

## Die Rückkehr der Buddhas – Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan, Teil II\*

ARMIN GRÜN & FABIO REMONDINO, Zürich

### 4.2 Modellierung der Felswand und der leeren Buddha-Nischen

Zur Modellierung der fast senkrecht, bis auf über 100 m Höhe anstehenden und ca. 1 km langen Felswand und der leeren Buddha-Nischen wurde terrestrische Photogrammetrie eingesetzt. Während unserer Feldkampagne im August 2003 erstellten wir mit der analogen halbmetrischen Filmkamera Rollei 6006 einen Bildstreifen der gesamten Felswand, aus dem 39 Bilder für die Auswertung genutzt wurden.

Für die beiden Buddha-Nischen wurden jeweils zwei kleine lokale Streifen mit der Rollei 6006 und der digitalen Kamera Sony Cybershot F707 (gewähltes Bildformat:  $1920 \times 2560$  Pixel) erstellt. Insgesamt wurden 30 natürliche Passpunkte durch Vorwärtseinschneiden mit einem Tachymeter von einem Polygonzug aus eingemessen.

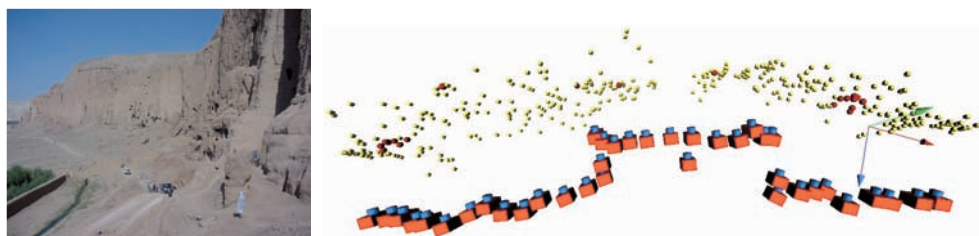
#### Felswand

Die Triangulation des analogen Bildstreifens mit 39 Bildern wurde am Analytischen

Plotter AC-3 durchgeführt, mit anschließender Bündelausgleichung inklusive Selbstkalibrierung. Es ergab sich ein  $\sigma_0 = 13 \mu\text{m}$  und eine durchschnittliche Neupunktgenauigkeit von  $\sigma_{x,z} = 0.13 \text{ m}$  und  $\sigma_z$  (Tiefe) =  $0.23 \text{ m}$ . Abb. 10 zeigt ein Bild der Felswand und die Netzkonfiguration.

Für die Stereoauswertung der einzelnen Modelle zum Zwecke der Generierung eines 3D Oberflächenmodells wurden die Bilder mit  $20 \mu\text{m}$  Auflösung eingescannt. Dies entspricht einem Footprint am Objekt von 8 cm. Es wurde zunächst versucht, die Auswertung mit Photomodeler zu machen, aber das schlug fehl. Daraufhin haben wir eine eigene Software zur manuellen Messung von Stereomodellen digitaler Amateurbilder entwickelt. Mit dieser Software wurde die gesamte Felswand mit Einzelpunkten plus Kantenmessung erfasst. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Einmessung der Höhleneingänge gelegt.

Insgesamt haben wir somit eine Punktwolke mit ca. 18 000 Punkten erzeugt. Diese Punktwolke wurde im DTM-Programm SCOPE modelliert und ein 50 cm-Raster



**Abb. 10:** Links: Felswand. Im Vordergrund die Nische des Kleinen Buddha. Rechts: Netzgeometrie der Felswand als Ergebnis der terrestrischen Triangulation. Kamerapositionen, Verknüpfungspunkte, Passpunkte (letztere dargestellt in Kugelform).

\* Fortsetzung von PFG, Heft 1/2005, Seite 68



**Abb. 11:** Oben: Blick auf das DOM der erweiterten Felswand, bestehend aus dem SPOT 5-DTM und aus dem DOM der Felswand, abgeleitet aus Rollei 6006 Bildern. Unten: Eine Fotografie der gesamten Felswand.

DOM abgeleitet. Dieses DOM wurde mit einem aus dem ursprünglichen SPOT5-DTM abgeleiteten 1 m-Raster DTM verschmolzen. Das Ergebnis ist in Abb. 11 dargestellt, zusammen mit einer Fotografie der gesamten Felswand.

### Nische des Großen Buddha

Die Auswertung wurde mit den Bildern der Sony Cybershot F 707 durchgeführt. Dazu wurden fünf Bilder trianguliert (Abb. 12) durch halbautomatische Messung der Verknüpfungspunkte (26) und der Passpunkte (10) und selbstkalibrierende Bündelausgleichung.



**Abb. 12:** Zwei Sony Cybershot F707 Bilder aus dem Bildstreifen der Nische des Großen Buddha.

Ergebnisse:  $\sigma_0 = 2 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_{x,z} = 0.015 \text{ m}$ ,  $\sigma_y = 0.021 \text{ m}$ .

Anschließend wurden die Bilder deformationfrei gerechnet (insbesondere die Objektivverzeichnung hat einen großen Einfluss) und zur modellweisen Weiterverarbeitung in VirtuoZo vorbereitet. Dort wurden die Modelle in horizontalen Profilen plus signifikante Kanten ausgemessen. Auf diese Weise wurde eine Punktwolke mit ca. 12000 Punkten erzeugt. Die Oberflächenmodellierung wurde durch Kombination von Funktionen unseres eigenen DTM-Modellierers DTMZ mit denen von Geomagic Studio erreicht. Die Texturmap wurde durch eigene Software erzeugt. Abb. 13 zeigt die Punktwolke mit den Kamerapositionen (links) sowie das texturierte 3D Modell (rechts).



**Abb. 13:** Nische des Großen Buddha. Links: Punktwolke mit Kamerapositionen, rechts: Texturiertes Oberflächenmodell in VRML.

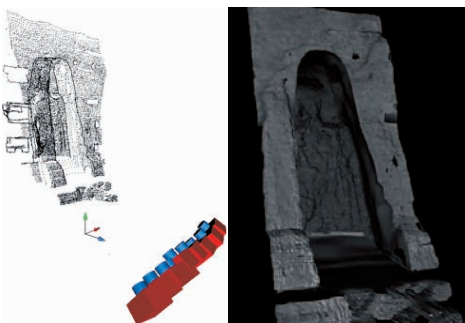
### Nische des Kleinen Buddha

Zur Bearbeitung der Nische des Kleinen Buddha wurden neun Sony Cybershot F707 Bilder benutzt (Abb. 14). Wiederum wurden die Verknüpfungspunkte (32) und die Passpunkte (10) halbautomatisch mit eigener Software gemessen und eine selbstkalibrierende Bündelausgleichung durchgeführt. Ergebnisse:  $\sigma_0 = 1.9 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_{x,z} = 0.017 \text{ m}$ ,  $\sigma_y = 0.022 \text{ m}$ .

Die Oberflächenpunkte wurden wiederum aus Zuverlässigkeitsgründen manuell aus Stereomodellen mit VirtuoZo im Profilmodus unter Einbezug von Kanten gemessen. Abb. 15 zeigt die Punktwolke, bestehend aus ca. 17000 Punkten, mit den Kamerapositionen und das texturierte 3D Modell.



**Abb. 14:** Zwei Sony Cybershot F707 Bilder aus dem Bildstreifen der Nische des Kleinen Buddha.



**Abb. 15:** Nische des Kleinen Buddha. Links: Punktwolke mit Kamerapositionen, rechts: Texturiertes Oberflächenmodell in VRML.

### 5 Die Wiedergeburt des Großen Buddha

Die Computer-Rekonstruktion des Großen Buddha ist abgeschlossen. Abb. 16 zeigt ein gefrästes, physisches Modell im Maßstab 1:200.

Für unsere Arbeiten am Großen Buddha stand uns folgendes Bildmaterial zur Verfügung:

1. Ein Satz von ursprünglich fünfzehn Bildern unterschiedlichen, aber immer sehr kleinen Formats, die von verschiedenen Autoren über das Internet beschafft wurden. Zur Auswertung wurden vier Bilder herangezogen.
2. Ein Satz von zwölf digitalisierten Touristenbildern (Format ca.  $1840 \times 1232$  Pixel), die uns HARALD BAUMGARTNER freundlicherweise zur Verfügung stellte, der das Gebiet Ende der 60er Jahre besuchte. Wir benutzten vier Bilder für die Auswertung.
3. Drei metrische Bilder auf Glasplatten im Format  $13 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$ , die von Prof.



**Abb. 16:** Der Große Buddha ist als Modell im Maßstab 1:200 bereits wiedererstanden.

KOSTKA, TU Graz, im Jahre 1970 vor Ort mit einer TAF aufgenommen wurden (KOSTKA 1974).

Die Rekonstruktion wurde in mehreren Stufen durchgeführt, gemäß den laufenden Änderungen und Erweiterungen der Zielsetzungen der Arbeiten und der ursprünglich nicht gleichzeitigen Verfügbarkeit aller Bilder:

- (a) automatische Auswertung der Internetbilder,
- (b) automatische Auswertung der touristischen Amateurbilder,
- (c) automatische und manuelle Auswertung der drei Messbilder.

Über die Methodik und die Ergebnisse der Auswertungen ist bereits mehrfach berichtet worden. Wir verweisen insbesondere auf GRUEN et al. 2003a, b, 2004a, b. Es ist uns gelungen, unter Benutzung von selbstentwickelter Software aus den drei verschiedenen Bilddatensätzen jeweils 3D Modelle des Objekts weitgehend automatisch herzustellen. Mit Ausnahme einiger kleinerer grober Fehler, die durch Editierung beseitigt werden konnten, sind diese Ergebnisse zwar recht genau, aber unvollständig. Viele kleine Strukturen, wie etwa die Faltenwürfe und andere wichtige Elemente wurden durch die automatischen Messverfahren nicht erfasst. Daher sind die so erzeugten Modelle für einen realitätsnahen Wiederaufbau nicht geeignet.

Glücklicherweise wurden im Jahre 1970 von Prof. KOSTKA, TU Graz, der sich damals auf einer topographischen Vermessungskampagne im Norden Afghanistans

aufhielt, mehr oder weniger durch Zufall drei photogrammetrische Aufnahmen des Großen Buddha mit der TAF Kamera (Terrestrische Ausrüstung Finsterwalder,  $c = 160.29$  mm) hergestellt. Die Aufnahmen wurden längs einer doppelten Basislinie nach dem Prinzip des Normalfalls in ca. 150 m Entfernung vom Objekt gemacht (Abb. 17). Wie der Zufall es so wollte, nahm auch Prof. M. BUCHROITHNER an dieser Expedition teil.

Die ursprünglichen Aufnahmen (Glasplatten des Formats  $13\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ ) wurden zur Weiterverarbeitung am Scanner ULTRA SCAN 5000 von Vexcel Imaging Inc. mit  $10\text{ }\mu\text{m}$  Auflösung digitalisiert. Dies resultierte in Bildformaten von jeweils  $16930 \times 12700$  Pixel, also im Vergleich zu den Amateuraufnahmen in wesentlich besserer Objektauflösung.

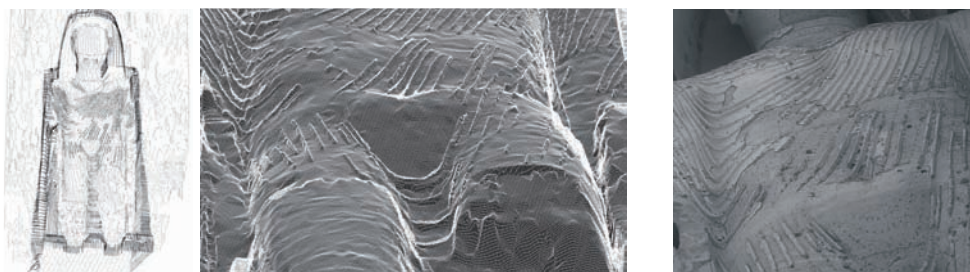
Mit diesen Aufnahmeinformationen sowie mit einigen Passpunkten, die einem von Prof. KOSTKA erstellten Isollinienplan entnommen wurden, konnten die Näherungswerte für die folgende Bündelausgleichung gewonnen werden. Zur präzisen Orientierung wurden die drei Aufnahmen einer gemeinsamen Bündelausgleichung unterworfen. Daraus ergaben sich für gemessene Neupunkte am Objekt die durchschnittlichen Standardabweichungen  $\sigma_{x,z} = 7\text{ cm}$  und  $\sigma_y = 14\text{ cm}$ . Diese Werte stellen Abolutmaße dar. Die Nachbargenauigkeit dagegen, welche für eine physische Rekonstruktion des Buddhas wichtiger ist, kann mit  $1\text{--}2\text{ cm}$  in der Aufrissebene (dies entspricht einem Pixel) abgeschätzt werden.

Die manuelle Stereomodellauswertung von drei Modellen erfolgte am digitalen Sys-



**Abb. 17:** Photogrammetrische TAF-Aufnahmen des Großen Buddha aus dem Jahr 1970 von Prof. KOSTKA, TU Graz.





**Abb. 18:** Links: Punktwolke, erzeugt durch manuelle Stereomodellmessungen. Die wichtigen Kanten und Strukturelemente des Objekts sind hier bereits klar erkennbar. Mitte: Ausschnitt aus abgeleitetem Drahtmodell. Rechts: Zum Vergleich der gleiche Ausschnitt im Bild.

tem VirtuoZo durch Messung horizontaler Profile mit 20 cm Höhenabstand und zusätzlicher Einzelpunkte und Kanten. Insbesondere eine vollständige Kantenmessung ist sehr wichtig, bestimmen diese doch ganz wesentlich die Objektgeometrie. Die so erzeugte räumliche Punktwolke enthält ca. 76000 Punkte (Abb. 18 links). Abb. 18 Mitte und rechts belegen den hohen Auflösungsgrad des Geometriemodells. Die Falten des Gewandes haben eine Breite von 10 cm und mehr und werden im Modell dennoch detailliert wiedergegeben.

Der Übergang von der Punktwolke zum strukturierten Oberflächenmodell gestaltete sich für uns als Hauptproblem, und zwar aus folgenden Gründen. Das Modell ist hochgradig dreidimensional, es kann also als Ganzes durch die übliche 2.5D Software nicht modelliert werden. Die Punkte weisen sehr unterschiedlich große Abstände zueinander auf. Zum Teil sind diese Abstände so groß, dass kommerzielle 3D-Modellierungssoftware, die ursprünglich für extrem dichte Laserscanpunktwolken konzipiert war, die lokalen Strukturen nicht korrekt interpretieren konnte. Auch war diese Software nicht in der Lage, Kanten bei der Oberflächeninterpolation als Unstetigkeiten mathematisch korrekt zu berücksichtigen. Deshalb bedurfte es recht vieler Handarbeit, um durch Kombination unseres 2.5D Modellierers DTMZ mit Geomagic Studio schlussendlich ein vernünftiges Ergebnis zu bekommen. Dabei wurde DTMZ im Wesentlichen als Interpolator und Geomagic Studio als Editor (hole filling, noise reduction, edge correction, polygon reduction) eingesetzt.

Die Bildtextur (Texturemap) wurde unter Benutzung aller drei Bilder mit unserem eigenen Programm Textur3D erzeugt und dem Geometriemodell überlagert.

Die TAF-Messbilder liefern nur eine S/W Textur. Durch Entnahme von Farbe aus anderen, weniger hoch auflösenden Bildern und Integration in die S/W Textur konnten wir ein sogenanntes PAN-sharpened Texturprodukt erzeugen, ähnlich wie dies heute bei Satellitenaufnahmen üblich ist.

Damit entstand ein quasi dreidimensionales, korrekt vermaßtes Bild des Objekts. Die Entnahme von speziellen Maßen (Distanzen, Flächen, Volumen) für Analyse- und Rekonstruktionszwecke ist möglich.

Zur 3D Visualisierung setzen wir gegenwärtig folgende Programme ein, deren Gebrauch von Projekt zu Projekt allerdings variiert, gemäß den unterschiedlichen Projektanforderungen, Datenmengen und Visualisierungsbedingungen:

- + eigene Pakete,
- + Cosmoplayer,
- + Deep Explorer,
- + VirtualGIS,
- + Terrainview,
- + Skyline,
- + Maya.

Neben dem Computermodell haben wir ein physisches Modell im Maßstab 1:200 mit einer Fräsmaschine des Instituts für Virtuelle Produktion der ETH Zürich aus Polyurethan herausarbeiten lassen (Abb. 16). Zwei Exemplare dieses Modells wurden dem ehemaligen König von Afghanistan MOHAMMED SAHIR SHAH und dem Vizepräsidenten K. KHALILI in Kabul übergeben.

## Wie geht es weiter?

Der Wiederaufbau eines oder beider Buddhas vor Ort ist immer noch Gegenstand intensiver Diskussionen internationaler Experten. Inzwischen sind unter der Aufsicht der UNESCO erste Arbeiten zur Verfestigung der Felswände bei den Buddha-Nischen angelaufen, aber es besteht immer noch kein Konsens über den Wiederaufbau. Unser Modell könnte allerdings für einen solchen Wiederaufbau als Grundlage dienen.

Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich wurden im Sommersemester 2004 im Rahmen einer Semesterarbeit mögliche bautechnische Konzepte zum Wiederaufbau des Großen Buddha untersucht und kritisch analysiert.

Von besonderem Interesse waren dabei Bauweise und Materialwahl unter Berücksichtigung der Randbedingungen vor Ort. Die vorgeschlagenen Optionen Ort- und Fassadenbauweise sind in CHAPPUIS et al. (2004) detailliert beschrieben. Damit liegen zum ersten Mal realistische und konkrete Angaben über bautechnische Optionen in quantifizierter Form vor.

Unsere eigenen Arbeiten konzentrieren sich im Moment auf das Einbringen der (heute zerstörten) Fresken in das 3D Modell des Großen Buddha. Es existieren reichlich Amateurbilder einzelner Freskenteile aus früheren Zeiten. Diese Einzelbilder werden zusammengefügt in eine gemeinsame konsistente geometrische Referenz und das so entstehende (fiktive) Gesamtfreskenbild als Textur dem Geometriemodell überlagert. Wegen der Nutzung dieses Ergebnisses in einem für 2005 geplanten Kinofilm („The Giant Buddha“) muss diese Arbeit unter extremen Qualitätsansprüchen durchgeführt werden. So haben diese Fresken eine geometrische Auflösung von 2 mm.

Ebenfalls für den Film werden die untersten Teile der Buddha-Füße, und die hinteren Teile des Kopfes, die in den für die Rekonstruktion der Gesamtstatue von uns nutzbaren Bildern entweder gar nicht oder nur zum Teil sichtbar sind, aus neu akquirierten Spezialbildern herausgemessen.

Inzwischen ist ein physisches Modell des Großen Buddha im Maßstab 1:25, d. h. von ca. 2.1 m Größe produziert worden. Dieses Modell wird im Swiss Pavillon auf der Weltausstellung 2005 in Aichi, Japan, gezeigt werden. In der Broschüre „Schweizer Beitrag zur Weltausstellung 2005, Aichi, Japan“ ist das Projekt mit folgenden Worten angekündigt: *‘Top of Science ... Das Herzstück dieser Abteilung bildet die sagenhafte Geschichte, wie Professor ARMIN GRÜN vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH-Zürich ein Computermodell geschaffen hat, das es ermöglicht, die beiden weltberühmten und von den Taliban zerstörten Buddhas von Bamiyan in Afghanistan wieder aufzubauen. Die Japanische ebenso wie die Schweizerische Regierung engagieren sich im Bamiyantal. Bereits mehrfach hat das japanische Fernsehen über Professor GRÜNS Projekt berichtet.’*

Anschließend soll das Modell an das Afghanische Nationalmuseum in Kabul übergeben werden, als herausragendes Exponat für einen geplanten „Bamiyanraum“.

## Schlussbemerkungen

Wir haben unsere Rekonstruktions- und Modellierungsarbeiten vollständig mit modernen Methoden der Photogrammetrie durchgeführt. Diese Verfahren haben sich als sehr leistungsfähig herausgestellt und mit keinen anderen Methoden hätten wir Ergebnisse ähnlicher Qualität und Vollständigkeit erzielen können.

Wesentliche technische Voraussetzungen für einen physischen Wiederaufbau der Buddhas von Bamiyan wären damit gegeben. Die Entscheidung, ob die Welt diese Statuen in voller Größe und Ausstrahlung auch in Zukunft wieder bewundern können, liegt in den Händen anderer.

Nicht zuletzt durch die gewonnene Aufmerksamkeit in den Weltmedien haben sich in letzter Zeit diverse internationale Aktivitäten auf Bamiyan konzentriert. So plant die Schweiz den Bau eines Museums und die ETH Zürich den eines universitären Hauses der Begegnung, wo afghanische und ausländische Studierende und Dozenten sich unter

Nutzung einer fortschrittlichen Infrastruktur ihren Studien und Projekten widmen und in Seminaren und Workshops einen Informationsaustausch pflegen können.

Wir erkennen hier mit Interesse, dass die Photogrammetrie nicht nur in der Lage war, den Großen Buddha maßgerecht zu rekonstruieren, sondern dass ihre Produkte ein auslösendes Moment sind für viele weitere Unternehmungen auf bautechnischem, historischem und touristischem Gebiet.

Nach unserem Besuch in Afghanistan im Jahre 2003 waren wir erschüttert über das Ausmaß der Zerstörungen in Bamiyan selbst und im ganzen Lande. Die Schäden sind unübersehbar und deprimierend (SIBA SHAHIB: *Nach Afghanistan kommt Gott nur noch zum Weinen*). Jedes Dorf hat immer noch seine Überreste aus dem Krieg in Form zerstörter Häuser, Brücken, Straßen und inzwischen unbrauchbar gemachter schwerer Waffen. Es gibt keine Familie, die nicht schmerzliche Verluste durch die 23 Kriegsjahre erlitten hätte. Gleichzeitig aber waren wir überrascht von der herzlichen Gastfreundlichkeit, die uns überall entgegengebracht wurde.

Das afghanische Volk hat es mehr als verdient, dass man ihm sein kulturelles Erbe zurückgibt.

## Danksagung

Viele Personen haben bis heute an unserem Bamiyan-Projekt in irgendeiner Form mitgearbeitet und allen gebührt unser Dank. Ganz besonders aber möchte ich hier meinen Mitarbeiter ZHANG LI erwähnen, ohne dessen Engagement und technisch-wissenschaftliche Kompetenz die Projektergebnisse nicht in der heutigen Form verfügbar wären. Wir schätzen ebenfalls die Projektbeiträge von NATALIE VASSILIEVA, YUGANG LI und XIAOYUN FU, die den Großteil der manuellen Messungen erledigten. Ein herzlicher Dank gebührt auch PAUL BUCHERER-DIETSCHI, dem Leiter der Stiftung Bibliotheca Afghonica und des Afghanistan-Museums im Exil in Bubendorf, Schweiz, dessen rastloser Einsatz für die Belange Afghanistans und seine kompetente Beratung und Ermunterung unabdingbar für unseren Erfolg waren und immer noch sind.

Schlussendlich bedanke ich mich auch bei meinem Kollegen Prof. MANFRED BUCHROITHNER, dem Initiator des PFG-Heftes 1/2005, auf dessen Vorschlag nicht nur die Stereokarten des Großen Buddha entstanden, sondern der mich auch zum Schreiben dieses Artikels ermunterte und mir den entsprechenden Platz gewährte.



**Abb. 19:** Nach getaner Feldarbeit in Bamiyan, August 2003. Von links: JOSHUA HESS, ALEXANDER MAZZARA, ARMIN GRÜN, PETER INDERGAND, FABIO REMONDINO, CHRISTIAN FREI, MARIANNE STINER, PAUL BUCHERER.

## Literatur

- BEAL, S., 1906: SI-YU-KI. Buddhist Records of the Western World (Translation from Chinese), 2 Volumes. – Susil Gupta, Ltd., Calcutta, 1958, S. 49–53 (first published in London, 1884, 1906).
- BYRON, R., 1937: The Road to Oxiana. – Mac-Millan and Co Ltd, London, 1937; Random House, London, 2004, 391 S.
- CHAPPUIS, F., DUMOLIN, S., GALLIN, C., REY, Y. & WELLAUER, O., 2004: Rekonstruktion der Buddhastatuen von Bamiyan, Afghanistan. Konzept Ortbeton und Konzept Fassadenkonstruktion, 2 Bände. – Semesterarbeit Sommersemester 2004, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 48 und 48 S.
- CHATWIN, B., 1980: „Introduction“ to „The Road to Oxiana“ by ROBERT BYRON. – Random House, London, 2004.
- DUPREE, N.H., 1977: An Historic Guide to Afghanistan. – Afghan Tourist Organization Publication Number 5, Second Edition, Kabul, 492 S.
- DUPREE, N.H., 2002: The Valley of Bamiyan. – Third Edition 2002, Published by Abdul Hafiz Ashna. First Edition 1962 by Afghan Tourist Organisation.
- GRÜN, A., 1976: Photogrammetrische Rekonstruktion aus Amateuraufnahmen. – Architekturphotogrammetrie II, Landeskonservator Rheinland, Rheinland Verlag, Köln, S. 85–92.
- GRUEN, A., 1984: Processing of amateur photographs. – Presented Paper ISPRS Congress Rio de Janeiro 1984, Commission V, WG 1, 14 p.
- GRÜN, A., 2004: Die Buddhas von Bamiyan. – Abenteuer Archäologie, Spektrum der Wissenschaft, No. 2, S. 70–74.
- GRUEN, A. & ZHANG, L., 2003: 3D processing of highresolution satellite images. – Proceedings The Asian Conference on Remote Sensing, Busan, Korea, 3–7 November, on CD-ROM.
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003a: Image-based automatic reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. – CVPR Workshop on 'Application of Computer Vision in Archaeology', Madison, USA, on CD-ROM.
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003b: Computer reconstruction and modeling of the Great Buddha statue in Bamiyan, Afghanistan. – CIPA Symposium, Antalya, Turkey, Int. Arch. of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 5/C15, S. 440–445 (also on CD-ROM).
- GRUEN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2004a: 3D modeling and visualization of large cultural heritage sites at very high resolution: The Bamiyan valley and its standing Buddhas. – Int. Arch. of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part B5, S. 603–608.
- Gruen, A., Remondino, F. & Zhang, L., 2004b: Photogrammetric reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan. The Photogrammetric Record, 19 (107), S. 177–199.
- HACKIN, J., 1928: The Colossal Buddhas at Bamiyan. Their influence on Buddhist sculpture. – The Eastern Art, Vol.1:2, 10, S.109–116.
- HACKIN, J. & HACKIN, R., 1939: Bamiyan. Führer zu den buddhistischen Höhlenklöstern und Kolossalstatuen. – Deutsche Ausgabe. Publication de la Delegation Archeologique Francaise en Afghanistan, Les Editions D'Art et D'Histoire, Paris.
- HIGUCHI, T., 2001: Bamiyan. Art and archaeological researches on the Buddhist cave temples in Afghanistan 1970–1978. – 4 Volumes. Publication of the Kyoto University Archaeological Mission to Central Asia, Donosha Media Plan.
- KOSTKA, R., 1974: Die stereophotogrammetrische Aufnahme des Großen Buddha in Bamiyan. – Afghanistan Journal, 3 (1), S. 65–74.
- KNOBLOCH, E., 2002: The archaeology and architecture of Afghanistan. – Stroud Tempus. ISBN 0-7524-2519-6, S. 88–95.
- MODE, M., 1999: Ein vergessener Anfang: Carl Ritter und die „Kolosse von Bamiyan“. Zum 220. Geburtstag eines grossen deutschen Geographen. – Webversion eines Artikels, auf <http://mlucom6.urz.uni-halle.de/orientarch/ca/bam/bamiyan>.
- RITTER, C., 1838: Die Stupa's (Topes) oder die architectonischen Denkmale an der Indo-Baktischen Königsstraße und die Colosse von Bamiyan. – Nicolaische Buchhandlung, Berlin.
- The Bamiyan Buddha Project. – TV Reports, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, 2004, DVD.
- UNESCO (Webpage Bamiyan): <http://whc.unesco.org>.

### Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. ARMIN GRÜN  
 Dipl.-Ing. FABIO REMONDINO  
 Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
 ETH Zürich, CH-8093 Zürich, Schweiz  
 e-mail: [agruen@geod.baug.ethz.ch](mailto:agruen@geod.baug.ethz.ch)  
[fabio@geod.baug.ethz.ch](mailto:fabio@geod.baug.ethz.ch)

Manuskript eingereicht: September 2004  
 Angenommen: Oktober 2004