

Ein virtueller Klon für Helgolands Lange Anna durch terrestrisches Laserscanning

Maren LINDSTAEDT, Thomas KERSTEN

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Geomatik, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt den Einsatz des terrestrischen Laserscanners Mensi GS100 zur 3D-Erfassung der „Langen Anna“ auf Helgoland. Das Projekt wurde im Jahr 2004 am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg durchgeführt. Der Buntsandsteinfelsen wurde mit einer durchschnittlichen Punktdichte von 15mm von sieben Standpunkten aus gescannt. Die bis zur Modellierung erforderlichen Arbeitsschritte werden beschrieben und die bei der Datenaufnahme und Bearbeitung entstandenen Probleme werden näher erläutert. Für die Modellierung durch Dreiecksvermaschung wurden verschiedene Softwarepakete getestet. Hierbei ergaben sich erhebliche Unterschiede in der Qualität des Modells, die aufgezeigt und beurteilt werden.

1 Einleitung

Terrestrische Laserscanner finden heute ihren Einsatz in einem immer breiter werdenden Anwendungsspektrum. Sie stellen neben Tachymetern und photogrammetrischen Verfahren eine echte alternative oder ergänzende Messmethode dar. Durch einen Laserscanner wird in kurzer Zeit eine enorm große Menge an Punkten aufgenommen, so dass der Scanner gerne als optimales Werkzeug zur Erfassung von unregelmäßig geformten Objekten gesehen wird. Im Bereich der Archäologie und Denkmalpflege werden vor allem Triangulations-scanner daher schon seit mehreren Jahren zur Dokumentation von Kulturgütern eingesetzt. (z.B. HANKE & BÖHLER, 2004). Aber auch für die Aufnahme natürlicher Objekte kommen zunehmend 3D-Laserscanner zum Einsatz. So berichten KERSTEN et al. (2004) und HÖNNIGER & KERSTEN (2005) von topographischen Geländeaufnahmen mit dem Mensi GS100 bzw. GS200 und MARBS (2002) von der Aufnahme einer Höhle mit dem Cyrax 2500-System.

In diesem Beitrag wird die Aufnahme des Felsmonolithen „Lange Anna“ auf Helgoland durch terrestrisches 3D-Laserscanning beschrieben. Die für eine Modellierung notwendigen Arbeitsschritte werden aufgezeigt und die Ergebnisse des virtuellen Klons präsentiert.

2 Das Aufnahmeobjekt „Lange Anna“

Die Lange Anna (Abb. 1) ist das Wahrzeichen Deutschlands einziger Hochseeinsel Helgoland. Der knapp 48m hohe Buntsandsteinfels liegt am nördlichen Ende der Insel und ist durch ständige, von Wind und Wasser hervorgerufene Erosionen vom Zerfall bedroht. Auch die 1300m in die Nordsee hineinragende Mole, die zum Schutze des Felsens und der

Insel gebaut wurde, kann das stetige Nagen des Nordseewassers am Felsmonolithen nicht gänzlich verhindern. Ehemals durch ein Brandungstor entstanden, das im Jahr 1860 zusammenstürzte und den Felsen isoliert stehen ließ, erhielt der Felsen früher den Helgoländer Namen „Nathurn Stak“, Brandungspfeiler am Nordhorn. Den originellen Namen „Lange Anna“ erhielt der Felsen im 19. Jahrhundert von einem Badegast, der im Gestein das Gesicht einer Friesin erkannte (FIEDLER, 1999).



Abb. 1: Links die Lange Anna um 1900, rechts im Jahr 2004

Um dieses Naturdenkmal zu erhalten und zu sanieren wurde im Jahr 1998 die „Stiftung Lange Anna“ gegründet. Diese Stiftung entwickelte ein Sanierungskonzept, in dessen Rahmen auch ein Gutachten zur Untersuchung der Standfestigkeit des Felsens erstellt werden sollte. Das Ingenieurbüro Hesse & Suilmann, Buxtehude führte im Sommer 2000 eine photogrammetrische Aufnahme des Felsens durch. Ergebnis dieser Vermessung waren insgesamt 16 Querprofile, die im Abstand von 2,5m bis in eine Höhe von 40m erstellt wurden und aus denen die Technische Universität Hamburg-Harburg ein Gutachten über den Zustand und die Standfestigkeit des Felsens ableitete (HESSE & SUILMANN, 2005).

3 Das Laserscanning-System Mensi GS100

Das Trimble 3D-Laserscanning-System GS100 wird von Mensi S.A. in Frankreich hergestellt und besteht aus Messinstrument mit Zubehör und entsprechender Erfassungs- und Auswertesoftware. Die Streckenmessung erfolgt nach dem Impulslaufzeitverfahren mit einem grünen Laser mit 532nm Wellenlänge. Die optimale Messentfernung des GS100 wird mit 2 – 100m angegeben. Durch die bestmögliche Winkelauflösung von $0,0018^\circ$ lässt sich in 100m Entfernung eine Gitterweite von 3×3 mm realisieren. Der Panorama-View Scanner (360° horizontal, 60° vertikal) kann bis zu 5000 Punkte in der Sekunde messen, wobei ein Laserpunkt in 50m Entfernung 3mm groß abgebildet wird. Die Genauigkeit der Einzelstrecke beträgt 6mm. Weitere technische Angaben und Abbildungen vom System sind in HÖNNIGER & KERSTEN (2005) aufgeführt. Die vollständigen technischen Daten sind unter MENSI (2004) zu finden.

4 Datenerfassung

Für die Datenerfassung im Mai 2004 wurden insgesamt 1,5 Tage benötigt. Am ersten Tag wurden zwei Scans vom Oberland aus durchgeführt, wobei der erste Standpunkt eine relativ große Entfernung zum Objekt von ca. 150m aufwies. Der zweite Standpunkt wurde dann mit einer Objektentfernung von ca. 70m deutlich günstiger gewählt. Am zweiten Tag wurden aus der Gezeitenzone sowie von der die Lange Anna umgebenden Mole aus fünf weitere Scans erfasst. Hierbei mussten für die Standpunktwahl die Einschränkungen durch die Gezeiten berücksichtigt werden. So ließ sich von der dem Wasser zugewandten Seite nur ein Standpunkt realisieren (siehe Abb. 2), da der begrenzte Zeitraum des Niedrigwassers eine weitere Aufnahme nicht zuließ. Für die Registrierung wurden vier bekannte Punkte sowie fünf weitere Neupunkte, deren Koordinaten durch eine freie Stationierung bestimmt worden waren, mit sphärischen Targets signalisiert (siehe Abb.3). Die gewählte Punktdichte am Objekt betrug ca. 15mm, die Punkte der sieben Stationen addierten sich zu einer Punktwolke von ca. 9,5 Mio. Punkten, was einer Datenmenge von 165 MB entspricht.



Abb. 2: Aufnahmekonfiguration (links) und Standpunkt in der Gezeitenzone (rechts)

5 Datenauswertung

5.1 Geo-Referenzierung

Für die Registrierung und die Geo-Referenzierung kam die Software RealWorks Survey 4.1 der Firma Mensi zum Einsatz. Dabei ist zwischen zwei Verfahren der Registrierung zu unterscheiden, die hier beide angewandt wurden. Es wurden die aufgestellten sphärischen Targets zur Verknüpfung der Scans genutzt, aber die Registrierung erfolgte auch über drei identische Punkte in der Punktwolke. Im ersten Schritt wurden die beiden Standpunkte des Oberlandes über drei Punkte in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert. Dabei

ergab sich ein durchschnittlicher Abstand zwischen den beiden Punktwolken von 42mm. Im zweiten Schritt wurden die fünf Standpunkte aus der Gezeitenzone über die signalisierten bekannten Punkte und Neupunkte in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem transformiert. Von jedem Standpunkt wurden drei bzw. vier Kugeln verwendet, es ergab sich eine durchschnittliche Differenz von 6,6mm, der maximale Wert lag bei 13mm. In einem letzten Schritt wurden dann die beiden bereits zusammengeführten Scans des Oberlandes ebenfalls in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem transformiert. Dabei wurden wieder identische Punkte der Punktwolken von oben und unten gewählt, hier lag der durchschnittliche Fehler bei 30mm. Die Gesamtpunktwolke ist in Abb. 3 dargestellt.

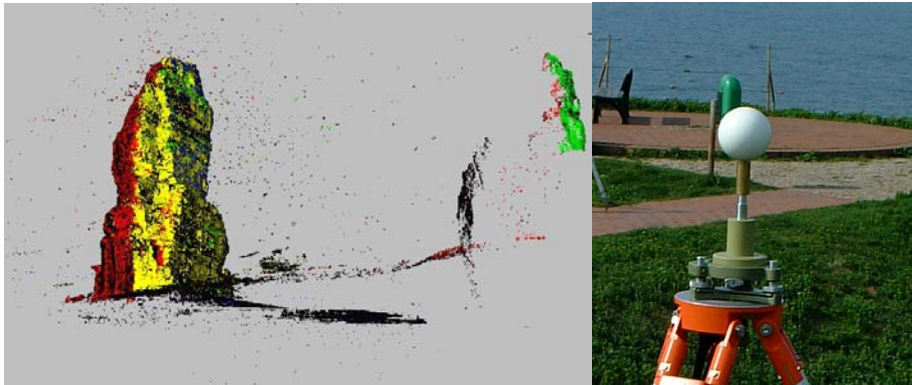


Abb. 3: Registrierte Punktwolke, eingefärbt nach Standpunkten (links) und für die Registrierung und Geo-Referenzierung genutztes sphärisches Target (rechts)

5.2 Datenaufbereitung

Für eine weitere Bearbeitung wurde die Punktwolke zunächst segmentiert und nur der interessierende Bereich wurde ausgeschnitten. Alle Punkte, die nicht unmittelbar zum Objekt gehörten wurden daher gelöscht, was eine Verringerung der Punktzahl von ca. 9,5 Mio. auf 8,5 Mio. Punkte bewirkte. In der bereinigten Punktwolke waren nun Probleme zu erkennen, die bei der Datenaufnahme direkt nicht offensichtlich waren. Zum einen waren vor allem an der dem Wasser zugewandten Seite des Felsens noch einige Bereiche in der Punktwolke zu erkennen, in denen keine Punkte vorhanden waren (siehe Abb. 4 links). Diese schlechte Reflexion ließ sich auf das Material und vor allem auch auf die Farbe des Sandsteines zurückführen. Die Intensitätswerte des reflektierten Signals vom roten Stein waren insgesamt sehr niedrig, und an einigen Stellen wurde überhaupt kein Signal vom Stein reflektiert. In Laboruntersuchungen wurde diese Annahme bestätigt (STERNBERG et al., 2005).

Außerdem ließen sich die vielen während der Aufnahmen auf dem Felsen brütenden Vögel nicht aus der Punktwolke eliminieren. Im Intensitätsbild sind diese deutlich zu erkennen, da sie einen sehr viel höheren Intensitätswert aufweisen als der Sandstein (s. Abb. 4). Jedoch hätte eine Filterung der Daten zur Eliminierung dieser hohen Werte keine Verbesserung der Datenqualität gebracht, da der Stein durch seine weiße Färbung in diesen Bereichen ähnlich hohe Intensitätswerte besitzt und so nur noch neue Löcher im Datensatz entstanden wären.



Abb. 4: Löcher in der Punktwolke (links), Vögel am Felsen (weiß, Mitte) und in der Punktwolke (rechts)

Ein drittes Problem ergab sich aus der Tatsache, dass sich das Scannen von Punkten ganz oben auf dem Felsen als unmöglich erwies. Es konnte kein Standpunkt mit einer größeren Höhe als der Felsen selbst realisiert werden, so dass sich am oberen Ende des Felsen eine große Datenlücke ergab. Um diese zu schließen, wurden zwei Farbluftbilder aus dem Jahr 2004 im Maßstab 1:5000 genutzt. Durch digitale Bildkorrelation wurde ein Punktraster von 10cm x 10cm oben auf dem Felsen erstellt, so dass der vorhandene Datensatz um ca. 10.000 Punkte ergänzt und die vorhandene Lücke geschlossen werden konnte.

5.3 Datenmodellierung

Aufgrund der unregelmäßigen Objektfläche kam für eine Modellierung des Felsen nur eine Dreiecksvermaschung in Frage. Da sich hier keine Regelgeometrien als Projektionsflächen für eine 2,5D-Vermaschung ergaben, sollte eine 3D-Triangulation berechnet werden. Als erstes wurde die Software 3Dipsos der Firma Mensi gewählt. Da für eine Triangulation immer eine möglichst homogene Punktwolke vorliegen sollte, wurde die Punktwolke zunächst gefiltert, um eine gleichmäßige Punktverteilung zu erreichen. Hierbei wurde lediglich eine abstandsabhängige Filterung durchgeführt, d.h. die Form oder Krümmung des Objektes wurde hierbei nicht berücksichtigt. Die Abbildung 5 zeigt die Punktwolke vor und nach der Filterung, als Punktabstand wurde eine Distanz von 10cm gewählt. Durch diesen relativ hohen Abstand im Verhältnis zur ursprünglichen Scandichte ergab sich eine erhebliche Datenreduzierung auf ca. 300.000 Punkte (Faktor 30). Diese Punktwolke wurde anschließend mit einer Kantenlänge von 15cm vermascht, doch ergaben sich auch hier noch größere Lücken in den Bereichen, an denen aufgrund der geringen Reflektivität Punkte fehlten, sowie an Stellen, die aufgrund von Verdeckungen durch Felsvorsprünge nicht aufgenommen werden konnten (Abb. 5 rechts). Das Füllen dieser Lücken war nur mit einem hohen Aufwand an manueller Nachbearbeitung möglich, da der Einsatz der in der Software vorgesehenen automatischen Funktionen nicht den gewünschten Erfolg brachte.

Ein weiteres Problem ergab sich bei der Orientierung der Dreiecke. Die Normalen der Dreiecke werden unter Berücksichtigung des Scannerstandpunktes ausgerichtet, doch ergaben sich hier einige Fehler, die ebenfalls nicht ohne erheblichen Aufwand behoben werden konnten, da für eine Änderung jedes Dreieck einzeln hätte angewählt werden müssen.

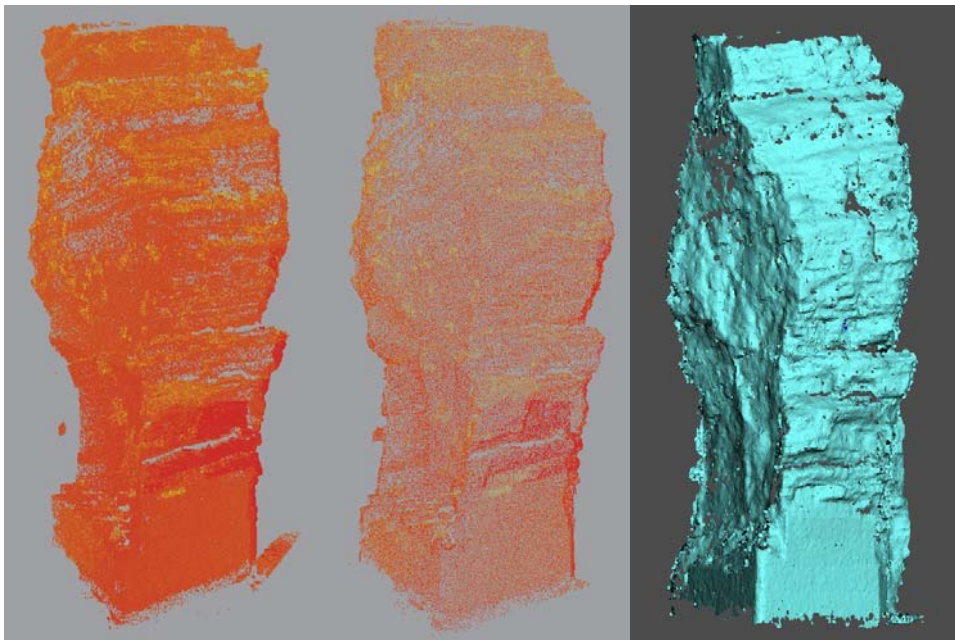


Abb. 5: Punktwolke vor (links) und nach der Filterung (Mitte), Drahtmodell der Dreiecksvermaschung durch 3Dipsos (rechts)

Da das mit 3Dipsos erreichte Ergebnis nicht zufrieden stellend war, wurde als weiteres Programm RapidForm der Firma INUS Technology getestet. Dieses Programm ist vorrangig für die Bearbeitung von Daten der Triangulationsscanner im Nahbereich geeignet, z. B. zur Modellierung von Bauteilen, doch ermöglicht es ebenso die Berechnung einer 3D-Triangulation. Die Software besitzt zur Datenreduktion verschiedene intelligente Filtermöglichkeiten, doch leider konnte die gesamte Punktwolke von 8,5 Mio. Punkten nicht eingelesen werden. Um trotzdem eine Vermaschung berechnen zu können, wurde daher nur eine Seite des Felsens (ca. ein Viertel der Punktwolke) eingelesen. Dieser Ausschnitt wurde dann mit verschiedenen Punktabständen gefiltert und mit unterschiedlichen Dreiecksgrößen vermascht (Abb. 6 links), doch waren die Ergebnisse noch weniger zufrieden stellend als mit 3Dipsos. Dieses schlechte Ergebnis lässt darauf schließen, dass der Einsatzbereich der Software wohl doch auf die Bearbeitung von Daten eines Triangulationsscanners zu beschränken ist, da diese Punktwolken meist sehr viel homogener sind.

Als drittes Programm kam schließlich noch die Software PolyWorks der Firma InnovMetric zum Einsatz. In diese Software wurde die in 3Dipsos auf ca. 300.000 Punkte reduzierte Punktwolke eingelesen. Die Dreiecksvermaschung des Datensatzes erzeugte hier visuell ein sehr viel besseres Ergebnis. Insgesamt ergaben sich weniger Lücken im Modell, die noch vorhandenen ließen sich aber durch geeignete Funktionen schnell und unter Berücksichtigung der näheren Umgebung schließen. Ebenso war die Ausrichtung der Dreiecke durch entsprechende Funktionen einfach und vollständig möglich, so dass sich ein sehr viel geringerer Aufwand der nachträglichen Bearbeitung ergab.

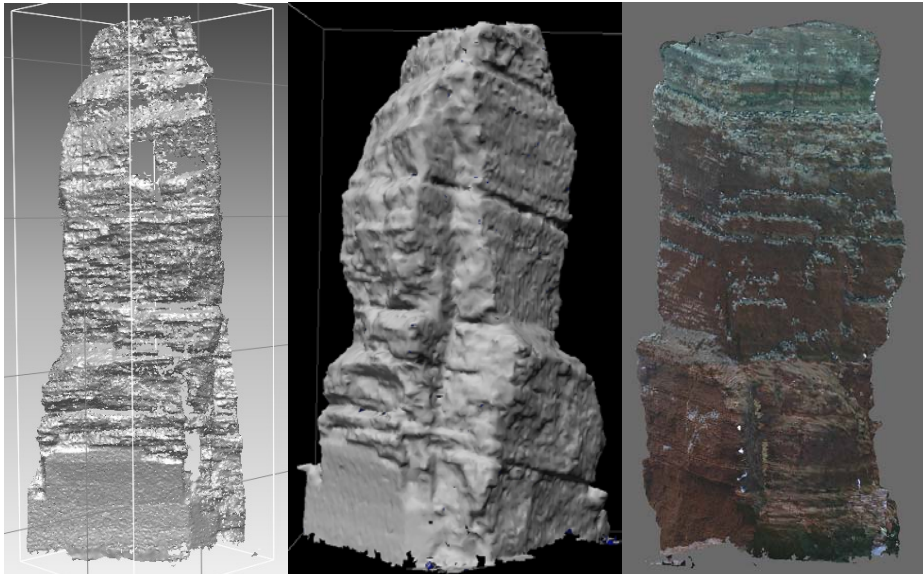


Abb. 6 : Modellierung mit RapidForm (links) und mit PolyWorks (Mitte), Modell der Langen Anna nach dem Texture Mapping mit 3Dipsos (rechts)

5.4 Visualisierung

Abschließend wurde das erstellte Modell mit hochauflösenden Photos als Textur visualisiert. Für das Texture Mapping wurden 25 Photos mit der digitalen Spiegelreflexkamera Fujifilm FinePix S1 Pro (Auflösung 3040 x 2016 Pixel) aufgenommen. Die Bilder wurden im JPEG-Format in das Programm 3Dipsos eingelesen, das für diesen Bearbeitungsschritt eingesetzt wurde. Um die Bilder auf das Modell aufbringen zu können, wurden in Bild und Modell identische Punkte gewählt. Dies stellte sich aufgrund der unregelmäßigen Form des Objektes ohne klar zu identifizierbaren Kanten und Ecken als schwierigster Arbeitsschritt heraus. Auch beeinflusste die Tatsache, dass nicht von allen Seiten Aufnahmen von erhöhten Standpunkten gemacht werden konnten, das Ergebnis. Eine landseitige Ansicht des Felsens ist in Abb. 6 rechts dargestellt. Eine weitere Verwendung der texturierten Daten, z.B. in einer Videosequenz oder in einem interaktiv zu betrachtenden Modell, ließ sich aufgrund der Dateigröße von 9,2MB bisher nicht bewerkstelligen.

6 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Projekt hat deutlich gemacht, dass sich der Laserscanner für die Messung und Dokumentation von großen, natürlichen Objekten eignet. Dabei sollte aber keinesfalls nur die reine Datenaufnahme betrachtet werden, denn gerade die Auswertung der Daten ist kritisch zu beurteilen. Während die Vorbereitung der Daten wie z. B. die Registrierung und Filterung, relativ einfach und problemlos abläuft, ist hinsichtlich der Datenmodellierung noch viel Entwicklungsbedarf vorhanden. Das Ergebnis der 3D-Triangulation ist stark

softwareabhängig. Leider sind die verwendeten Algorithmen für die Dreiecksvermaschung nicht bekannt. Der zeitliche Aufwand für die manuelle Nachbearbeitung des Modells war je nach Software sehr unterschiedlich. Aber auch Funktionen zur Beurteilung der Qualität der generierten Daten wären wünschenswert, wie z. B. die Ausgabe der Differenzen zwischen Modell und Original-Punktwolke. Außerdem hat der Anwender einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Qualität von Messung und Ergebnis. So hilft etwa eine gut bedachte Standortwahl für den Scanner, die Qualität und Lückenlosigkeit der Daten zu erhöhen. Durch die vorherige Abwägung der benötigten Punktdichte lässt sich vor Ort viel Zeit einsparen oder aber für zusätzliche Scans nutzen. Gerade wenn Daten nur für eine Visualisierung des Objektes genutzt werden sollen, ist eine hohe Punktdichte zumeist überflüssig, da auch heute noch für die interaktive Animation eines aus mehreren hunderttausend Dreiecken bestehenden Modells die Leistungsfähigkeit der Rechner nicht ausreichend ist.

Es ist geplant, in Zukunft regelmäßig an der Langen Anna weitere Messkampagnen durchzuführen. Die Deformationen des Felsens können so durch einen Vergleich der vorhandenen und folgenden Messungen festgestellt werden. Ein Vergleich der photogrammetrischen Daten aus dem Jahr 2000 mit den Laserscannerdaten ist auch vorgesehen. Der relativ kurze Abstand zwischen den einzelnen Messungen ist gerechtfertigt, da allein im Jahr 1998 mehrere hundert Kubikmeter Gestein des Felsens in die Nordsee gespült wurden.

7 Literatur

- Fiedler, W. (1999): *Helgoland erleben*. 7., neu geschriebene und bebilderte Auflage, Breklumer Verlag, Breklum/Nordfriesland, 110 S.
- Hanke, K., Böhler, W. (2004): *Recording and Visualization of the Cenotaph of German Emperor Maximilian I*. IAPRS, Vol. XXXV, Commission V, Part B5, pp. 413-418.
- Hesse, B., Suilmann, G. (2005): *Photogrammetrische Vermessung der Langen Anna auf Helgoland*. <http://www.bildvermessung.de/>, besucht am 08.02.2005.
- Hönniger, C., Kersten, Th. (2005): *Topographische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Kersten, Th., Mechelke, K., Hönniger, C. (2004): *Topographische Geländeaufnahme mit terrestrischem 3D-Laserscanner*. Publikationen der DGPF, Band 13, Hrsg. Eckhard Seyfert, pp. 333 – 340.
- Marbs, A. (2002): *Experiences with Laser Scanning at i3mainz*. CIPA, Heritage Documentation, Inter. Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Corfu, Greece.
- Mensi (2004): *GS 100 3D laser scanner*. <http://www.mensi.com/website2002/gs100.asp>
- Sternberg, H., Kersten, Th., Conseil, N. (2005): *Untersuchungen des terrestrischen Laserscanners Mensi GS100*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage 2005, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.