

## **Erfahrungen mit einem 3D-Laserscanning-System bei der Erfassung einer Industrieanlage und des Lübecker Holstentores**

Ingo JAHN<sup>1</sup>, Thomas KERSTEN<sup>1</sup> und Roland KINZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Geomatik, Hebebrandstr. 1, 22297 Hamburg

<sup>2</sup> GDV Ingenieurgesellschaft Holst mbH, Tremskamp 5, 23611 Bad Schwartau

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und bei der GDV Ingenieurgesellschaft Holst mbH, Bad Schwartau konnte im Sommersemester 2003 der terrestrische Laserscanner *Cyrax 2500* bei der Erfassung einer Industrieanlage der Firma Boie, Lübeck und des Lübecker Holstentores eingesetzt werden. Mit dem Scanner wurden die beiden Objekte dreidimensional als Punktwolke erfasst. Während die Auswertung und Modellierung der Industrieanlage mit der zum System gehörenden Software *Cyclone* (Version 4.0.2) weitestgehend automatisiert erfolgte, musste die Modellierung des Holstentores durch Verknüpfung mit dem CAD Programm *AutoCAD* noch überwiegend manuell durchgeführt werden. Mit den bearbeiteten Projekten konnte gezeigt werden, dass sich das *Cyrax* Laserscanning System besonders für die detaillierte 3D-Erfassung und Darstellung industrieller Anlagen eignet. Aufgrund seiner Messgenauigkeit und seiner hohen Punktdichte stellt der *Cyrax 2500* eine gute Alternative und Ergänzung zur klassischen Bauaufnahme und zur photogrammetrischen Datenerfassung dar.

### **1 Einleitung**

Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung in der Computertechnologie ergeben sich immer neue Möglichkeiten, virtuelle 3D-Welten zu erstellen. Seit den 90er Jahren drängen zunehmend terrestrische Laserscanner auf den Markt. Damit steht der Geomatik neben Photogrammetrie und Tachymetrie nun ein weiteres leistungsfähiges 3D-Messsystem zur Verfügung. Terrestrische Laserscanner bieten die faszinierende Möglichkeit, innerhalb kürzester Zeit Millionen von Punkten zu messen und so effizient Objekte räumlich zu erfassen. Es entsteht ein umfangreiches Anwendungsspektrum von der „As-Built“ Dokumentation industrieller Anlagen über die Erfassung und Archivierung wertvoller Kulturschätze in Archäologie und Denkmalpflege bis zur Erstellung realitätsnaher virtueller Welten für die Unterhaltungs- und Computerspielindustrie. Aktuelle Informationen zum Thema 3D-Laserscanning finden sich vor allem im Internet (u.a. I3MAINZ 2003, KERN 2003) und in den Tagungsbänden der Oldenburger 3D-Tage (LUHMANN 2002, LUHMANN 2003).

## 2 Aufnahmeobjekte

Um der Vielseitigkeit terrestrischer Laserscanner gerecht zu werden, erfolgte die Wahl zweier Aufnahmeobjekte aus unterschiedlichen Anwendungsgebieten (Abb. 1). Die Erfassung industrieller Rohrleitungen auf dem Gelände der Firma Boie in Lübeck fungiert als Beispiel für eine As-Built Dokumentation. Die Aufnahme des Lübecker Holstentores stellt ein Beispiel für die Erfassung historischer Bausubstanz dar.



**Abb.1:** Rohrleitungen auf dem Gelände der Boie GmbH in Lübeck (links), Westfassade des Lübecker Holstentores (rechts)

Die Firma Boie lagert in Lübeck auf einem Areal von ca. 100 m x 100 m bis zu 2000 m<sup>3</sup> Flüssiggas. Die Leitungen verlaufen zum Teil komplex geführt von 4 unterirdischen Tanks über ca. 200 m Länge zu den Verfüllstationen (Abb. 1 links). Pläne dieser Anlage lagen bislang lediglich in analoger Form und als abstrakte Fließschemata vor. Ergänzend stellte eine klassische tachymetrische Aufnahme durch das Vermessungsbüro Holst und Helten, Bad Schwartau das Gelände im Maßstab 1: 500 dar. In der vorliegenden Projektbearbeitung konnte aus Laserscanner-Daten ein georeferenziertes 3D-Modell der Anlage erstellt werden, das für virtuelle Planungs- und Umbaumaßnahmen geeignet ist.

Das Holstentor (Abb. 1 rechts), Wahrzeichen der Hansestadt Lübeck, ist eines der bekanntesten mittelalterlichen Baudenkmäler Norddeutschlands. Es wurde zwischen 1464 und 1478 als Teil modernisierter Befestigungsanlagen gebaut. 1863 entging es mit einer Stimme Mehrheit in der Lübecker Bürgerschaft dem Abriss (SCHADENDORF 1977). Heute ist das Holstentor aufgrund seines überregionalen Bekanntheitsgrades ein touristischer Anziehungspunkt der Hansestadt Lübeck. Mit seiner Grundfläche von ca. 34 m x 12 m und seiner Höhe von ca. 39 m gründet das Holstentor auf einer Balkenrostkonstruktion, die auf Pfählen in Torf- und Moorboden ruht. Ziel der Laserscanneraufnahme am Holstentor war die geometrisch exakte Erfassung der im Laufe der Zeit deformierten Bausubstanz.

Eine detaillierte Beschreibung der Projekte und der Ergebnisse ist in JAHN 2003 zusammengefasst.

### 3 Das 3D-Laserscanning System Cyrax 2500®

Mit dem 3D-Laserscanning System *Cyrax 2500* aus dem Hause Cyra, Kalifornien, USA, stand zur Projektbearbeitung eines der präzisesten am Markt erhältlichen terrestrischen Laserscannersysteme zur Verfügung. Heute ist der *Cyrax 2500* als „*HDS 2500*“ Teil der von Leica-Geosystems vertriebenen „High Definition Survey“ Laserscannerserie.

Das System erlaubt die berührungslose Objekterfassung im Maßstab 1 : 1 mit einem frei wählbaren Punktrastraster bis zu 1,2 mm. Die Erfassungsrate liegt bei 1000 Punkten pro Sekunde. Die Ablenkung des Laserstrahls erfolgt im 40° x 40° Messfenster (Camera View) über zwei drehbare Spiegel. Über ein optisches System wird die Fokussierung des Messstrahls auf einen Durchmesser von 6 mm in 50 m Entfernung erreicht. Die 3D-Koordinatengenauigkeit beträgt bei einer Messentfernung von 50 m  $\pm 6$  mm. Neben der geometrischen Information wird ein Intensitätswert als vierte Koordinate gespeichert. Anhand der Intensitätswerte erfolgt die Darstellung der Punktwolke farblich kodiert (CYRA 2003a).

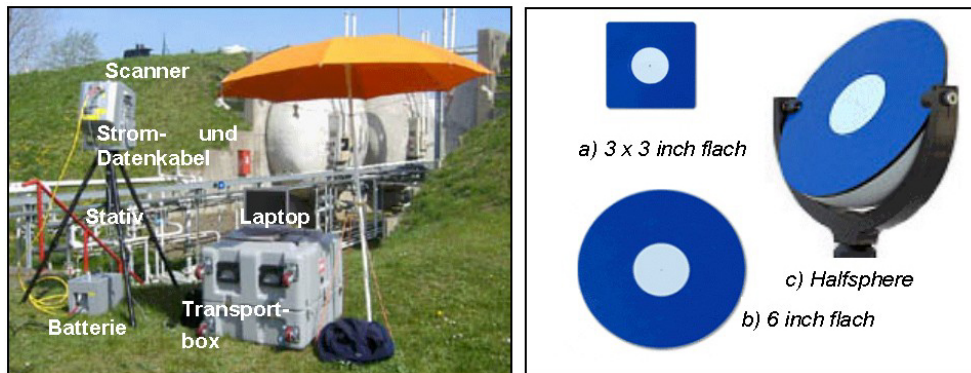
Zur Auswertung der Daten steht das modular aufgebaute Softwarepaket *Cyclone* zur Verfügung. Das Softwaremodul *Model* steuert das Scannen und erlaubt die Verknüpfung der Punktwolken, sowie die 2D- und 3D-Auswertung. Mit Hilfe des *COE* (Cyra Object Exchange) Datenformates kann der verlustfreie Datenfluss zu den CAD-Programmen *AutoCAD* und *MicroStation* erfolgen. Über das PlugIn *CloudWorx* können die Punktdaten auf den bekannten Oberflächen von *AutoCAD* und *MicroStation* bearbeitet werden, während sie im Hintergrund von der *Cyclone*-Software verwaltet werden. Grundlage für die Bedienung der in der Projektbearbeitung verwendeten Version 4.0.2 war eine dreitägige Systemschulung (CYRA 2003b).

## 4 Erfassung von Rohrleitungen der Firma Boie in Lübeck

### 4.1 Datenerfassung

Vor der eigentlichen Laserscannermessung (Abb. 2 links) war die Anlage eines lokalen geodätischen Netzes zur späteren Georeferenzierung der Scans erforderlich. Die Durchführung aller geodätischen Messungen erfolgte mit der Totalstation *TCRA 1105 plus* von Leica-Geosystems. Nach der 3D-Netzausgleichung wurde die Datenerfassung mit dem Laserscanner an insgesamt zwei Arbeitstagen durchgeführt. Zeitgleich wurden im Objektraum verteilte Cyra Targets (Abb. 2 rechts) von einem frei gewählten Standpunkt tachymetrisch angemessen.

Die Laserscannermessung erforderte 8 Standpunkte, von denen insgesamt 20 Scans gemessen wurden. Die Rasterweite der Aufnahme betrug 1,5 cm. Damit konnten die meisten Rohrleitungen auf dem Gelände erfasst werden, da der Leitungsdurchmesser i.d.R. zwischen 4 cm und 12 cm lag. Die durchschnittliche Aufnahmeentfernung lag zwischen 20 und 30 m, wodurch das Genauigkeitspotenzial des Scanners, das sich auf eine Messentfernung von 50 m bezieht, eingehalten wurde. Insgesamt wurden 11 Millionen Punkte mit 257 MB Speicherbedarf gescannt.



**Abb. 2:** Das 3D-Laserscanning System Cyrax 2500 (links), Cyra Targets (rechts)

## 4.2 Datenauswertung

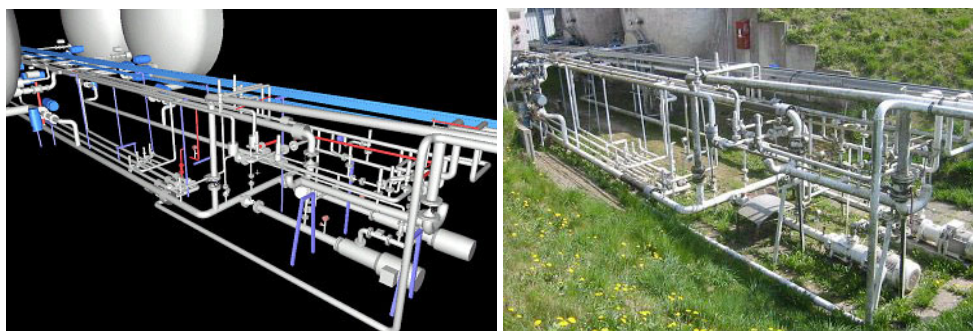
Die Auswertung der Daten erfolgte ausschließlich in den *Cyclone* Softwaremodulen. Vor der eigentlichen Datenverarbeitung mussten zunächst alle in lokalen Scannerkoordinatensystemen erfassten Punktwolken in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert werden (Registration). Dies erfolgte in der *Cyclone* Software durch eine 3D-Helmerttransformation ohne Skalierung (CYRA 2003b). Eine strenge Ausgleichung über identische Punkte ist in der Software nicht vorgesehen.

Es sind drei Verfahren, die in einem gemeinsamen Prozess berechnet wurden, zu unterscheiden: Alle Punktwolken konnten über geeignete *Überlappungsbereiche* mit einer Genauigkeit von 8 mm miteinander verknüpft werden. Zur Stützung dieser Verknüpfung dienten 10 Targets, die von unterschiedlichen Standpunkten gescannt wurden, als zusätzliche *Verknüpfungspunkte*. Der mittlere Abstand der aufeinandertransformierten Targets lag bei 1 mm. Schließlich erfolgte die Transformation in das lokale geodätische Netz über 8 gescannte und tachymetrisch bestimmte *Passpunkte* mit Abweichungen von 1 mm. Weitere 6 im Objektraum verteilte Targets dienten als Kontrollpunkte. Hier ergaben sich im Mittel Abweichungen zur tachymetrisch bestimmten Koordinate von 5 mm.

Scannen und Registration erfolgten durch den Einsatz der Cyra Targets (Abb. 2) weitestgehend automatisiert, da diese bereits während der Datenerfassung halbautomatisch von der Software „erkannt“ wurden. Die Konstruktion des *Cyrax 2500* als Camera-View-Scanner mit eingeschränktem Sichtfeld erwies sich bei der Erfassung langgestreckter Leitungen als nachteilig, da hier mehrere Scans mit einer Überlappung von je  $\frac{1}{3}$  des Aufnahme Fensters aneinandergereiht werden mussten.

Abschließend wurde aus der Punktwolke ein 3D-Modell der Rohrleitungen erstellt (Abb. 3). Dafür wurden jeweils einzelne Teilbereiche der Punktwolke manuell selektiert. In die selektierte Punktwolke wurden geometrische Primitive (i.d.R. Zylinder) approximiert. Die so entstandenen einzelnen CAD-Elemente wurden durch Verschneidung zu einem Gesamtmodell zusammengefügt. Die Selektion der einzelnen Teilbereiche erforderte einen hohen manuellen Aufwand von insgesamt 111 Arbeitsstunden. Anhand tachymetrisch ge-

messener Kontrollpunkte am Objekt konnte eine Genauigkeit des 3D-Modells von unter 10 mm nachgewiesen werden.



**Abb. 3:** Modellierte Rohrleitungen (links), digitales Foto (rechts)

## 5 Erfassung des Lübecker Holstentores

### 5.1 Datenerfassung

Die Erfassung des Lübecker Holstentores erfolgte absolut berührungslos, d.h. ohne Aufstellung von Cyra Targets im Objektraum, in lokalen Scannerkoordinatensystemen. Das gesamte Gebäude konnte innerhalb von 4 Stunden von 5 Standpunkten aus mit insgesamt 8 Aufnahmen (Scans) erfasst werden (Abb. 4 links). Die Rasterweite betrug 2 bis 3 cm. Die Aufnahmeentfernungen lagen zwischen 24 m und 60 m. Insgesamt wurden 4 Millionen Punkte gescannt und in 102 MB gespeichert.

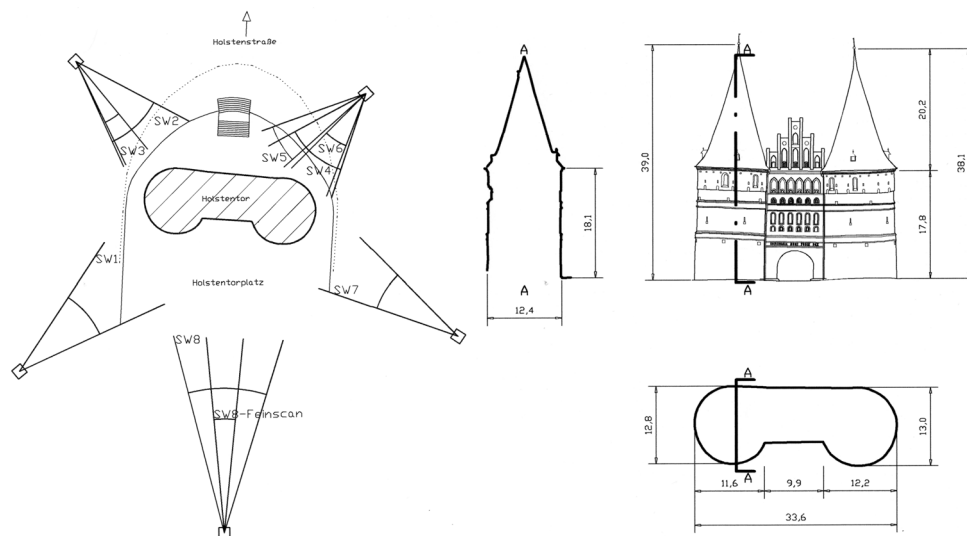
### 5.2 Datenauswertung

Die Verknüpfung der Punktwolken (Abb. 5 links) erfolgte ausschließlich über geeignete Überlappungsbereiche. Dabei wurde im Mittel eine Transformationsgenauigkeit von 8 mm erreicht.

Die weitere Auswertung sah zunächst die Erstellung eines 2D-Fassadenplanes vor. Über das PlugIn *CloudWorx* ließ sich die Punktwolke in beliebigen Schnitten in *AutoCAD* bearbeiten. Zur Erstellung der Pläne wurden auf die parallel projizierte Punktwolke 2D-Polylinien gezeichnet. Das Ergebnis stellt eine Ansicht der Westfassade, einen Grundriss und einen Schnitt im Maßstab 1 : 250 dar (Abb. 4 rechts). Die erforderliche Bearbeitungszeit umfasste 17 Stunden. Aus Vergleichsstrecken zur Punktwolke konnte eine Genauigkeit der 2D-Auswertung von 2 cm abgeleitet werden.

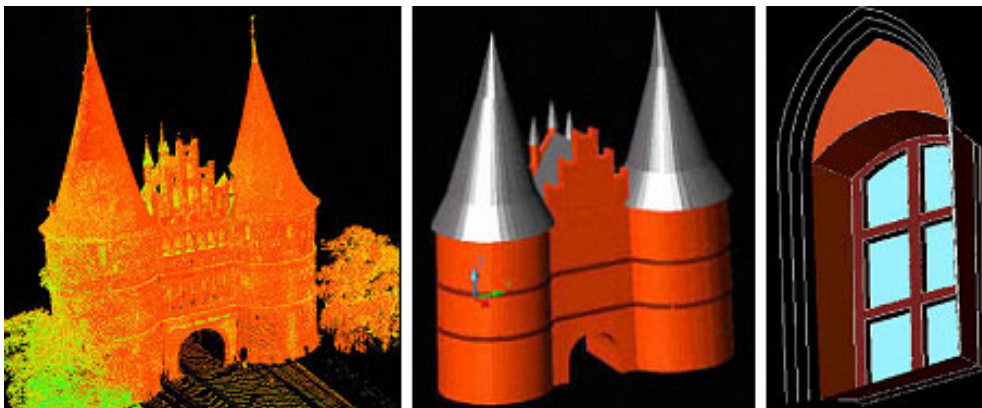
In der weiteren Bearbeitung wurde in *AutoCAD* manuell aus der Punktwolke ein 3D-Blockmodell erstellt (Abb. 5 Mitte). Im Vordergrund stand hierbei die Darstellung der wesentlichen Charakteristika des Holstentores. Trotz Abweichungen (Generalisierung) von bis zu 10 cm zur Punktwolke wird das Modell vom Betrachter als „Holstentor“ erkannt.

Eine komprimierte und durch Photos texturierte Fassung des 3D-Modells könnte zur Visualisierung im Internet oder in Fahrzeugnavigationssystemen dienen.



**Abb. 4:** Laserscannerstandpunkte am Holstentor (links), 2D Auswertung mit Grundriss – Ansicht – Schnitt (rechts)

Am Beispiel eines Fensters (Abb. 5 rechts) des Holstentores konnte gezeigt werden, dass auch die Detailkonstruktion aus der Punktwolke möglich ist. Durch Vergleichsstrecken wurde eine Auswertegenauigkeit von 2 cm nachgewiesen. Somit ist durch deutlichen manuellen Mehraufwand die Verknüpfung von Einzeldetails zu einem Gesamtmodell in *AutoCAD* durchführbar.

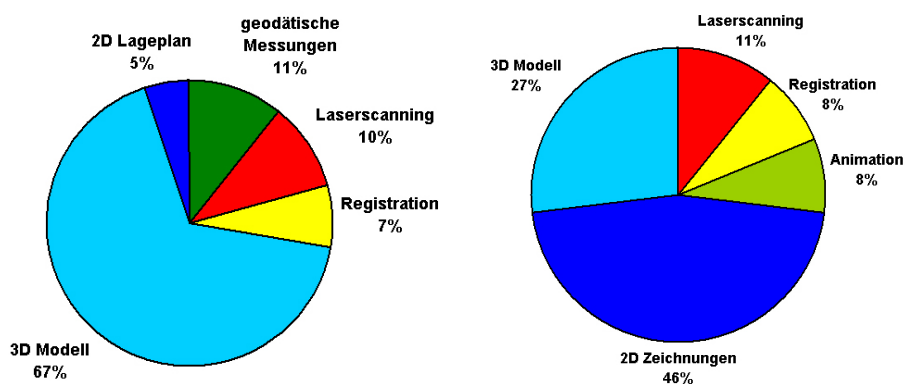


**Abb. 5:** v.l.n.r.: 3D Punktwolke in Cyclone, 3D Modell in AutoCAD, 3D Modell eines Fensters in AutoCAD

Zur Präsentation der Daten lässt sich in kurzer Zeit ein virtueller Rundflug durch die Punktwolke erstellen. Die in *Cyclone* entlang eines virtuellen Kamerapfades generierten Bitmap-Bilder wurden zu einem AVI File mit einer Dateigröße von 159 MB und einer Laufzeit von 13 Sekunden zusammengefügt. Durch Komprimierung ließ sich ein MPEG Video mit einer Dateigröße von 3 MB erstellen.

## 6 Zeitbedarf

Alle Bearbeitungen konnten mit einem Standard-PC mit 256 MB RAM und einem 1,4 GHz AMD Athlon Prozessor durchgeführt werden. In Abb. 6 ist der prozentuale Arbeitsaufwand der einzelnen Teilbereiche dargestellt. Insgesamt ergab sich ein Verhältnis von Aufnahme zu Auswertung von 1 zu 9. Bei möglichen Folgeauswertungen würde sich das Verhältnis weiter vergrößern. Aus Abb. 6 ist zu entnehmen, dass Scannen und Verknüpfung der Punktwolken insgesamt nur ca. 20 % der Arbeitszeit einnehmen, wohingegen die restlichen 80 % auf die übrigen Arbeiten entfallen. Somit erlaubt das Messsystem die schnelle und umfassende Gewinnung objektbezogener Daten. Das Messobjekt kann so „virtuell“ in Form der Punktwolken mit ins Büro genommen werden. In der Regel können durch das automatisierte hochauflösende Abtasten des Objektes kaum Details bei der Erfassung vergessen werden.



**Abb. 6:** Prozentualer Zeitbedarf der Projektbearbeitung: Erfassung von Rohrleitungen der Firma Boie (links), Erfassung des Lübecker Holstentores (rechts)

## 7 Fazit und Ausblick

Das 3D-Laserscanning System *Cyrax 2500* erwies sich während des oben beschriebenen Einsatzes als stabil und einfach zu bedienen. Es wurden Auswertegenauigkeiten von 1 cm in *Cyclone* und 2 cm in *AutoCAD* erreicht. Damit genügt das System den Anforderungen von As-Built Dokumentation und Bauwerksaufnahme. Aufgrund der Konzeption als Camera-View Scanner und dem damit eingeschränkten Sichtfeld eignet sich der *Cyrax 2500* vor

allem zur Erfassung von Außen-Objekten. Wenig effizient wäre die Erfassung von Innenräumen. Durch den einfachen Zugriff auf die CAD-Programme *AutoCAD* und *MicroStation* und damit deren weitere Programmapplikationen lässt sich die Datenauswertung flexibel gestalten. Die *Cyclone* Software selbst bewährte sich insbesondere für die Auswertung von Objekten aus Industrie und Anlagenbau.

In der Zukunft könnte die Entwicklung auf eine verstärkte Automatisierung des Auswerteprozesses zielen. Die Verknüpfung mit geodätischen Messverfahren wurde mit der Weiterentwicklung des *Cyrax 2500*, dem *HDS 3000*, bereits angegangen. Die Verknüpfung von Laserscannerdaten mit photogrammetrischen Aufnahmen ist auch längst in der Entwicklungsphase. Dadurch können die Vorteile beider Systeme gezielt genutzt werden. Die Anbindung eines GPS-Empfängers während der Aufnahme zur direkten Georeferenzierung würde die Verbindung zu einem übergeordneten Koordinatensystem vereinfachen. Letztendlich wäre die Verknüpfung eines Laserscanners mit Photogrammetrie und GPS zur schnellen und effizienten Datengewinnung mit hoher Qualität denkbar.

## 8 Literatur

Cyra (2003a): *Cyra Technologies Inc.* www.cyra.com, besucht am 10.07.2003

Cyra (2003b): *Cyclone 4.0 and Cyrax Basic Training Course – Session I.* Cyra Technologies Inc., European Office, Rijswijk, The Netherlands

i3mainz (2003): *3D Scanning in cultural heritage.* Aktuelle Liste mit 3D Laserscannern und Weblinks, <http://scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php>, besucht am 10.07.2003

Jahn, I. (2003): *Das CYRAX® 3D-Laserscanning-System – Untersuchungen bei der Erfassung einer Industrieanlage der Firma Boie und des Lübecker Holstentores.* Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachbereich Geomatik, HAW Hamburg, September

Kern, F.(2003):*Marktübersicht Laserscanner.* www-public.tu-bs.de:8080/~fkern/scanner/marktuebersicht\_v3.pdf, besucht am 10.12.2003

Luhmann, T. (2002): *Photogrammetrie und Laserscanning – Anwendungen für As-Built-Dokumentation und Facility Management.* Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg

Luhmann, T. (2003): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003.* Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg

Schadendorf, W. (1977): *Das Holstentor.* P. Martin (Hrsg.), Verlag der Buchhandlung Gustav Weiland, Lübeck