

3.13 Entwicklung eines prototypischen Aufnahmesystems für die automatisierte Erfassung der Geometrie und von Oberflächenmerkmalen dreidimensionaler Objekte

(Projektzeitraum: 01.07.1993 - 30.6.1994)

Lothar Paul, Tilo Bürger, Ralf Gast

Projektziel

Ziel des Projektes ist die Realisierung einer weitgehend automatisierten Aufnahme- bzw. Erfassungstechnologie für Form (Geometrie) und Oberflächeninformationen (ausgewählte optische Eigenschaften, Struktur) realer Objekte an einem zu schaffenden Meßplatz und die Transformation der gewonnenen Daten in ein CAD-Format einschließlich der Flächenapproximation und der automatisierten Zuordnung von Attributen zu den Einzelflächen.

Schwerpunkte der Projektarbeit im Jahr 1993

- Physischer Aufbau eines Meßplatzes mit den Komponenten LCD-Projektor zur Generierung codierten Lichtes, Kamera- und Bilderfassungssystem, 3D-Laserscanner, Kleinroboter, Beleuchtung, mechanische Komponenten, Kalibrierkörper,
- Inbetriebnahme der Komponenten, Lösung von Kalibrierungs- Ansteuerungs- und Schnittstellenfragen,
- Schaffung von aufgabenspezifischer Software für die Bildaufnahme und -Vorverarbeitung (Binarisierung, Filterung, Maskenerstellung) sowie der Triangulation für das Aufnahmeverfahren "Codiertes Licht",
- Prüfung, Test und Anpassung der zum 3D-Laserscanner gelieferten Software und Integration entsprechend dem Meßplatzkonzept,
- Realisierung der Roboteransteuerung, Schaffung einer Funktionsbibliothek zur kollisionsfreien Robotersteuerung,
- Algorithmische Untersuchungen zur Transformation der gewonnenen 3D-Punktwolken in CAD-typische Flächenmodelle

Stand und Ergebnisse der Projektarbeiten

Meßplatzaufbau und Integration der Komponenten

Zur Realisierung der optischen Erfassung mit dem Ansatz "codiertes Licht" wurde ein kompletter Meßplatz aufgebaut. Dieser umfaßt das System LCD-Streifenprojektor-Kamera-Rotationstisch sowie zusätzlich diffuse Lichtquelle, optische Abschirmung, spezielle Halterungen etc. Die anderen Hauptkomponenten des geplanten automatisierten Meßplatzes (Laserscanner und Kleinroboter) wurden bisher separat betrieben, da in den zurückliegenden Arbeitsphasen vorrangig Basissoftware für diese Komponenten erstellt wurde.

Für beide Aufnahmeverfahren wurden spezielle Kalibrierkörper entwickelt.

Ein Konzept zur Integration aller Komponenten in den vorhandenen Meßplatz wurde erarbeitet. Mechanische Vorarbeiten sind zum Teil realisiert. Eine schematische Darstellung des Meßplatzes und der zu schaffenden Erfassungskomponenten ist in Abb. 4 gezeigt.

Erstellung von Software-Komponenten für den Meßplatz

- Für den Aufnahmekanal des Verfahrens *Codiertes Licht* sind alle wesentlichen Aufgaben der Softwareentwicklung (Projektor- und Kamerasteuerung, Kalibrierung des Meßaufbaus, Ansteuerung der Framegrabberkarte zur Binarisierung und Vorverarbeitung, spezielle Datenfilter, Triangulation zur Ermittlung der realen Objektmaße, Sicherung, Visualisierung und Darstellung der Ergebnisse) abgeschlossen.

Da die Zielstellung des Projektes einen festen Aufbau der Komponenten vorsieht, wurde ein möglichst einfaches und schnelles Kalibrierverfahren gesucht und realisiert. Prinzipielle Schwierigkeiten ergaben sich durch das Auftreten von systematischen Fehlern bzw. Fehlmessungen in bestimmten Objektbereichen wie Schattenränder und Gebiete mit Überstrahlung (von anderen Flächen desselben Objektes reflektiertes Licht). Die Eliminierung dieser Fehler zu einem späteren Zeitpunkt durch Mittelung oder spezielle Filter wurde erprobt, erwies sich jedoch als ungünstig. Für die vorgesehene Flächenapproximation aus den Punktwolkendaten wirkt sich aber jeder einzelne Fehlpunkt extrem verfälschend aus. Aus diesem Grunde wurde intensiv nach Möglichkeiten gesucht, die Fehler bereits im Aufnahmestadium zu eliminieren. Im Ergebnis entstanden sowohl Filterprogramme als auch "aktive" Algorithmen unter Nutzung des LCD-Projektors, die mit Hilfe speziell dafür vorgesehener Musterprojektionen auf das Objekt die Bereiche mit zu erwartender hoher Fehlerdichte markieren bzw. maskierbar machen. Dadurch konnte die Anzahl der Fehlstellen bei hochgradig selektiver Ausblendung von Objektbereichen (pro Ansicht) minimiert werden.

Als Ergebnis der Aufnahme-prozedur stehen nahezu fehlerstellenfreie 3D-Punktwolken der aufgenommenen Oberfläche (siehe Abb. 1 und 2) zur Verfügung, die in einem speziellen Datenformat für die Weiterverarbeitung auf Workstation abgelegt, und darüber hinaus komfortabel graphisch dargestellt werden können (incl. Animation der Drehung dieser Punktwolke). Die Oberflächeninformation wird in Form von Grauwerten ebenfalls bereitgestellt. Einschränkend ist zu bemerken, daß bisher die Größenklasse der Objekte sowie ihre Oberflächenbeschaffenheit relativ eng fixiert waren.

- Der gegenwärtig genutzte *Laser-Scanner* ist noch kein marktreifes Produkt, sondern stellt einen Prototyp dar. Die vom Hersteller gelieferte Software des *CYLAN 3D* wurde komplett überarbeitet bzw. neu erstellt. Gründe dafür sind sowohl Qualität und Zuverlässigkeit als auch Kompatibilitätsfragen. Letztere sind durch die geschaffenen Programmmodule gelöst, hinsichtlich der Qualität der gewinnbaren Daten gibt es jedoch nach wie vor gerätebedingte Einschränkungen (z.B. ist die Genauigkeit der Tiefenwerte auf 8 bit beschränkt, wobei zusätzlich eine Meßwertstreuung von bis zu ± 3 auftritt). Für eine prototypische Meßplatzrealisierung ist das Gerät dennoch ein Gewinn, da punktuell Messen und eine hohe Punktdichte realisiert werden können. Dafür spricht auch, daß eine spätere Substitution durch das vor der Fertigungsreife stehende Nachfolgemodell des Scanners mit wesentlich verbesserten Charakteristika möglich sein wird. Darüber hinaus erlauben die mechanischen Komponenten des Laserscanners eine günstige Realisierung des Gesamtmeßplatzes und erweitern die Möglichkeiten anderer Komponenten.

Neben der Neuerstellung der Scanner-Software wurden Filter für die Meßdaten (insbesondere zur Eliminierung von Fehlern sowie zum Ausgleich der gerätebedingten Meßwertstreuung), Kalibrierungssoftware und Module zur Meßwertdarstellung geschrieben.

- Für den Kleinroboter *MITSUBISHI MoveMaster RV-MI* wurde eine komplette Bibliothek zur Nutzung desselben unter Meßplatzbedingungen in Angriff genommen, deren erste Version vor dem Abschluß steht. Diese Arbeiten wurden im wesentlichen durch einen von der Projektgruppe betreuten Studenten (Herrn Eschricht) geleistet. In die Vorbereitung des Robotereinsatzes am Meßplatz mußte viel Arbeit investiert werden. Grund dafür ist, daß die vorgesehenen Einsatzbedingungen im Unterschied zu den üblichen industriellen Anwendungen eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Bewegungsabläufe (unterschiedliche Objekte, spezielle Anforderungen der Sensoren, Variabilität des Meßplatzaufbaus) und das Operieren des Roboterarmes in unmittelbarer Nähe teurer und sensibler Systemkomponenten wie Kamera, Ringlicht, LCD-Projektor etc. erfordern.

In die Bibliothek wurden ein vereinfachtes Meßplatzmodell, ein Modell der Geometrie des Roboterarmes selbst sowie umfangreiche Module zur Kollisionsprüfung und -vermeidung aufgenommen (siehe dazu auch Abb. 3).

- Die bisher genannten Softwarekomponenten sind als *MS-WINDOWS-Applikationen* realisiert, wobei die Form der DLL als universeller und tatsächlich standardisierter Schnittstelle zwischen PC-Programmkomponenten favorisiert wurde.
- Im Rahmen der *Weiterverarbeitung der Meßdaten* sowie der zu realisierenden *CAD-Schnittstellen* wurden verschiedene Ansätze zur Transformation von Punktwolken in CAD-Flächenmodelle untersucht. Der Ansatz der Flächenapproximation durch Auswertung von Nachbarschaftsbeziehungen und Eliminieren redundanter Information (Punkte, die im Raum auf durch andere Punkte beschriebenen Ebenen liegen) wird nach Vorliegen erster verbesserter Ergebnisse zunächst nicht weiter verfolgt, da der realisierte algorithmische Ansatz insbesondere an nichtspärlichen Oberflächen-Teilstücken äußerst unregelmäßige Differentialflächen liefert. Neben algorithmischen Problemen war auch die ungleichmäßige Dichte der erfaßten Punktwolken ein wesentlicher Grund dafür. Um besser auswertbare Ergebnisse zu erhalten, wurde danach auf die rastermäßige Generierung von Teilflächen orientiert. Zu diesem Zweck wird gegenwärtig ein Verfahren genutzt, bei dem ein virtuelles dreidimensionales Operatorfenster die gegebene Punktwolke rastermäßig erfaßt und Stützpunkte für ein Flächenraster berechnet. Die mit diesem Ansatz erzielten Resultate entsprechen subjektiv mehr den Erwartungen, wobei die Genauigkeit der tatsächlich gemessenen Punktinformation allerdings nur mittelbar in die entstehenden Flächenmodelle einfließt (Abb. 5). Bei weiter verbesserten Ausgangsdaten (Punktwolkendichte, Fehlereliminierung) wird auf die Ergebnisse des ersten Verfahrens zurückzukommen sein.

Darüber hinaus wurden Tools zur Verarbeitung der speziellen Datenformate des Meßplatzes, zur schrittweisen Darstellung der Ergebnisse speziell unter AUTOCAD sowie zur Korrelation verschiedener Datensätze (Punktwolken verschiedener Objektansichten bzw. verschiedener Erfassungsverfahren) geschaffen. Im Hinblick auf mögliche Anwendungsgebiete der 3D-Erfassung wurden weiterhin Programme zur "Entfaltung" erfaßter dreidimensionaler Oberflächen sowie zur Vermessung von Entfernungen auf solchen Oberflächen geschaffen.

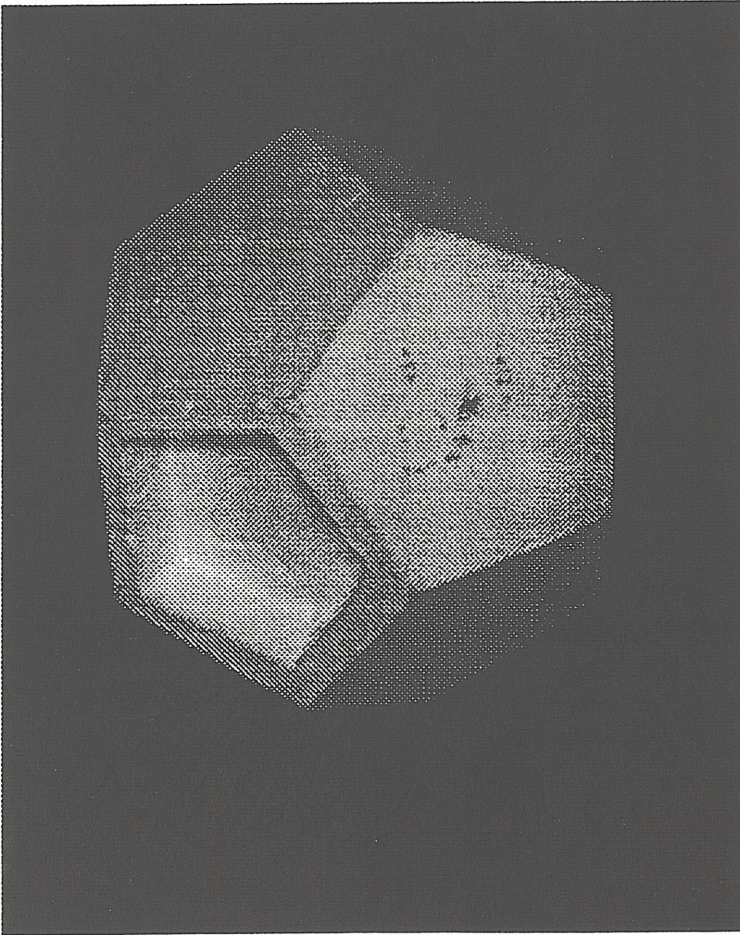


Abb. 1: Grauwertaufnahme eines Probekörpers
(diffuse Beleuchtung)

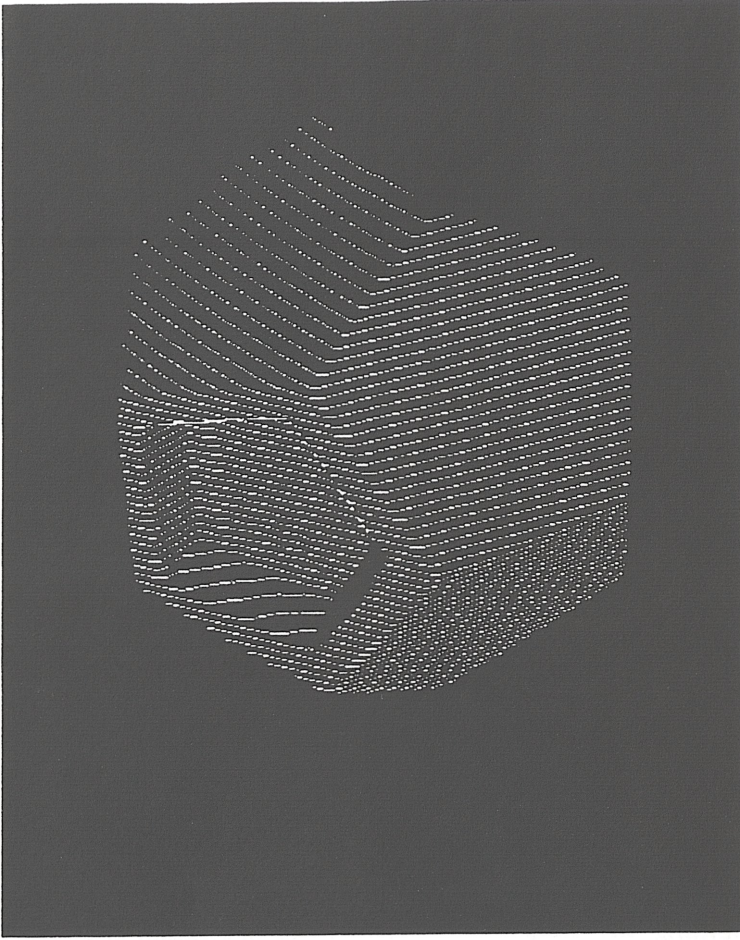


Abb. 2: Resultierende 3D-Punktwolke der gleichen Ansicht (a)
(nach Filterung und Triangulation)

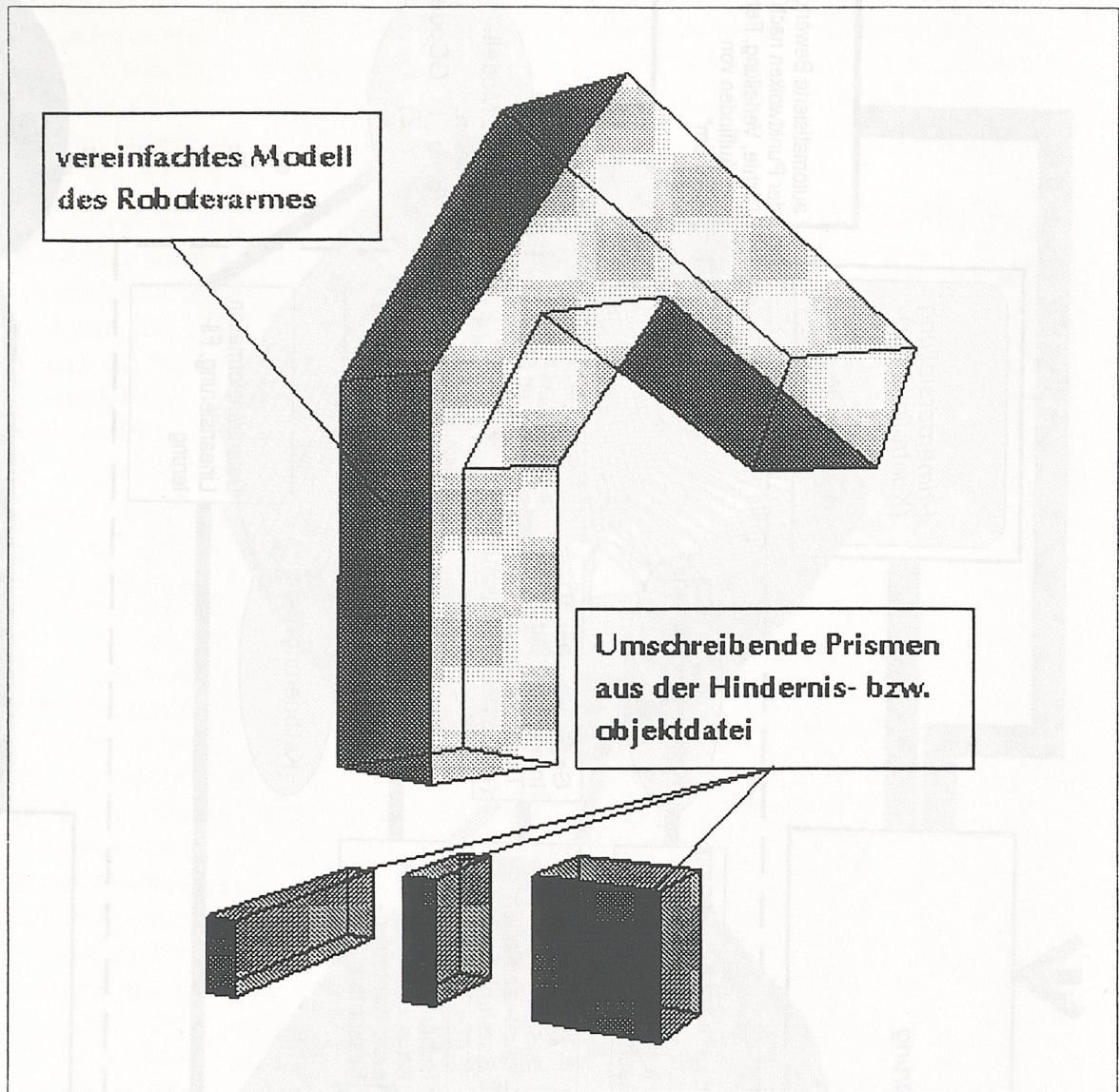


Abb. 3: Graphische Darstellung der Position des Roboterarmes hinsichtlich der eingegebenen Objekte und Hindernisse.

Die gezeigte graphische Darstellung ist auf dem Steuer-PC in Verbindung mit der Bibliothek zur Kollisionsvermeidung verfügbar.
 Die dargestellten Umrisse des Roboterarmes sowie der Objekte / Hindernisse entsprechen den zur Kollisionsverhinderung herangezogenen 3D-Daten.

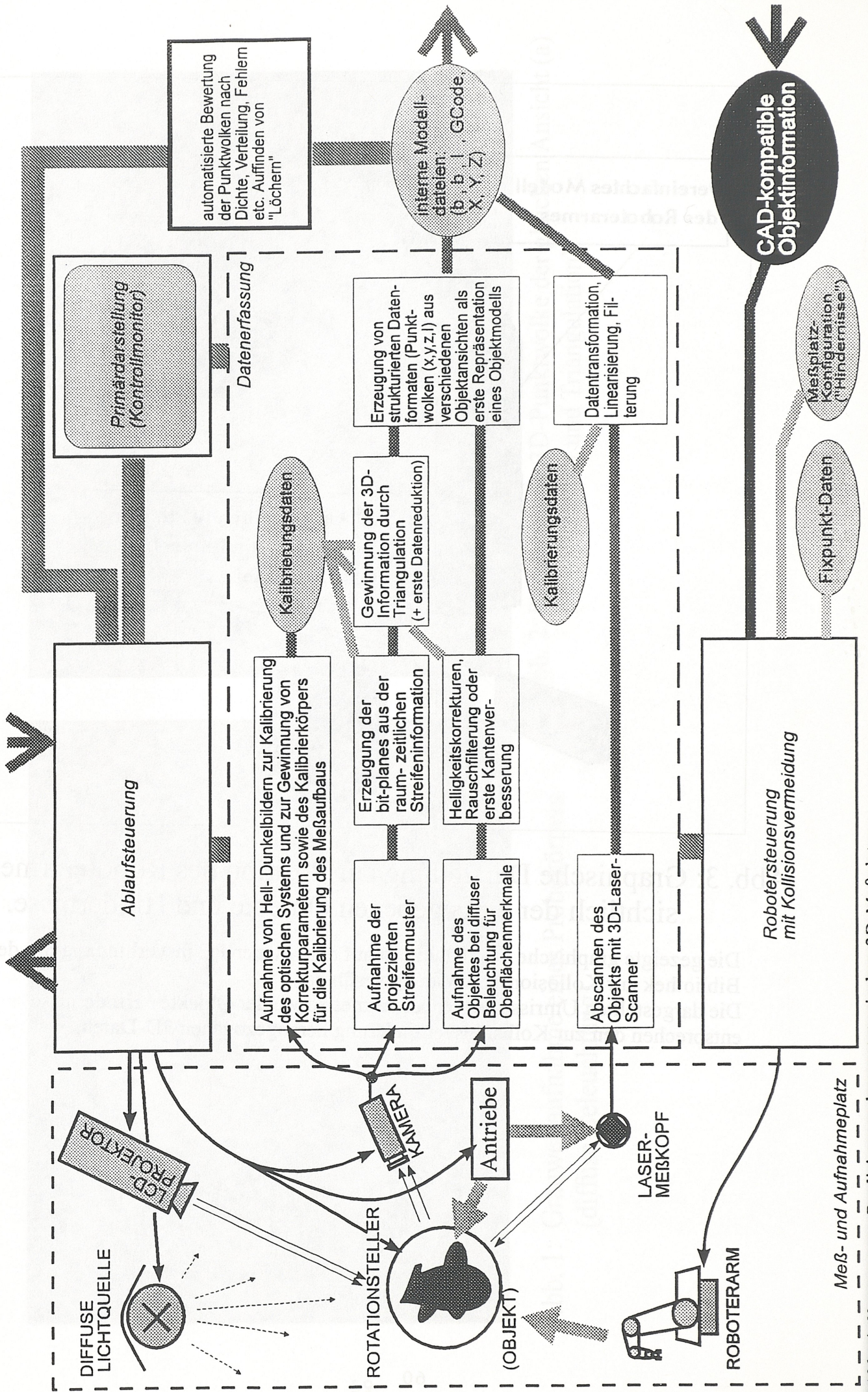
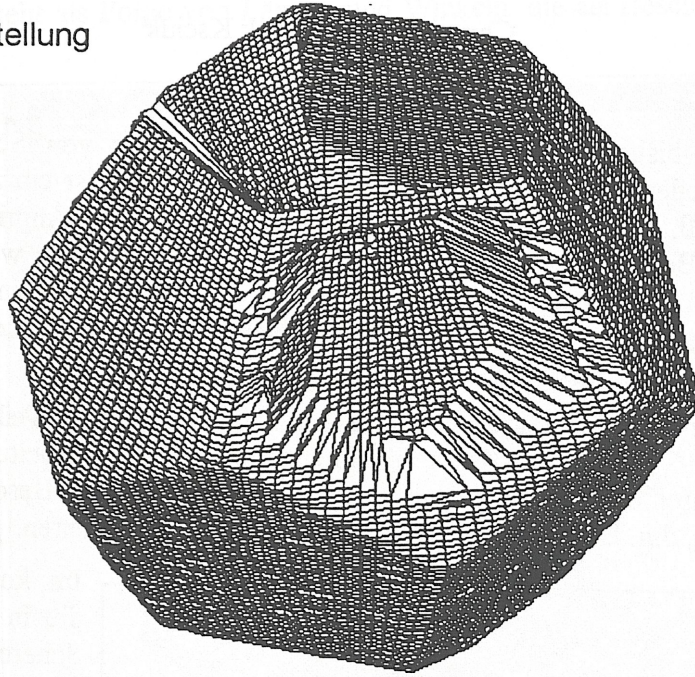


Abb. 4. Konzept zur Realisierung des prototypischen 3D-Meßplatzes

a) Drahtgitter-Darstellung



b) gerenderte Darstellung

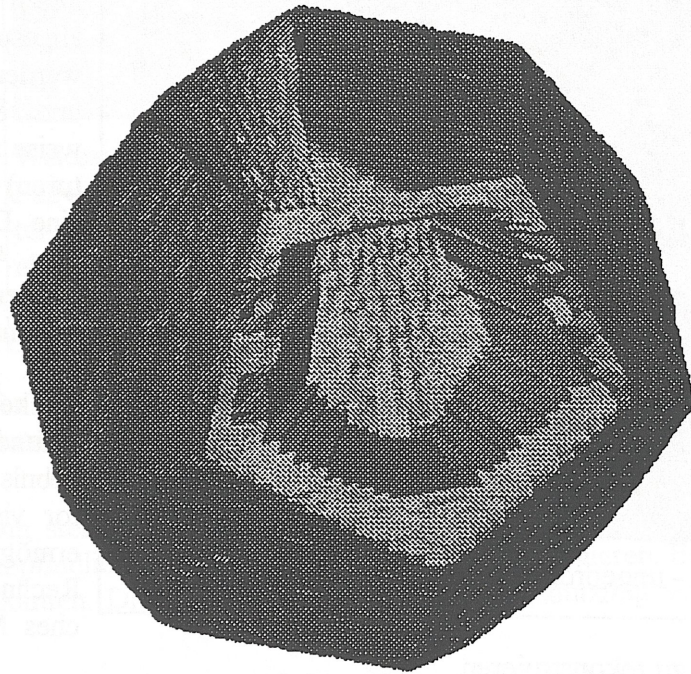


Abb. 5: Aus Punktwolken berechnetes CAD-Flächenmodell des Körpers aus Abb.1, 2