

La aplicación de la fotogrametría y el escaneo láser en la documentación de geoglifos y asentamientos arqueológicos en Palpa y Nasca

Für die Entwicklung und Erprobung neuartiger optischer Messtechniken zur präzisen Dokumentation großflächiger Kulturerbestätten bietet die peruanische Küste ein weites Betätigungsfeld. In der Nasca-Region stellen besonders die Geoglyphen der Paracas- und Nascazeit, die sich über weite, schwer zugängliche Gebiete verteilen, aber auch Fundorte aus anderen Epochen eine technische Herausforderung dar.

Moderne optische 3D-Messtechniken wie Photogrammetrie und Laserscanning erlauben eine schnelle und präzise Einmessung sowie die virtuelle Modellierung von Geoglyphen und Ruinen, die weit über die Möglichkeiten traditioneller Vermessungen hinausgehen und einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung und Erforschung der Fundorte leisten können. In Palpa und Nasca werden erstmals Verfahren der analytischen und digitalen Photogrammetrie zur großflächigen 3D-Dokumentation der Geoglyphen eingesetzt. Zudem wird die Luftbildphotogrammetrie von einem autonomen Modellhelikopter aus mit terrestrischem Laserscanning kombiniert, um einen Fundort mit teilweise erhaltener Steinarchitektur vollständig zu dokumentieren. Beide Verfahren wurden bisher in der peruanischen Archäologie kaum angewendet und können daher als Beispiel für künftige Forschungsprojekte dienen.

Rund um die Stadt Palpa bedecken auf einer Fläche von ca. 90 km² mehr als 1500 Geoglyphen aus der Zeit der Paracas- und Nasca-Kultur die Hänge und Hochflächen, welche die Taloasen umgeben. In den Jahren 1997/98 wurden hier mehr als 600 senkrechte Luftbilder im Maßstab 1:7000 aufgenommen, die als Grundlage für die Vermessung und Modellierung der Geoglyphen dienen. Mit Hilfe von Verknüpfungspunkten und Bodenkontrollpunkten, die per GPS eingemessen wurden, werden die Bilder mittels Bildtriangulation georeferenziert. In je zwei aneinander grenzenden Bildern – einem sog. Stereomodell – können dann an einem analytischen Plotter oder einer digitalen photogrammetrischen Station 3D-Messungen vorgenommen werden. Zunächst wird die Geländeoberfläche vermessen, um ein Modell der

Numerosos sitios arqueológicos a lo largo de la costa peruana aún no han sido documentados debidamente. En la región de Nasca se trata, en particular, de los geoglifos de las culturas Paracas y Nasca que se distribuyen sobre zonas amplias de poca accesibilidad, así como de sitios de otras épocas. Ya que todos ellos están amenazados de destrucción, su documentación respectiva constituye un paso importante en vías de su conservación e investigación.

Modernas técnicas ópticas de medición tridimensional como fotogrametría y escaneo láser, permiten su registro topográfico rápido y preciso, así como la elaboración de modelos virtuales de los geoglifos y de los asentamientos que superan ampliamente las capacidades de las mediciones tradicionales. Métodos de la fotogrametría analítica y digital se están aplicando en la documentación tridimensional en áreas extensas donde aparecen los geoglifos. Además de ello, la fotogrametría aérea por medio de un helicóptero a control remoto, se combina con un escaneo láser terrestre con el fin de obtener documentación completa de un asentamiento con



1 Geoglyphen an einem Hang nördlich von Palpa / Geoglifos en una ladera al norte de Palpa

Topographie zu erhalten. Anschließend werden die Geoglyphen kartiert, indem ihre Ränder mit 3D-Vektoren markiert werden. Die so entstandenen Pläne werden während der archäologischen Feldarbeiten im Gelände überprüft und korrigiert. Aus den Luftbildern wird ein Orthomosaik – ein entzerrtes Gesamtbild des Untersuchungsgebietes – errechnet. Aus den drei resultierenden Datensätzen – Geländemodell, Geoglyphen und Orthobild – wird schließlich ein virtuelles 3D-Modell generiert, welches das gesamte Untersuchungsgebiet im Detail abbildet und am Computer virtuelle Überflüge gestattet. Somit steht erstmals eine vollständige, digitale Dokumentation aller Geoglyphen von Palpa zur Verfügung. Für die ca. 220 km² große Pampa von Nasca mit ihren berühmten figürlichen Geoglyphen werden derzeit neue Verfahren der Bildanalyse entwickelt, um auf ähnliche Weise, jedoch weitgehend automatisiert, 400 Luftbilder im Maßstab 1:10000 auswerten zu können mit dem Ziel, eine vergleichbare Dokumentation der dortigen Geoglyphen zu erhalten. Die digitalen 3D-Daten sind besonders geeignet, um in ein Geoinformationssystem (GIS) integriert zu werden. Hier können systematisch die räumlichen Beziehungen zwischen Geoglyphen, Topographie, Siedlungen und anderen Elementen untersucht werden, um den Kriterien auf die Spur zu kommen, die bei der Anlage der Geoglyphen eine Rolle spielten. Dafür fehlte bisher eine geeignete Datengrundlage, die nun durch den Einsatz der Photogrammetrie erstmals geschaffen werden konnte.

Zur Dokumentation von Pinchango Alto, einem Fundort der Späten Zwischenperiode mit Steinarchitektur, kommt wiederum die Photogrammetrie zum Einsatz. Von einem niedrig fliegenden, ferngesteuerten Modellhelikopter aus werden analoge und digitale Luftbilder in den Maßstäben 1:2500 bzw. 1:4000 aufgenommen. Eine neuartige Kombination von GPS (Global Positioning System) und INS (Inertial Navigation System) an Bord des Helikopters erlaubt eine präzise Bildflugplanung, eine automatische Ansteuerung der Bildaufnahmeplätze und eine vertikale Ausrichtung der Aufnahmeachsen. Um die in den Luftbildern schlecht erkennbaren Bereiche wie vertikale Mauern modellieren zu können, kommt zusätzlich am Boden ein Laserscanner zum Einsatz. Dieser erlaubt die schnelle und präzise Aufnahme von Messpunkten in hoher Dichte. Neuentwickelte Verfahren zur Integration von Bild- und Laserscan-Daten werden eine hochpräzise Modellierung der Architektur erlauben. Ähnlich wie bei den Geoglyphen kann das resultierende Modell für virtuelle Begehungen verwendet oder in einem GIS räumlich analysiert werden. Es kann zudem die Grundlage für Gebäuderekonstruktionen liefern.



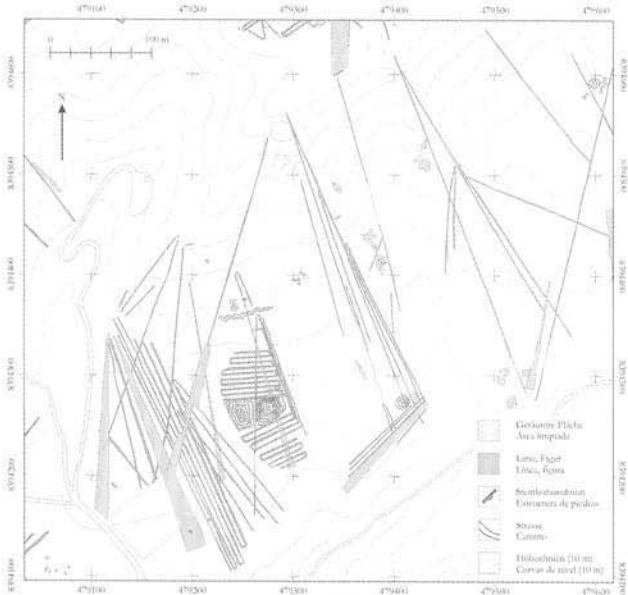
2 Luftbild (mit Rahmenmarken) der Cresta de Sacramento / *Fotografía aérea (con marcas de referencia) de la Cresta de Sacramento*



3 Aufbau des virtuellen 3D-Modells aus Geländemodell, Orthophoto und Geoglyphenlayer / *Composición de un modelo virtual tridimensional a base de un modelo digital del terreno, una ortofoto y geoglifos vectorizados*



4 Virtuelle 3D-Ansicht von Geoglyphen auf einem Hügel bei Llipata /
Imagen virtual tridimensional de geoglifos sobre un cerro de Llipata



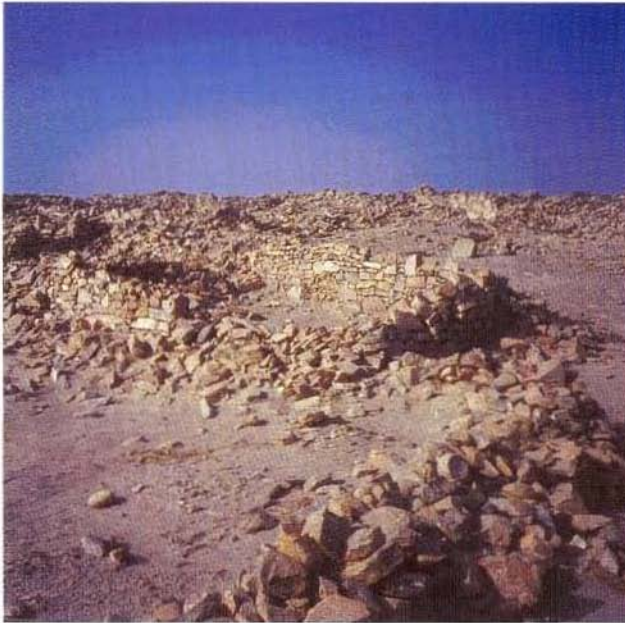
5 Kartierung der Geoglyphen (vgl. Abb. 1) / Mapa de geoglifos
(ver fig. 1)

arquitectura de piedra parcialmente conservada. Ambos métodos no fueron aplicados en la arqueología peruana hasta la actualidad, por lo cual podrán servir como ejemplo para futuros proyectos de investigación.

Más de 1,500 geoglifos cubren las pendientes y las mesetas que rodean los oasis del valle alrededor de la ciudad de Palpa en un área de unos 90 kilómetros cuadrados, pertenecientes a las culturas Paracas y Nasca. En esta área se tomaron más de 600 fotos aéreas verticales en escala 1 sobre 7000, las que sirvieron para el levantamiento topográfico y para modelos tridimensionales de los geoglifos. Con la ayuda de puntos de enlace y puntos de control terrestres medidos con GPS, se obtiene una georeferencia de estas fotos por medio de la triangulación de las imágenes. En pares de fotos que se juntan, llamados modelos estereocópicos, se pueden obtener mediciones tridimensionales en un plotter analítico o un restituidor fotogramétrico digital. Como primer paso se mide la superficie del terreno con el fin de llegar a un modelo topográfico, y luego se registran los geoglifos al marcar sus márgenes con vectores tridimensionales. Posteriormente se controlan y se corrigen los planos obtenidos durante los trabajos arqueológicos en el terreno. Teniendo las fotos aéreas se calcula un mosaico rectificado que resulta en una imagen total no distorsionada. Con estos tres conjuntos de datos (el modelo del terreno, los geoglifos y el mosaico) se genera un modelo virtual tridimensional que presenta todo el área investigada en detalle y que permite sobrevuelos virtuales en la computadora. Como resultado se obtiene, por lo tanto, una documentación virtual de todos los geoglifos de Palpa. En la Pampa de Nasca con sus famosos geoglifos figurativos sobre un área de unos 220 kilómetros cuadrados se analizaron 400 fotos aéreas en escala 1 sobre 10000 de una manera parecida, aunque más automatizada, con el fin de obtener una documentación comparable de estos geoglifos. Los datos tridimensionales digitales sirven muy bien para integrarlos en un sistema de geoinformación (SIG). De esta manera se puede analizar en forma sistemática las relaciones espaciales entre geoglifos, topografía, asentamientos y otros elementos con el fin de establecer criterios significativos para la instalación de estos geoglifos. Hasta ahora no existía una base de datos adecuada, la cual, por vez primera, sólo pudo crearse por la aplicación de la fotogrametría.

La fotogrametría también se aplicará en la documentación de Pichango Alto, un sitio del Periodo Intermedio Tardío con arquitectura de piedra. Se tomarán fotos aéreas análogas y digitales desde un helicóptero a control remoto desde baja

Die in Nasca und Palpa eingesetzten optischen 3D-Messtechniken erlauben die hochgenaue, digitale Dokumentation verschiedener archäologischer Kontexte und liefern so die Datenbasis für kulturhistorische Forschungen. Sie sind schneller und vielseitiger als bisherige Techniken und schonen die Fundstätten, da die Feldarbeiten auf ein Minimum reduziert werden können. Somit sind Photogrammetrie und Laserscanning wichtige Werkzeuge zum Erhalt und zur Erforschung bedrohter Fundorte.



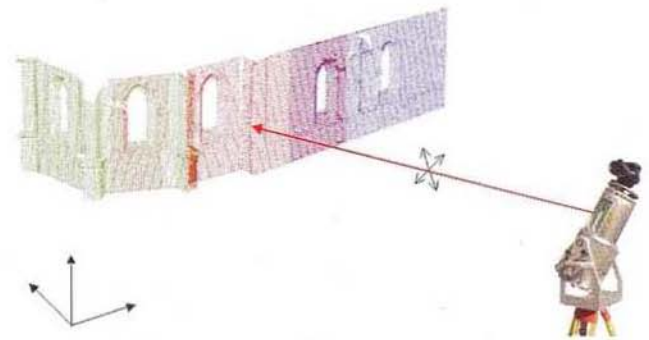
7 Teilweise erhaltene Steinarchitektur in Pinchango Alto / *Arquitectura de piedra, parcialmente conservada, en Pinchango Alto*



6 Modellhelikopter mit Kameraaufhängung / *Helicóptero en miniatura con suspensión para una cámara*

altura en escalas de 1 sobre 2500 y 1 sobre 4000. Una combinación de GPS (Global Positioning System) y de INS (Inertial Navigation System) a bordo del helicóptero permiten una planificación precisa del vuelo fotogramétrico, una dirección automática hacia los puntos de las tomas, así como una verticalidad de los ejes de las últimas. Con el fin de modelar áreas poco reconocibles en las fotos aéreas como muros verticales, se usa adicionalmente un escáner láser terrestre. Este último permite un registro rápido y preciso de puntos de medición con alta densidad. La integración de los datos de las fotos aéreas y del escaneo láser presenta un reto técnico que permite elaborar un modelo arquitectónico de alta precisión. Parecido al procedimiento descrito de los geoglifos, el modelo resultante puede ser aplicado para prospecciones virtuales o para el análisis espacial en el GIS. Sirve además de base para reconstrucciones de edificios.

Las técnicas de medición ópticas tridimensionales aplicadas en Nasca y Palpa permiten una documentación digital de diversos contextos arqueológicos de alta precisión y proveen de esta manera una base de datos para investigaciones históricas culturales. Tienen también la ventaja de mayor velocidad y versatilidad que las técnicas tradicionales y contribuyen a proteger los sitios, ya que los trabajos de campo se reducen a un mínimo. De esta manera, la fotogrametría y el escaneo láser se constituyen como implementos importantes para la protección y la investigación de sitios arqueológicos amenazados.



8 Architekturaufnahme mittels Laserscanning / *Levantamiento arquitectónico mediante escaneo láser*