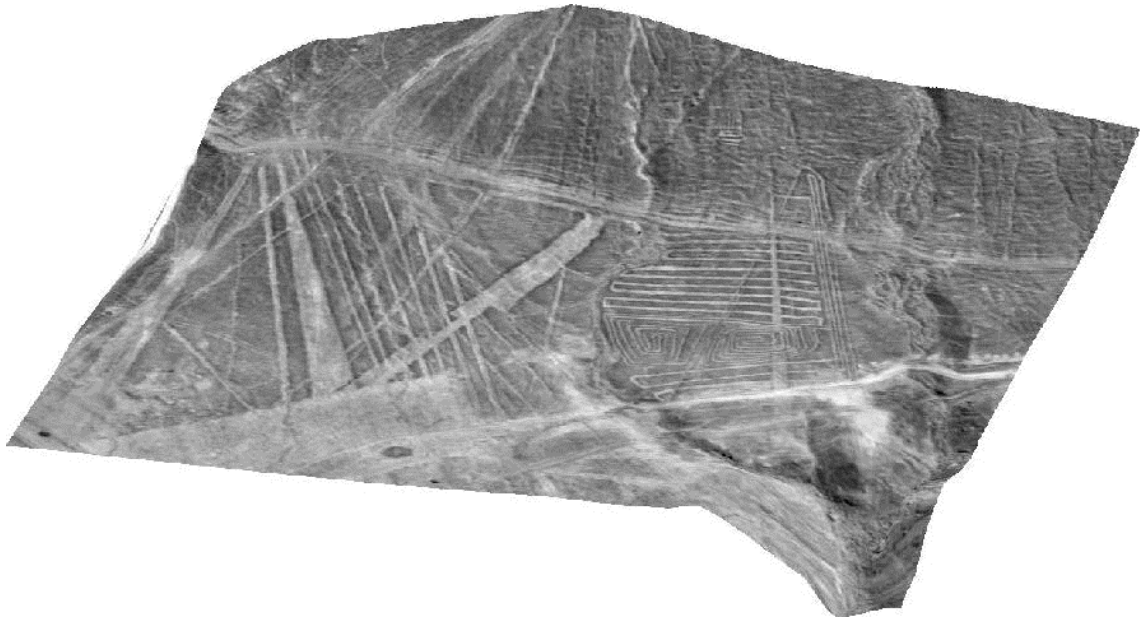


Abb. 10: 3D-Modell der „Sonnenuhr“ - DTM mit Textur (Orthophoto)

Aus Anlaß einer Ausstellung über die Nasca-Kultur im Museum Rietberg, Zürich (Grün, 1999) stellten wir unser Projekt auf zwei Arten vor. Zum einen konnte der Museumsbesucher das Gebiet in einer Darstellung des 3D-Modells mit Textur selber auf einer SGI Onyx2 interaktiv "erfahren". Außerdem boten wir einmal wöchentlich die Demonstration eines Flyover im VisDome der ETH Zürich auf einer 4 x 12 m² großen Leinwand als polarisierte Stereoprojektion an.

Im Hinblick auf das GIS, welches für weitere Analysen der Zusammenhänge und Bedeutung der historischen Bodenzeichen genutzt werden soll, gibt es von archäologischer Seite auch viele dringende Wünsche an spezielle Visualisierungsoptionen. Virtuelle Flyover, u. U. mit Einblendung der Vektordaten haben den Vorteil, neben einer Gesamtansicht auch eine Fokussierung auf bestimmte Sachverhalte (z. B. Auswahl von Gebieten und Vektorengruppen) zu erhalten, die auf einem realen Überflug nicht möglich sein kann. Aber die Archäologen möchten sich vor allem auch in mögliche

Positionen der Erschaffer der Geoglyphen versetzen können und aus dieser Perspektive eine realitätsnahe virtuelle Landschaft betrachten.

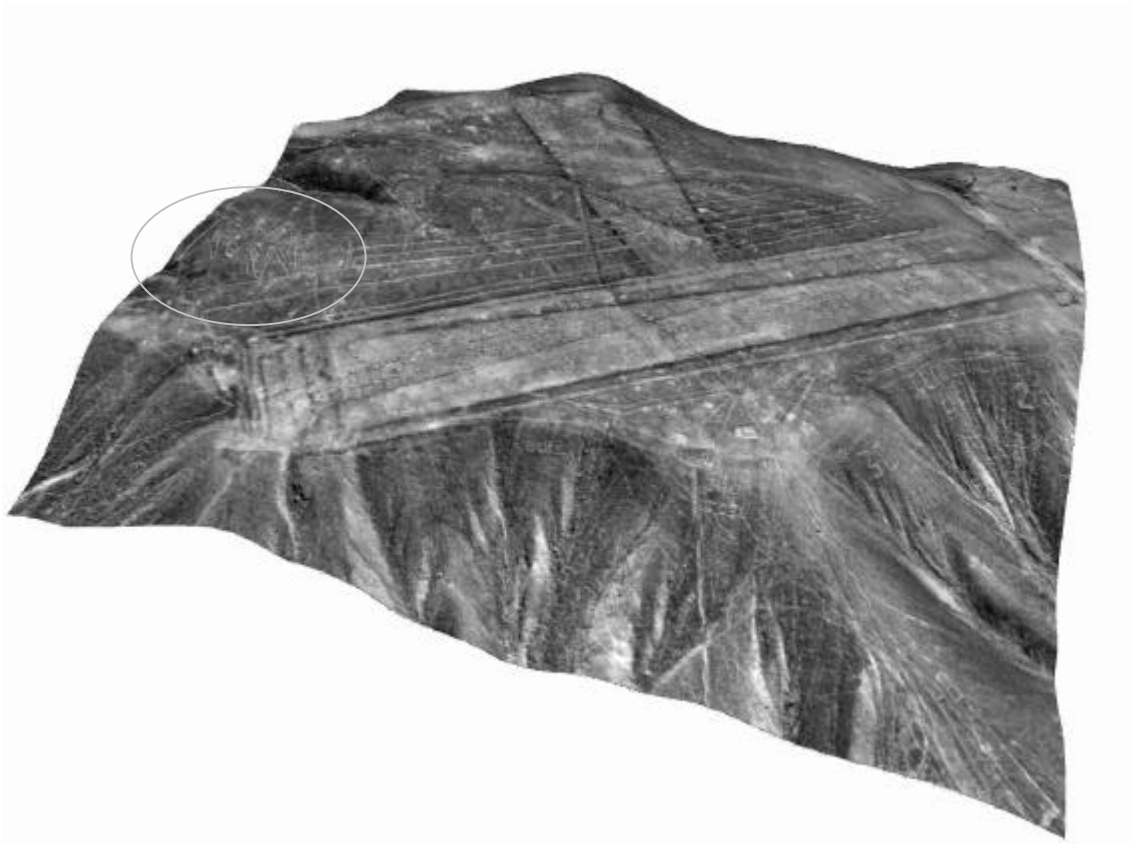


Abb. 11: 3D-Modell des „Wal“ (eingekreist), von einigen Linien und Trapezen sowie von einer sternförmige Figur - DTM mit Textur (Orthophoto)

Mit den Vektordaten, die von Sacramento inzwischen in erster Fassung vorliegen, haben wir unsere Daten bereits in hybriden Datensätzen vereinigt, wobei die dreidimensionalen Vektoren sowohl in die Textur integriert wurden, als auch als separate Ebene über das texturierte Modell gelegt wurden. Dafür mußten auch die Geoglyphen als Bruchkanten in die Berechnung des DTM und bei der Orthophoto-Produktion eingeführt werden. Andernfalls wären Lageverschiebungen zwischen Vektoren und Texturüberlagerung (Orthophoto) augenfällig geworden, die aus Höhendifferenzen zwischen 3D-Vektoren und DTM resultierten.

Auf technischer Seite ist der Mangel an ausreichend Textur-Speicher auf Graphikkarten ein ernstes Problem. In unserem Projekt Sacramento erzeugten wir ca. 1.4 GB Texturdaten, die nicht in Echtzeit präsentiert werden können. Unsere SGI Onyx2 ist mit 4 MB Texturspeicher ausgerüstet, die wesentlich leistungsfähigere Anlage im VisDome verfügt über 64 MB.

Wir haben eine Vielzahl von Software-Implementationen (SGI Scene Viewer, Cosmo Player, Virtual GIS, VisDome-Installationen auf SGI-Maschinen, Terrainview) untersucht, die nur zum Teil mit Level-of-Detail-Funktionen arbeiten.

5 SCHLUBBEMERKUNGEN

Wir haben hier über den aktuellen Arbeitsstand unseres Projektes berichtet. Der Block Sacramento ist fast vollständig bearbeitet, die Geoglyphen und andere aus archäologischer Sicht interessante Objekte wurden kartiert und dreidimensional modelliert. Eine abschließende Überarbeitung anhand der Ergebnisse des Feldvergleichs steht noch aus. Es wurde ein erstes konzeptionelles Daten-Modell erstellt, das auf seine Überarbeitung und die anschließende Implementierung auf einer GIS-Plattform wartet.

Da die Ansprüche an die Genauigkeit und Vollständigkeit der Ergebnisse sehr hoch sind, konnten wir uns nicht auf automatische Prozessierung verlassen, weder für die Triangulation noch für die DTM Generierung oder die Merkmalerfassung. Doch wir nutzten die moderne digitale photogrammetrische Technologie wo immer es durchführbar war. Die erzeugten Datensätze sind riesig; allein die Texturüberlagerung von Sacramento umfaßt 1.4 GB und wir haben daher große Probleme mit Echtzeit-Visualisierungen.

Der Block San Ignacio wird augenblicklich bearbeitet, die Triangulation ist bereits abgeschlossen. Der Block der Pampa von Nasca steht bei uns an letzter Stelle auf der Prioritätenliste.

Es ist zu früh, Schlußfolgerungen über den Zweck der Geoglyphen zu ziehen. Aber man kann aufgrund der vorliegenden Daten einige Tatsachen feststellen:

- Die Geoglyphen weisen i. a. keine hohe geometrische Genauigkeit auf.
- Die Geoglyphen überlagern sich gegenseitig. Aveni, Silverman, 1991 stellten treffend fest, daß manche Gebiete aussähen wie „... an unerased blackboard at the end of a busy day of class“.
- Gebiete mit hoher Geoglyphendichte liegen häufig in der Nähe historischer Siedlungen.
- Geoglyphen befinden sich immer dort, wo die Topographie es ermöglicht. Insbesondere sind sie in ausgedehnten, flachen Regionen und an glatten Abhängen anzutreffen.

- Der Zustand der Geoglyphen verschlechtert sich heutzutage besonders dort, wo sie gut zugänglich sind – Schuld ist häufig der fehlende Respekt der Menschen.

Diese Tatsachen sollten berücksichtigt werden, wenn irgendeine der maßgeblichen Hypothesen untersucht wird. Der Sinn und Zweck der Geoglyphen von Nasca, Peru ist noch immer ein Rätsel. Diese Zeichen im Sand, die von vergangenen Zivilisationen angelegt wurden, werden weiterhin Wissenschaftler, Esoteriker und unbefangene Touristen beschäftigen.

DANKSAGUNGEN

Wir danken für die Finanzierung durch die SLSA (Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland) und die ETH Zürich sowie für die Kooperationsbereitschaft des Museums Rietberg, Zürich. Für ihre Beiträge zu diesem Projekt danken wir außerdem J.-C. Brossard, A. Desiderio, K. Lambers, Z. Parsic, F. Remondino, B. Rüedin und J. Višnovcová.

LITERATUR

- Aveni, A. F. (Herausgeber) (1990): *The Lines of Nasca*. Memoirs of the American Philosophical Society 183. - Philadelphia.
- Aveni, A. F., Silverman, H. (1991): *Between the lines. Reading the Nasca markings as ritual writ large*. - The Sciences, 1991 (July/August), The New York Academy of Sciences: p.36-44.
- Däniken, E.v. (1970): *Return to the stars*. - Souvenir Press, London.
- Däniken, E.v. (1997): *Zeichen für die Ewigkeit*. - C. Bertelsmann Verlag GmbH, München.
- Grün, A. (1999): *Photogrammetrische Aufnahmen der Geoglyphen von Nasca, Palpa und San Ignacio*. - Herausgegeben vom Museum Rietberg Zürich anlässlich der Ausstellung "Nasca-Geheimnisvolle Zeichen im Alten Peru".
- Grün, A., Brossard, J.-C. (1998): *Photogrammetrische Kampagne Nasca/Palpa 1997*. - Jahresbericht SLSA, 1997; Herausgegeben von der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland und dem Rietberg Museum Zürich, Zürich und Vaduz: S.163-168.

- Hadingham, E. (1987): *Lines to the Mountain Gods*. - University of Oklahoma Press, Norman und London.
- Hawkins, G. (1969): *Ancient Lines in the Peruvian Desert*. - Final Scientific Report for the National Geographic Society, 1. Cambridge, Smithsonian Institution, Astrophysical Observatory, Special Report No. 906-4.
- Kosok, P., Reiche, M. (1949): *Ancient Drawings on the Desert of Peru*. - *Archaeology* 2 (4): S.206-215.
- Mejía Xesspe, T. (1927): *Acueductos y Caminos Antiguos de la Hoya del Río Grande de Nasca*. - Lima: Museo de Antropología.
- Morrison, T. (1978): *Pathways to the Gods: The Mystery of the Andes Lines*. - Harper & Row, New York.
- Rehländer, J. (2000): *Nasca - auf den Spuren der rätselhaften Anden-Kultur*. - *Geo*, 2000 (2): S.56-72.
- Reiche, M. (1969): *Mystery on the Desert*. - Stuttgart, Eigenverlag.
- Reindel, M. (1997): *Archäologische Untersuchungen zur Nasca-Kultur und ihren Bodenzeichnungen in Süd-Peru: Bericht über erste Erkundigungen im Oktober 1996*. - Jahresbericht SLSA, 1996. Herausgegeben von der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland und vom Rietberg Museum Zürich, Zürich und Vaduz: S.79-94.
- Reindel, M., Isla Cuadrado, J., Koschmieder, K. (1998): *Vorspanische Siedlungen und Bodenzeichnungen in Palpa, Peru*. - Jahresbericht SLSA, 1997. Herausgegeben von der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland und vom Rietberg Museum Zürich, Zürich und Vaduz: S.131-162.
- Reindel, M., Isla Cuadrado, J. (1999): *Ausgrabungen in Los Molinos und La Muña: Ergebnisse der Grabungskampagne 1998 des archäologischen Projektes Nasca-Palpa, Süd-Peru*. - Jahresbericht SLSA, 1998. Herausgegeben von der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland und vom Rietberg Museum Zürich, Zürich und Vaduz: S.123-151.
- Reinhard, J. (1996): *The Nazca Lines. A New Perspective on their Origin and Meaning*. - Editorial Los Pinos E.I.R.L., Lima.
- Rohrbach, C. (1992): *Botschaften im Sand*. - Frederking & Thaler GmbH, München.
- Scagnet, E. (1998): *Der Walfisch in der Wüste*. - Neue Zürcher Zeitung, 1998 (7./8. November): S.97-99.

Schulz, M. (1999): *Mumien am Weltraumbahnhof*. - Der Spiegel, 1999
(Nr. 40): S.255-S256.