

DREIDIMENSIONALE ERFASSUNG VON DENKMÄLERN MIT DER METHODE DES KO- DIERTEN LICHTANSATZES

Dr.-Ing. habil. Rainer Blum

Laboratorium für Dynamik und Optik

Ludwig-Finckh-Weg 27

71229 Leonberg

Telefon: 07152/72924, Fax: 07152/73507

1. EINLEITUNG

Die Erfassung und Kartierung von dreidimensionalen Kunstdenkmälern ist von je her eine wichtige Aufgabe der Vermessung und der Denkmalpflege: Zum einen möchte man das Denkmal dokumentiert haben, um zu späteren Zeiten eine "Originalfassung" zu besitzen, mit der man den jetzigen Zustand vergleichen und die einer eventuellen Restaurierung zugrunde gelegt werden kann. Zum anderen sind die Schäden an einem Denkmal meistens durch Witterungseinflüsse bedingt. Entscheidend sind bei Denkmälern aus porösen Material zum Beispiel Befeuchtung, Versalzung, Frosteinwirkung, Windeinwirkung, etc., bei solchen aus Metall Wasserablauf und Schadstoffeinwirkung aus der Luft. Diese Einflüsse wirken je nach Himmelsrichtung und vorwiegendem Wettereinfluß auf die verschiedenen Partien des Denkmals unterschiedlich ein. Eine gut geplante Restaurierung muß auf diese Unterschiede eingehen und je nach Schadensbild und Exposition unterschiedliche Methoden anwenden. Die dreidimensionale Erfassung des Denkmals und die Planung der Restaurierung verlangen also auch eine dreidimensionale Kartierung.

2. METHODEN DER DREIDIMENSIONALEN ERFASSUNG

2.1. LASERSCANNER

Zur vollständigen Erfassung der dreidimensionalen Gestalt von Denkmälern stehen heute verschiedene Methoden zur Verfügung. Als erstes muß der Laserscanner genannt werden. Hier wird durch einen Laserstrahl eine Oberfläche abgetastet. Die Oberfläche reflektiert einen Teil der Energie. Durch Bestimmung des Phasensprungs zwischen ausgesandten und reflektierten Strahl läßt sich die gesamt zurückgelegte Weglänge berechnen. Wird diese Weglänge zusammen mit der Orientierung des Strahls in einem Rechner gespeichert, können sofort die drei Koordinaten des Reflektionspunktes

relativ zum Sender bestimmt werden. Als Vorteil des Verfahrens muß seine Genauigkeit und Schnelligkeit genannt werden. Die Bedingung eines erschütterungsfreien Standortes teilt das Verfahren mit vielen anderen. Als Nachteil muß die Tatsache genannt werden, daß man nur ein konstruiertes und kein optisches Bild vom Objekt erhält. Insbesondere die Farbinformation läßt sich nur über Umwegen einfügen

2.2. KODIERTER LICHTANSATZ

Als direkte Konkurrenz des Laserscanners muß die Methode des kodierten Lichtansatzes genannt werden. Da sie weniger bekannt ist, seien zuerst einige Grundtatsachen genannt: Hier wird ein Bild durch einen Streifenprojektor mit verschiedenen Streifenmustern beleuchtet und digital aufgenommen. Dabei müssen die Standpunkte von Projektor und Kamera verschieden sein. Durch die Folge von Streifenmustern sind die einzelnen Projektionsrichtungen, ausgedrückt durch eine Streifennummer, eindeutig definiert. Jedem Pixel auf dem Kamerabild, gekennzeichnet durch die Pixelnummer in horizontaler und vertikaler Richtung, ist also eine Streifennummer zugeordnet. Jeder Bildpunkt ist also gekennzeichnet durch drei Größen:

Pixelnummer in vertikaler Richtung x

Streifennummer in horizontaler Richtung, y

Streifennummer, z .

Aus diesen drei Größen lassen sich durch geeignete Kalibrierung die räumlichen Koordinaten eines jeden Punktes berechnen.

Der kodierte Lichtansatz kann interpretiert werden als ein aktives Triangulationsverfahren, wobei das eine Bild das normale Kamerabild ist und das zweite durch den Projektor auf das Objekt geworfen wird. Deshalb spricht man auch von einem aktiven Verfahren.

Der Kalibrierungsvorgang kann so geschehen, daß in den aufzunehmenden Bildern selbst Fixpunkte markiert sind, die photogrammetrisch ausgemessen wurden. Damit hat man dafür die Weltkoordinaten X , Y und Z . Zu diesen Punkten können dann die oben definierten Bildgrößen x , y , und z bestimmt werden, womit man eine eindeutige Zuordnung zwischen den Weltkoordinaten und den Bildkoordinaten besitzt. Mit den bekannten Triangulationszusammenhängen lassen sich dann die Weltkoordinaten eines jeden Bildpixels bestimmen.

Die Auflösung eines solchen Verfahrens hängt von der Auflösung des in der Kamera eingesetzten CCD-Chips und von der Streifenanzahl des Projektors ab. In der Kamera DCS400 von Kodak wird ein Chip mit $1000 * 2000$ Pixeln verwendet. Damit erreicht man bei einem Bildfeld von $1 * 2$ m eine rechnerische Auflösung von einem Millimeter.

Nun sind die meisten Denkmäler größer als dieses relativ beschränkte Objektfeld von $1 * 2$ m. Größere Objekte muß man in kleinere Felder aufteilen, die jedes für sich ausgemessen werden. In jedem dieser Felder muß die minimal notwendige Anzahl von Fixpunkten enthalten sein. Damit kann jedes Feld einzeln ausgemessen werden. Die Ergebnisse

müssen noch zusammengefügt werden. Das geschieht über das Gerüst der Fixpunkte. Dieses Vorgehen ist zu vergleichen mit der Aufstellung eines Atlas. Das Gerüst der Fixpunkte entspricht der Weltkarte. Damit wird eine grobe Übersicht über das gesamte Objekt gegeben. In diese Weltkarte werden die einzelnen Detailkarten eingehängt, deren Auflösung wesentlich größer ist als die der Weltkarte. Es erweist sich als sinnvoll, wenn die Karteneinteilung so vorgenommen wird, daß sich die einzelnen Karten überlappen und die Randfixpunkte in den jeweils benachbarten Karten gemeinsam auftauchen. Das Vorgehen ist in Bild 1 skizziert.

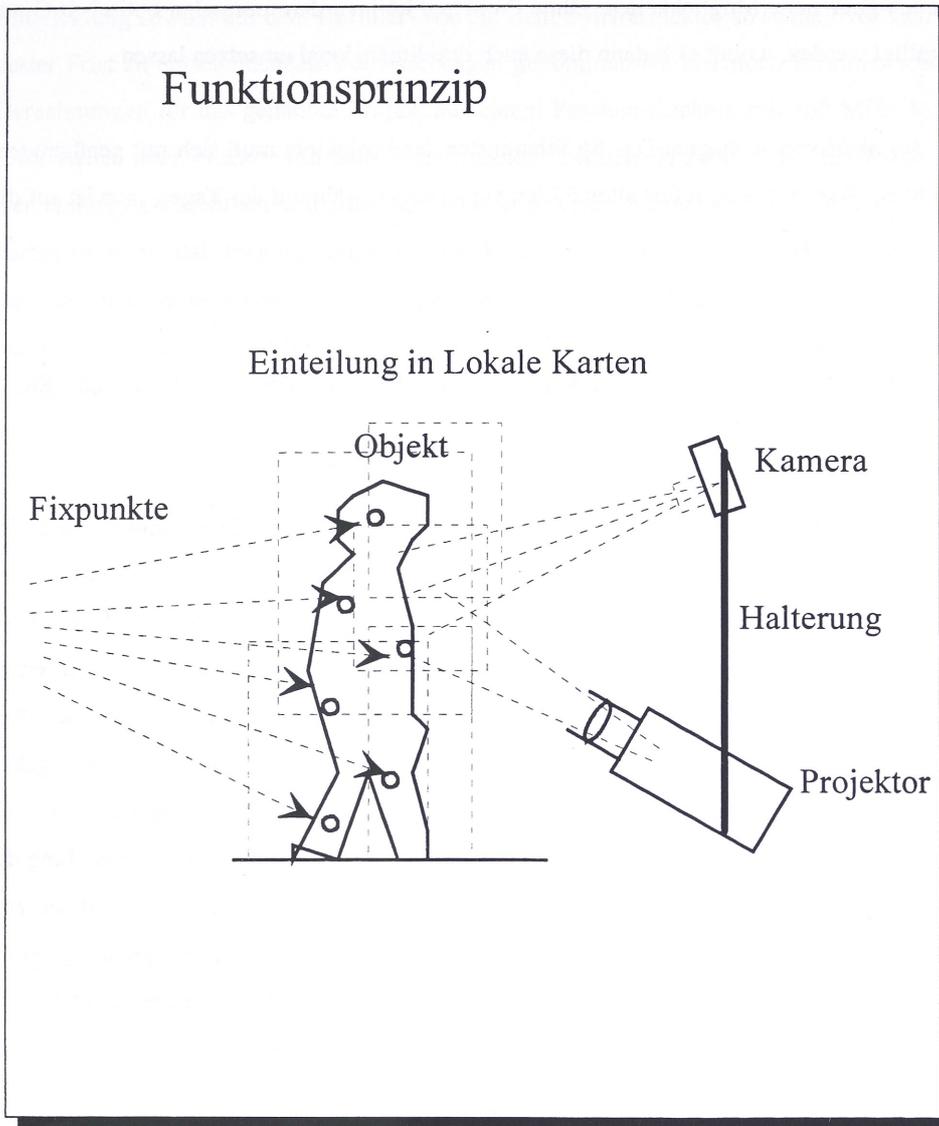


Bild 1: Funktionsprinzip der Bildaufnahme.

Die Vorteile dieses Verfahrens seien kurz aufgezählt:

1. Über die Fixpunkte ist es relativ einfach, die einzelnen Bilder zusammenzufügen. Beim Laserscannen ist das Auffinden und Definieren von Fixpunkten nicht so einfach.

2. Der Reihe der Streifenbilder kann ein optisches Vollbild hinzugefügt werden, das sich pixelgenau mit den Streifenbildern deckt. Damit hat man ein optisches Bild zusätzlich zu dem dreidimensionalen, das dem entspricht, was man sieht. In diesem optischen Bild kann man Markierungen und Zusätze anbringen, man kann alle zur Verfügung stehenden Bildverarbeitungsformalismen anwenden und das Ergebnis wegen der pixelgenauen Korrespondenz direkt ins dreidimensionale Bild übertragen. So lassen sich im optischen Bild denkmalpflegerische Kartierungen vornehmen, die dann dreidimensional umgerechnet werden können.

3. Damit eröffnen sich auch ganz neue Möglichkeiten: Ohne Probleme können dem normalen optischen Graubild Farbauszüge hinzugefügt werden, womit sich dann diese auch dreidimensional umsetzen lassen.

Ein Nachteil dieses Verfahrens sei nicht verschwiegen: Das Streifenmuster des Projektors muß sich mit genügendem Kontrast auf dem Objekt abzeichnen. Das verbietet in fast allen Fällen ein Arbeiten während des Tages, man ist auf die Nachtstunden angewiesen.

3. ANWENDUNGSBEISPIEL: DREIDIMENSIONALE ERFASSUNG DES BRONZEDENKMALES VON FRIEDRICH II VON PREUSSEN UNTER DEN LINDEN IN BERLIN

Als erstes wurde diese Methode auf das Bronzedenkmal von Friedrich II, Unter den Linden, Berlin, angewendet. Zuerst wurden 300 Fixpunkte auf dem Denkmal angebracht und photogrammetrisch vermessen. Die Fixpunkte wurden mit Lack aufgesprüht, das Material wurde in Übereinstimmung mit Metallrestauratoren so ausgesucht, daß es auf der einen Seite für den Zeitraum der Vermessung dauerhaft war und auf der andere Seite sich problemlos wieder entfernen ließ. Diese Punkte bildeten das Gerüst, sie waren sozusagen die Weltkarte des Objekts. In dieses Gerüst wurden über 200 verschiedene Detailkarten eingehängt. Dabei wurde darauf geachtet, daß sich die Karten wie oben angegeben überlappten. Zwei benachbarte Karten enthielten mindestens drei, in den meistens Fällen aber mehr, gemeinsame Fixpunkte. Als Folge waren die Klaffungen zwischen zwei benachbarten Bildern zu vernachlässigen. Zur Überprüfung der Genauigkeiten wurden die mit der Methode des kodierten Lichtsatzes errechneten Werte für die Fixpunkte mit den eingegebenen Werten verglichen. Die Abweichungen lagen im Allgemeinen unter 2 mm, d. h. die Genauigkeit lag bei einem Bildfeld von 1 * 2 m im Promillebereich. Nimmt man als Bezugsgröße aber eine charakteristische Länge von 15 Metern, so betrug der Fehler im Allgemeinen 0,1 Promille.

Die Aufnahmen wurden von einem verfahrbaren Gerüst aus vorgenommen, was sich letztendlich als problemlos darstellte. Für einige Aufnahmen wurde ein mobiler Autokran eingesetzt, der sich bei Windstille als durchaus tauglich erwies. Die Zeit für die Durchführung aller Aufnahmen war für das erste Projekt relativ hoch, da man hier noch Erfahrungen sammeln mußte. Bei einem zweiten Projekt, der Aufnahme des Denkmals des Freiherrn vom Stein ebenfalls unter den Linden in Berlin, konnten diese Erfahrungen alle verwertet werden. Hier konnte die Aufnahmen innerhalb von 5 Tagen durchgeführt werden, das ganze Projekt war in weniger als einem Monat abgeschlossen.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSSCHAU

Mit der Vermessung des hier vorgestellten Reiterstandbildes ist die Eignung der Methode des kodierten Lichtsatzes zusammen mit der Aufspaltung in Karten in der Denkmalpflege nachgewiesen. Es bleibt aber noch ein Manko: Die Darstellungs- und Verarbeitungsprogramme für dreidimensionale Punktwolken und die entsprechenden Rechner waren zur Zeit der Vermessung (1995) noch sehr teuer und erfüllten nicht alle Wünsche. Man muß aber feststellen, daß die Entwicklung sowohl auf dem Rechner- wie auf dem Softwaresektor so schnell vor sich geht, daß es hier innerhalb kürzester Frist zu entscheidenden Verbesserungen gekommen ist oder noch kommen wird. So wurden zum Beispiel alle Berechnungen für das genannte Projekt auf einem Pentium-Rechner mit 100 MHz Taktrate durchgeführt. Im Augenblick stehen aber Rechner mit dem Risc-Prozessor Pentium Pro mit 200 MHz Taktrate zur Verfügung, auf der diese Berechnungen wesentlich schneller abzuwickeln gewesen wären. Auch ist die Entwicklung auf dem Markt für Grafikkarten so rasant, daß auch hier große Entwicklungssprünge zu erwarten sind, die die Darstellung der Ergebnisse mindestens um eine Zehnerpotenz beschleunigen werden. Insgesamt kann man erwarten, daß in der Mitte des Jahres 1997 die dargestellte Methode auch für nicht so wichtige Objekte wie das hier vorgestellte wird angewendet werden können, ohne daß außergewöhnliche Investitionen in die Rechnerhardware gemacht werden müssen.