

---

# **3D-Sutren - Webbasiertes Informationssystem gescannter Sutrentexte in China**

Natalie SCHMIDT, Rainer SCHÜTZE und Frank BOOCHS

## **Zusammenfassung**

Die buddhistische Steinschriften (8. - 12. Jh. n. Chr.) der Provinz Sichuan im Südwesten Chinas repräsentieren eines der bedeutendsten Kulturgüter Chinas, welche archäologisch, kunsthistorisch und textwissenschaftlich dokumentiert, analysiert, interpretiert und visualisiert werden müssen. Einerseits sollen diese buddhistischen Steinschriften für zukünftige Generationen konserviert werden. Andererseits sollen weitere Voraussetzungen zur Analyse der Daten geschaffen werden, indem diese einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, um beispielsweise die geschichtliche Entwicklung des Buddhismus in China und seine Anpassung an die chinesische Kultur zu erforschen.

## **1 Einleitung**

Die kulturelle Entwicklung Ostasiatischer Länder, insbesondere China, hat den Buddhismus stark beeinflusst, weshalb das Wissen über seine Verbreitung über Zeit und Raum einen bedeutenden Faktor bei der historischen Untersuchung darstellt. Die Überlieferung der buddhistischen Lehre erfolgte ursprünglich mündlich und wurde erst viel später schriftlich festgehalten und verbreitet. Diese schriftliche Überlieferung der buddhistischen Lehre wird als Sutra bezeichnet. Das Sutra befasst sich meist mit einem bestimmten Thema wie mit der Vollkommenheit der Weisheit, welche ein zentrales Thema des Diamant- und Herz - Sutra repräsentiert.

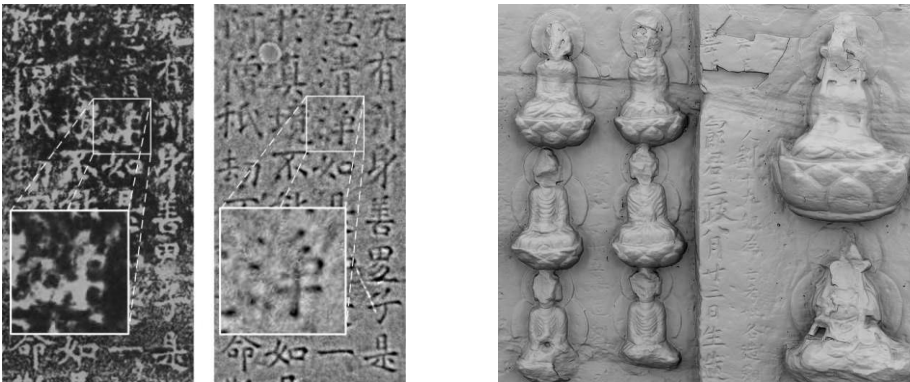
Sutren wurden schon im 1. Jh. n. Chr. mit Hilfe von Holztafeldruck vervielfältigt und verbreitet. Für eine dauerhafte Erhaltung dieser Sutren begannen buddhistische Mönche diese in Stein einzugravieren (Ledderose, 2006). Die größte Ansammlung solcher eingemeißelten Sutren befindet sich in der Provinz Sichuan. An sechs verschiedenen Fundorten sind ca. 80 Sutrentexte mit mehr als 600.000 Schriftzeichen zu finden. Diese Sutrentexte, welche größtenteils bereits bekannt sind, jedoch lokale Unterschiede aufweisen, beleuchten die Geschichte des Buddhismus von einer anderen Seite und verdeutlichen sein Wachstum, seine Anpassung an die chinesische Kultur sowie seinen Konflikt mit dem weltlichen Staat (Ledderose, 1981), was von chinesischer Seite bisher noch nicht eingehend untersucht wurde.

## **2 Präzise 3D - Daten für die Dokumentation der Inschriften**

Bisher sind die eingravierten Steinschriften durch Papierabreibungen (Rubbings) analog dokumentiert worden (Ledderose, 1981). Hierzu wird das Papier auf die Oberfläche des

Steins geheftet, anschließend wird das Papier mit einem Kohlestift abgerieben. Man kopiert somit die Strukturen und Vertiefungen (Schriftzeichen) der Wand auf das Papier. Als Ergebnis erscheint die Oberfläche der Felswand in schwarz, während die eingravierten Inschriften weiß bleiben. Der größte Nachteil dieses Verfahren liegt darin, dass die physikalischen Einwirkungen des Abreibens die Inschriften beschädigen.

Durch die Nutzung berührungsloser Messtechniken, wie z.B. Streifenlichtprojektion, können diese Probleme vermieden werden. Weiterhin sind die Vorteile der modernen 3D - Messtechniken nicht durch die Objektgröße begrenzt. Durch einfache Änderungen der Ausrüstung können Maßstab und Auflösung gleichermaßen geändert werden und somit weitere Dokumentationsansätze realisiert werden. Somit entstehen präzise Modelle, welche durch lokale und regionale Modelle ergänzt werden können. Dies erlaubt weitere Analysen und räumliche Betrachtungen, wodurch das Potential für die kunsthistorische Forschung erweitert wird (Boochs et al., 2006).



**Abb. 1:** Vergleich zwischen Rubbing (links) und Ergebnissen des Streifenlichtscan (rechts)

**Abb. 2:** 3D - Modell der Inschriften mit Buddhas

Die hochauflösenden 3D - Messverfahren generieren hochpräzise 3D - Daten, welche eine geometrisch exakte Kopie der Inschriften darstellen. Diese 3D - Daten liefern im Vergleich zum traditionellen Rubbing bessere Ergebnisse in der Lesbarkeit einzelner Schriftzeichen (siehe **Abb. 1**), bieten eine objektivere Basis für Analysen und beschädigen die teilweise stark erodierten und empfindlichen Oberflächen nur in geringerem Maße durch das Anbringen von Referenzmarken. Weiterhin erlauben die 3D - Daten der Inschriften andere Möglichkeiten zur automatischen Auswertung und geben bessere Voraussetzungen für die Interpretation.

Die besten Resultate bei hochauflösenden Scans liefern Streifenlichtprojektionssysteme. Sie erlauben 3D - Geometrien kleiner 1 m<sup>3</sup> zu erfassen und bieten gleichzeitig eine detaillierte 3D - Punktwolke der Inschriften (Böhler et al., 2004). Dies eröffnet verschiedenste Felder der Datenprozessierung und unterstützt die Interpretation durch unterschiedliche Methoden der 3D - Visualisierung (Hanke, Böhler, 2004), wie **Abb. 2** zeigt.

In unserem Fall erstrecken sich die Inschriften auf Felswänden von 3x4 m. Die laterale Auflösung der durchgeführten Messungen beträgt ca. 0,25 mm. Für ein Schriftzeichen mit einer typischen Größe von  $\sim 1 \text{ cm}^2$  ergeben sich daher 1600 3D-Punkte. Eine detailliertere Erfassung würde demnach den Aufwand bei der Aufnahme deutlich erhöhen und enorm große Datenmengen produzieren. Dennoch ist es interessant einzelne Bereiche der Inschriften mit höherer Auflösung zu erfassen, um die Potentialsteigerung für strukturelle Analysen gerade im Hinblick auf die individuellen Charakteristiken, welche mit den verschiedenen Mönchen und Steinmetzen korreliert sind, zu verdeutlichen.

Zusätzlich zu der geometrischen Erfassung der Sutrentexte sollen diese weiterhin in einem größeren globalen Kontext betrachtet werden. Aus diesem Grund müssen weitere Messverfahren eingesetzt werden, um die Rahmenbedingungen für die Dokumentation und Analyse kunsthistorischer Objekte zu erweitern und zu optimieren.

Lokale und regionale Untersuchungen können mittels terrestrischem Laserscanning realisiert werden. In unserem Kontext wird terrestrisches Laserscanning eingesetzt, um die Umgebung der Inschriften geometrisch zu erfassen. Die erfassten Punktwolken dokumentieren die Topographie, so dass die relative Position großer Inschriften ausgedrückt werden kann. Weiterhin können daraus präzise 3D - Modelle generiert werden, welche die Analyse räumlicher Beziehungen verschiedener Fundstellen ermöglichen und die Visualisierung der Objekte in einer virtuellen Umgebung erlauben.

Die Ergebnisse der auf unterschiedliche Art erfassten Daten (Zeichenscan, Fotos, Panoramen, 3D-Modelle) werden innerhalb einer interaktiven Webapplikation veröffentlicht. Dadurch erlangt eine breite Öffentlichkeit Zugang zu den Ergebnissen der Inschriften und ihrer Interpretationen sowie zu zwei- und dreidimensionalen Karten.

### **3 3D - Prozessierung der digitalen Sutrentexte**

Zur Dokumentation der buddhistischen Steinschriften stellen 3D - Daten eine innovative Basis dar, deren effektive Nutzung jedoch nur dann realisiert werden kann, wenn die Daten in adäquater Weise aufbereitet und prozessiert werden. Dies bedeutet, dass ihr Datenvolumen reduziert, störende Einflüsse minimiert und relevante Informationen hervorgehoben werden müssen. Die Aufbereitung der Daten soll einerseits eine gute Basis für die manuelle Interpretation durch die Sinologen sowie für die automatische Interpretation durch Algorithmen wie Template Matching (Steinke, 2009) schaffen. Andererseits sollen die Daten für eine performante Präsentation im Internet vorbereitet werden.

#### **3.1 Reduktion des Datenvolumens**

Aufgrund der relativ hohen Auflösung des mittels Streifenlichtscanner erfassten Datenmaterials entstehen für Bereiche von einigen Quadratmetern mehrere Millionen 3D - Punkte. Eine Inschrift von  $2 \times 2 \text{ m}^2$  Größe erzeugt bei einer Auflösung von 0,25 mm ein Datenvolumen von ca. 4,32 GByte. Dieses Datenvolumen kann weder in akzeptabler Weise verarbeitet werden, noch über das Internet transferiert werden, was die Bedeutung der Datenreduktion für die weitere Verarbeitung verdeutlicht.

Konventionelle Kompressionsalgorithmen gehen meist mit einem immensen Datenverlust einher, weshalb eine intelligenterere Strategie zur Reduktion der Daten eingesetzt werden muss. In unserem Fall sind nur die einzelnen Schriftzeichen von Bedeutung. Allerdings ist räumliche Struktur der Steinwand um ein Vielfaches stärker ausgeprägt, als die Struktur der eingravierten Inschriften, so dass nur spezielle Prozessierungsansätze zu einer deutlichen Verbesserung der Lesbarkeit der Schriftzeichen führen. Ziel der Prozessierung ist es, die Informationen auf die Inschriften zu reduzieren, wobei zunächst eine Transformation der komplexen 3D - Daten in den  $2\frac{1}{2}D$  - Raum vorgenommen werden muss, ohne den Informationsgehalt zu reduzieren. Dies wird realisiert, indem eine Ebene in das 3D - Modell eingepasst wird und die einzelnen 3D - Punkte auf diese Ebene projiziert werden. Die so entstandenen  $2\frac{1}{2}D$  - Daten werden durch ein rasterbasiertes Höhenmodell (DHM) repräsentiert, auf welches sämtliche Prozesse der digitalen Bildverarbeitung angewandt werden können. Dies vereinfacht die weiteren Verarbeitungsschritte und vermeidet eine Handhabung von komplexen 3D - Daten. Weiterhin wird durch diese Transformation das Datenvolumen um den Faktor 100 (von 4,32 GB auf 40 MB) reduziert, was mit den konventionellen Kompressionsalgorithmen nicht erreichbar gewesen wäre.

### **3.2 Strukturelle Verbesserung zur Steigerung der Lesbarkeit**

Ausgehend von der Reduktion des Datenvolumens durch die Transformation der 3D - Daten in den  $2\frac{1}{2}D$  - Raum entstehen Bilder (rasterbasierte DHM, 32bit), welche keine geeignete Basis für die manuelle Interpretation darstellen (siehe **Abb. 3**). Dies liegt darin begründet, dass die sehr kleinen räumlichen Strukturen der Schriftzeichen von den stark ausgeprägten Strukturen der Steinwand unterdrückt werden.

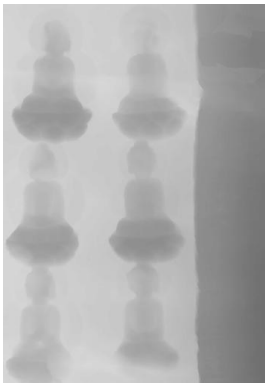
Im Rahmen der weiteren Prozessierung unterscheiden wir deshalb drei wesentliche Prozessierungsschritte. Diese umfassen die Transformation der  $2\frac{1}{2}D$  - Daten in ein lokales Höhensystem, die Eliminierung der Oberflächentopographie der Steinwand sowie eine weitere Kompression der Daten.

Durch die Unebenheiten der Steinwand und gelegentlich auftretende Bruchstellen innerhalb der Steinwand entstehen große Höhenunterschiede. Dies führt dazu, dass die wesentlichen Informationen der Inschriften auf der Steinwand nicht lesbar sind. Deshalb wird eine Normalisierung angewandt, welche ein geglättetes Höhenmodell vom ursprünglichen Höhenmodell subtrahiert. Durch die Subtraktion beider Bilder werden die absoluten Höhen bezogen auf das lokale Koordinatensystem der Höhle in relativen Höhen bezogen auf das geglätteten rasterbasierter DHM überführt. Damit wird erreicht, dass nur noch geringe Höhenunterschiede bestehen, welche neben den gut erhaltenen und verwitterten Zeichen auch die Rauigkeit der Steinoberfläche umfassen. Als Zwischenergebnis kann eine Verbesserung der Lesbarkeit der Schriftzeichen festgehalten werden. Allerdings geht noch immer ein großer Grauwertbereich bei der Darstellung irrelevanter Informationen verloren, welche aus einer schlechten Behandlung der Randpixel im Glättungsprozess resultiert.

Die Lösung dieses Problems wird im zweiten Verarbeitungsschritt angegangen. Durch eine Histogrammbegrenzung werden die eingravierten Schriftzeichen extrahiert, wohingegen die großen Höhenunterschiede aus dem vorherigen Verarbeitungsschritt minimiert werden. Die Eingrenzung des Histogramms wird über sogenannte Grenzwerte gesteuert. Diese Grenzwerte werden basierend auf der Standardabweichung aller Grauwerte errechnet. Durch Anwendung der Histogrammbegrenzung wird der gesamte Höhenunterschied von vorher

ca. 100 cm auf ca. 3 cm reduziert, so dass lediglich die Schriftzeichen und die Rauigkeit der Steinoberfläche dargestellt werden. Somit werden die Einflüsse, welche durch die Subtraktion des ursprünglichen Bildes vom geglätteten entstehen, minimiert. Ein weiterer Effekt ist, dass die Schriftzeichen dabei hervorgehoben werden.

Schließlich wird durch eine Histogrammstreckung erreicht, dass der extrahierte Höhenbereich des rasterbasierten DHM auf den Grauwertbereich eines 8-Bit-Bildes übertragen werden kann. Dieser Verarbeitungsschritt ermöglicht eine weitere Reduzierung des Datenvolumens und der Farbtiefe.



**Abb. 3:** 2 $\frac{1}{2}$ D - Daten (DHM) der Inschriften mit Buddhafiguren.



**Abb. 4:** Prozessiertes DHM der Inschriften mit Buddhafiguren.

Das Problem dieser Verarbeitungsschritte ist, dass nicht nur die gut erhaltenen und die verwitterte Zeichen stark hervorgehoben werden, sondern auch die Rauigkeit der Steinoberfläche der Steinwände. Dies resultiert daraus, dass die Rauigkeit der Steinoberfläche sowie die verwitterten Schriftzeichen den gleichen Grauwertbereich aufweisen und deshalb kaum unterschieden werden können. Dennoch bieten die Verarbeitungsschritte eine enorme Steigerung der Lesbarkeit der Schriftzeichen (siehe **Abb. 4**) und repräsentieren eine gute Basis für die manuelle und automatisierte Interpretation und für die Visualisierung der Daten via Internet. Aufgrund der Datenstruktur und der Qualität der Daten können weitere Verarbeitungsschritte für die automatische Interpretation und die interaktive Visualisierung durch die Verwendung einfacher Bildverarbeitungsbibliotheken erfolgen.

## 4 Datenanalyse basierend auf Template Matching

Da die Sutrentexte nun als rasterbasierte 2 $\frac{1}{2}$ D - Daten vorliegen, können 2D - Bildverarbeitungsalgorithmen angewandt werden. Es gibt eine Vielzahl von Algorithmen und Konzepten zur Analyse und automatischen Auswertung der Bilddaten, welche für die weiteren Bearbeitungsschritte eingesetzt werden können. Solche Schritte könnten auf eine Automatisierung manueller Interaktionen wie eine Identifizierung der Schriftzeichen gerichtet werden. Zusätzlich könnten sie für eine automatisierte Interpretation von Textstellen dienen

oder sogar zu einer Analyse einzelner Merkmale innerhalb der Schriftzeichen führen, die ihren Ausdruck in geometrischen oder strukturellen Merkmalen finden. Alle diese Strategien versuchen den Interpretationsprozess durch den Benutzer zu vereinfachen, zu beschleunigen oder helfen Informationen abzuleiten, die nicht durch eine visuelle Inspektion erzeugt werden können.

Automatische Zeichenerkennung ist besonders interessant, da die manuelle Interpretation der Inschriften durch die Sinologen bei der großen Anzahl der Inschriften und Zeichen sehr mühsam ist. Dieser manuelle Prozess wird untergliedert in die Lesung und Übersetzung der einzelnen Schriftzeichen sowie die Extraktion von Informationen zu deren Größe und Position in der dokumentierten Inschrift. Die Automatische Zeichenerkennung, welche den Prozess des Lesens deutlich vereinfachen und beschleunigen würde, ist auf einfache Weise mit Template-Matching (siehe **Abb. 5**) realisiert worden. Dieses wird auf die Ergebnisse der vorangegangenen Datenverarbeitung angewandt, da die daraus resultierenden Bilder keine perspektivischen Deformationen enthalten und sehr kontrastreich sind. Das Template-Matching basiert dabei auf natürlichen Templates, welche aus den verarbeiteten Daten extrahiert werden, oder auf generischen Templates von Unicode-Zeichen des chinesischen Alphabets.



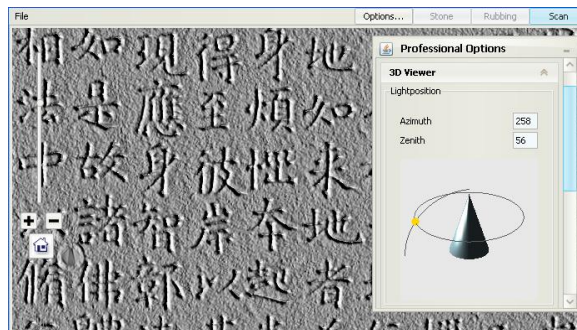
**Abb. 5:** Gruppe mittels Template Matching extrahierter Schriftzeichen am Beispiel des Schriftzeichen Buddha (佛). Links: DHM. Rechts: Neigungsmodell

Der Nutzen des Template-Matching im Interpretationsprozess ist über die Identifizierung der einzelnen Schriftzeichen innerhalb der Inschrift hinaus noch durch die Verbindung zu einer digitalen Textreferenz verstärkt worden. Diese digitale Textreferenz, der sogenannte Taisho, enthält alle Sutrentexte in digitaler Form und kann über das Internet angefragt werden. Mittels Template-Matching werden die entsprechenden Schriftzeichen lokalisiert, um sie dann im Taisho zu suchen. Eine vergleichsweise geringe Anzahl (i.d.R. 3) lokalisierter Schriftzeichen definiert bereits eindeutig die Textpassagen. Die Idee dieser Verarbeitung ist das Template-Matching auf die gut erhaltenen Schriftzeichen anzuwenden und mit dem Wissen aus dem Taisho zu verbinden, um somit auch die verwitterten Schriftzeichen identifizieren zu können.

Zusätzliches Potenzial für das Template-Matching könnte sich aus einer Unterstützung weiterer Interpretationsprozesse ergeben, welche sich mit der Kalligraphie beschäftigen. Durch die Extraktion von Strukturelemente der einzelnen Schriftzeichen und ihre Ausrichtung könnte es möglich sein, verschiedene Autoren oder verschiedene Techniken des Steinmetzes zu identifizieren.

## 5 Visualisierung der Daten

Neben den oben genannten algorithmischen Ansätzen bieten die räumlichen und visuellen Daten gute Voraussetzungen für unterschiedliche, interaktiv zu gestaltende, individuelle Analysen durch die breite Öffentlichkeit wie auch durch die Fachwelt. Hierfür ist Webapplikation konzipiert worden, die derzeit aufgebaut und entwickelt wird. Mit der Webapplikation werden die digitalen Kopien der originären Inschriften verfügbar gemacht und Werkzeuge zur Unterstützung der visuell gestützten Interpretation bereitgehalten. Der Anwender hat damit die Möglichkeit die virtuellen Kopien der Inschriften, unter Verwendung webbasierter Techniken und Verfahren der 3D - Computergraphik zu untersuchen.



**Abb. 6:** Schattiertes Oberfläche der Steinschriften innerhalb der Webapplikation

Verschiedene Maßnahmen wie Texturierung, Beleuchtung und Schattierung erlauben eine realitätsnahe Darstellung der Sutren, wobei individuelle Veränderungen möglich sind, um den subjektiven Eindruck des Anwenders zu verbessern und ihn bei der Interpretation zu unterstützen. Beispiele sind die interaktive Veränderung der Lichtquelle, welche die Schattierung der Oberfläche direkt beeinflusst und somit einen besseren Eindruck der 3D - Oberfläche der Sutren liefert (siehe **Abb. 6**). Zusätzlich wird der Anwender durch die Verwendung eines dynamischen Waterfillings (virtuelles Füllen des Modells mit einem Wasserspiegel) unterstützt, welches einen besseren Einblick in die Tiefe und Struktur der einzelnen Schriftzeichen ermöglicht. Weitere Beispiele sind die Veränderung der Farbschemata, die Durchführung einer Filterung mit vordefinierten Filtern (Kantenfindung, Glättung, etc.) und das rasterbasierte Abgleichen zweier Schriftzeichen. Gerade diese interaktiven Elemente stellen einen wesentlichen Fortschritt im Umgang mit den Sutrentexten dar.

## 6 Zusammenfassung

Hochpräzise 3D - Messtechniken zeigen auch ein großes Potenzial für archäologische und kunsthistorische Fragen. Es ist offensichtlich, dass die Objekte mit der entsprechenden Ausrüstung zugänglich sein müssen, um eine erfolgreiche und präzise Erfassung der 3D - Daten zu realisieren.

Bei der Dokumentation der buddhistischen Steinschriften sind Streifenlichtprojektionsverfahren zum Einsatz gekommen. Im Vergleich zu den traditionellen Rubbings liefern dieses hochauflösende Messverfahren virtuelle Kopien der Steininschriften und etablieren spezielle Prozessketten. Die angewandte Prozessketten gliedert sich die Umwandlung der Daten in ein 2½D - Rasterbild, die Beseitigung störender Einflüsse der Oberflächentopographie, und die Steigerung der Lesbarkeit der Schriftzeichen für nachfolgende Analysen.

Konventionelles Template Matching kann eingesetzt werden, um den Prozess der Identifizierung einzelner Schriftzeichen zu automatisieren und somit den manuellen Aufwand zu reduzieren. Sofern die Verbindung zu einer Datenbank mit Referenztexten (Taisho) vorliegt, kann die Analyse auf eine vollständige und automatisierte Extraktion von Textstellen erweitert werden. Weiterhin ermöglicht die Bildverarbeitung eine kalligraphische Analyse, die versucht strukturelle Elemente innerhalb einzelner Schriftzeichen zu ermitteln und dadurch Hinweise auf den Mönch oder den Steinmetz zu erlangen.

Mit der Visualisierung der Sutrentexte im Internet sind die Sinologen in der Lage einen tiefen Einblick in die Schriftzeichen zu erlangen und damit die Interpretation von überall auf der Welt voranzutreiben.

## Literatur

- Böhler, W., Bordas Vicent, M., Heinz, G., Marbs, A., & Müller, H. (2004). *High Quality Scanning and Modeling of Monuments and Artifacts*. Proceedings of the FIG Working Week 2004, May 22-27. Athens, Greece.
- Boochs, F., Heinz, G., Huxhagen, U., & Müller, H. (2006). *Digital Documentation of Cultural Heritage Objects using hybrid recording techniques*. The e-evolution of Information Communication Technology in Cultural Heritage. Edited by M. Ioannides, F. Niccolucci and K. Mania, part 2, 258-262. Nicosia, Cyprus: EPOCH Publishing.
- Hanke, K., & Böhler, W. (2004): *Recording and Visualizing the Cenotaph of German Emperor Maximilian I*. Int. Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, 35(5), 413-418.
- Ledderose, L. (1981). *Rubbings in Art History*. Catalogue of Chinese Rubbings from Field Museum. (Fieldiana Anthropology New Series, 3). Edited by Hartmut Walravens, pp. XXVIII-XXXVI, Field Museum of Natural History. Chicago, USA.
- Ledderose, L. (2006). *The Stones resembled printing blocks. The engraved Buddhist stone scriptures at Yúnjū monastery of Fāngshan and the Qidān canon*. Studies in Chinese Language and Culture. Edited by Christoph Anderl and Halvor Eifring, 319-329. Oslo, Norway: Hermes Publishing.
- Steinke, K. - H. (2009): *Lokalisierung von Schrift in komplexer Umgebung*. Tagungsband der Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, 165-173. Jena, Germany.