



BTU

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus



Lehrstuhl Computergrafik

Prof. Kurth

SS 2004

Seminar:

**Mustererkennung in
Bildern und 3D-
Daten**

Thema:

**Messsysteme zur
3D-
Rundumvermessung**

von:

Matthias Schubert

3D-Messsysteme zur Rundumvermessung



Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus



Lehrstuhl Computergrafik

Prof. Kurth

SS 2004

Seminar:

**Mustererkennung in
Bildern und 3D-
Daten**

Thema:

**Messsysteme zur
3D-
Rundumvermessung**

von:

Matthias Schubert

02

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

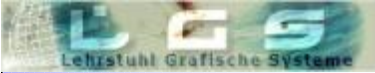


1 Motivation

- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

1 Motivation

Wozu benötigen wir 3D-Vermessungen?



1 Motivation

- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

▶ Industrielle Produktentstehung

- ▶ Digitalisierung von Modellen
- ▶ Fertigungskontrolle
- ▶ Inspektion fertiger (Teil-) Erzeugnisse

▶ Medizin

- ▶ Zahntechnik
- ▶ Skelettvermessung
- ▶ Bewegungsvermessung

▶ Kartographie & Geographie

- ▶ Landvermessung
- ▶ Grundstücksvermessung

▶ Archäologie

- ▶ Fundstückvermessung



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung**
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

2 Arten der 3D-Vermessung

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung**
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

▶ **Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor**

Problem:

- ▶ hohe Genauigkeit der Bewegungssysteme
- ▶ exaktes Einmessen des Systems

▶ **Zusammensetzung von Teilbildern**

Problem:

- ▶ nicht für jedes Objekt nutzbar
- ▶ hoher mathematischer Aufwand beim Zusammenfügen

▶ **Photogrammetrie**

Problem:

- ▶ Objektinteraktion durch Anbringung von Marken
- ▶ Verwendung von Navigationskulissen zur Vorkalibrierung und Bildmontage

▶ **Phasogrammetrie**

- ▶ selbstkalibrierende Messsysteme

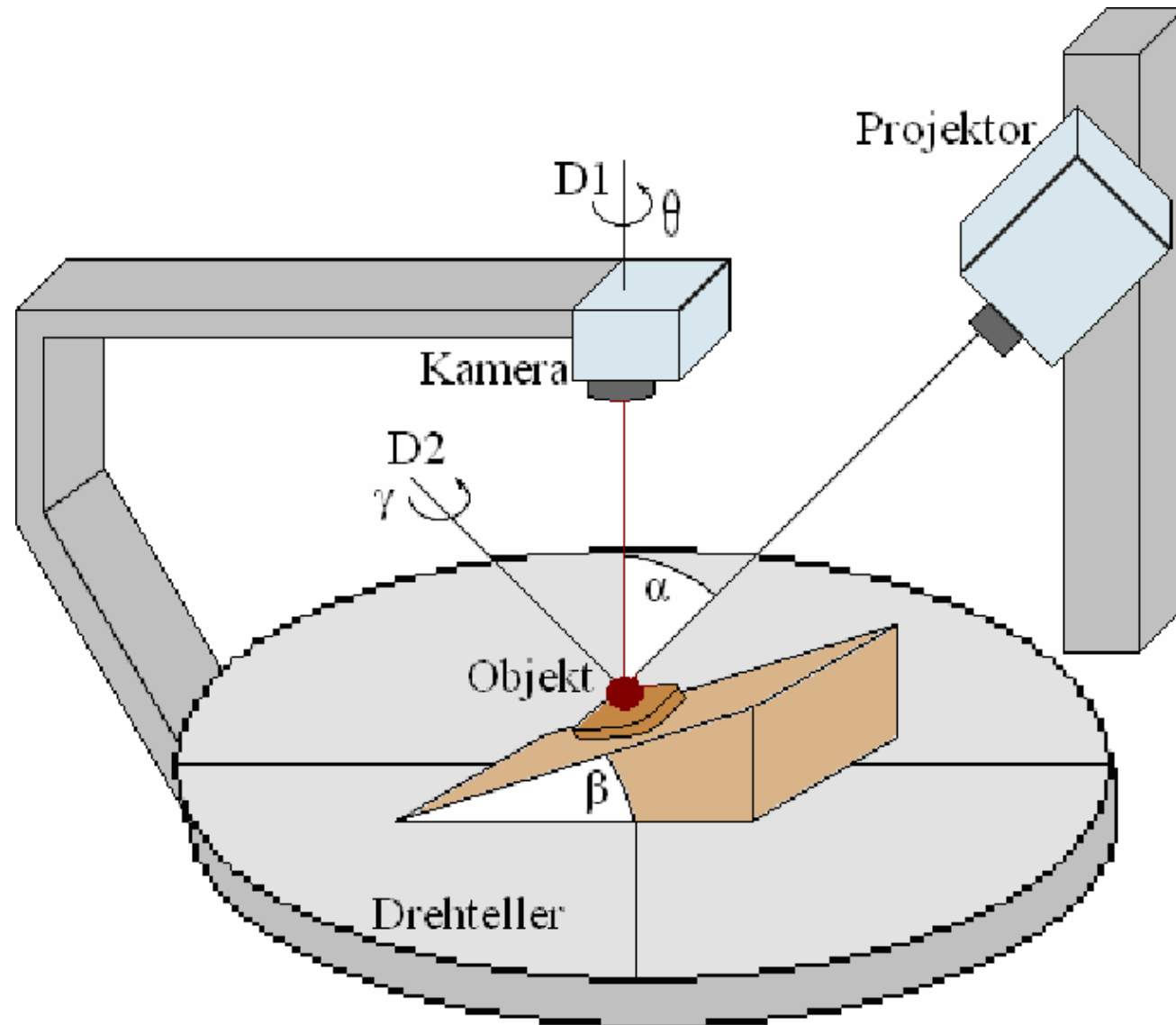


- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor**
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor**
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur





► Funktionsweise

- Objekt drehbar um D1 auf dem Drehtisch
- Kamera fest mit dem Drehtisch verbunden
- Projektor projiziert Gitterlinien auf das Objekt
- durch Rotation um D2 wird das Objekt in verschiedene Ansichtspositionen bezüglich der Kamera gebracht
- jeder Punkt wird aus mindestens 3 Richtungen beleuchtet
- Projektionsrichtungen softwaretechnisch begrenzt

► Erweiterung:

- x-y-Verschiebeeinheit anstelle der Drehachse D2
- größerer Messbereich (mehr als verdoppelt)

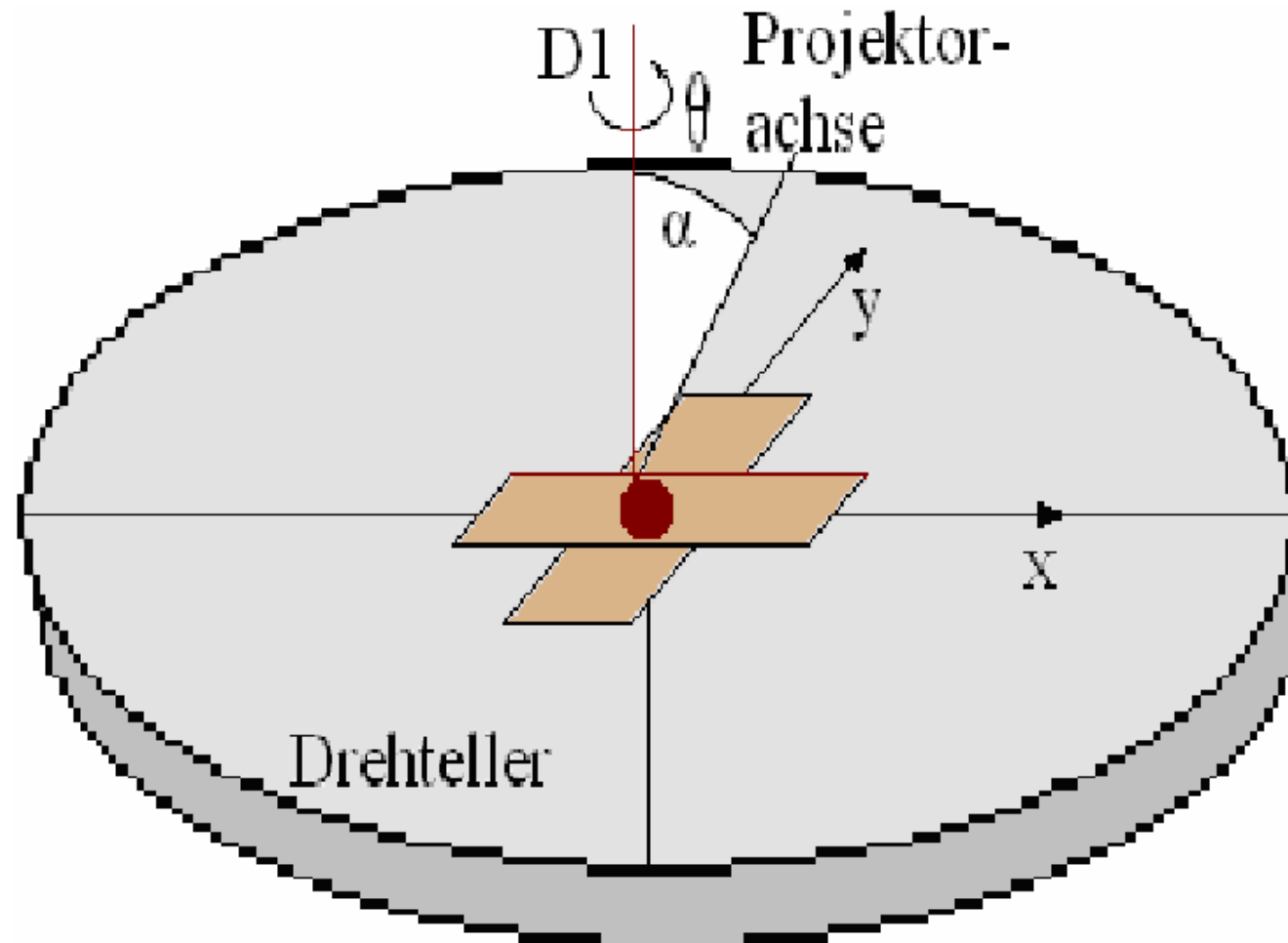
► Vorteile:

- komplexe Produkte vermessbar
- Objekte können Glanzlichter, Abschattungen enthalten

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor**
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor**
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur





BTU

LGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor**
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur



HS-DIG-Volume



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie**
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

4 Photogrammetrie

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie**
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

4.1 Offline-Photogrammetrie

► Funktionsweise

- Aufnahme eines Teilbilds des Objekts
- Identifizierung und Erfassung der Paßmarken in dem Teilbild
- Zusammenfügen der Teilbilder mittels Bestimmung homologer Bildpunkte
- Überführung der Bilder in ein übergeordnetes Koordinatensystem mittels der Paßmarken

► Bündelausgleichung liefert

- Orientierungsdaten (äußere (z.B.: Position, Orientierung, Drehwinkel), innere (Brennweite, Auflösung, Linsenverzerrung))
- Kalibrierung der Kamera

► Ergebnisausgabe und deren Weiterbearbeitung mit SW-Tools

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie**
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

4.2 Online-Photogrammetrie

► Funktionsweise

- Vorkalibrierung der Kameras mittels geeignetem Testfelds
- Orientierung der Kameras und Erzeugen eines lokalen
Gerätekoordinatensystems
- Objektmessung
- Nachorientierung der Kameras (um Abweichungen zu
erkennen)

► Ergebnisausgabe und deren Weiterbearbeitung mit SW-Tools

5 Phasogrammetrie

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
 - 5 Phasogrammetrie**
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- ▶ **Basis ist spezielle Streifenprojektionstechnik**
- ▶ **Generierung von 3D-Bilder mittels Phasenwerten**

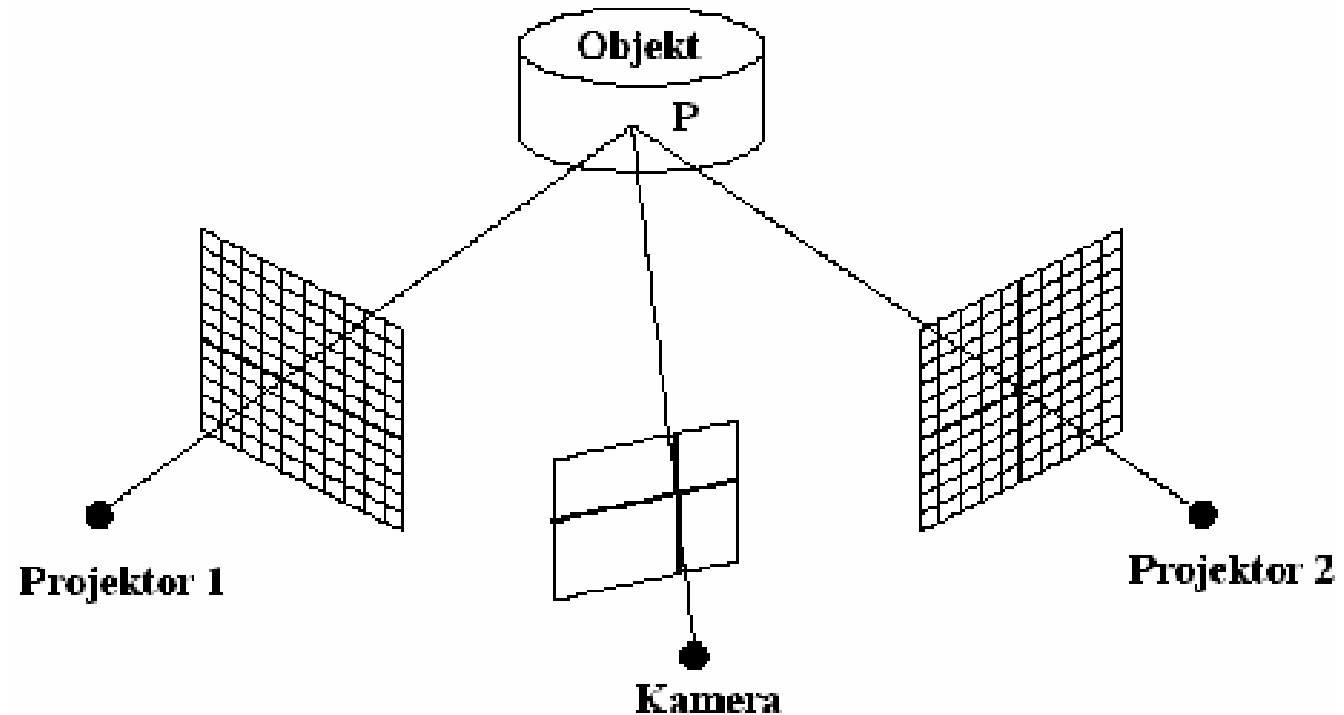
- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie**
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie

- ▶ Verbindung der Photogrammetrie mit aktiver Musterprojektion
- ▶ von mindestens 2 Positionen werden Mustersequenzen (z.B. Gitterlinien) auf das Objekt projiziert
- ▶ die Projektoren sind um 90° verdreht
- ▶ Kamera bleibt ortsfest



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie**
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur





- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D- Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline- Photogrammetrie
 - 4.2 Online- Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie**
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

► Funktionsweise:

- jeder Objektpunkt P wird durch 4 „Phasenwerte“ beschrieben ($\delta x(1), \delta y(1), \delta x(2), \delta y(2)$)
- es ergeben sich Strahlenbündel
- damit lassen sich mittels Kollinearitätsgleichungen die Koordinaten errechnen
- x', y' durch die Phasenwerte ersetzen
- Hauptpunkt der Kamera durch die Hauptpunkte der Projektoren ersetzen
- Längeneinheit überführen (Phasenwerte * $\lambda/2\pi$ mit λ ist Gitterkonstante der Projektoren)

► Kollinearitätsgleichung:

$$\delta_x^{(i)} = \delta_{x_0}^{(i)} - (c^{(i)} * \frac{2\pi}{\lambda}) * \frac{r_{11i}(x - x_0^{(i)}) + r_{21i}(y - y_0^{(i)}) + r_{31i}(z - z_0^{(i)})}{r_{13i}(x - x_0^{(i)}) + r_{23i}(y - y_0^{(i)}) + r_{33i}(z - z_0^{(i)})} + d\delta_x^{(i)}$$

$$\delta_y^{(i)} = \delta_{y_0}^{(i)} - (c^{(i)} * \frac{2\pi}{\lambda}) * \frac{r_{11i}(x - x_0^{(i)}) + r_{21i}(y - y_0^{(i)}) + r_{31i}(z - z_0^{(i)})}{r_{13i}(x - x_0^{(i)}) + r_{23i}(y - y_0^{(i)}) + r_{33i}(z - z_0^{(i)})} + d\delta_y^{(i)}$$

($d\delta_{x,y(i)}$... Verzeichniskorrekturterm, i ... Index des Projektors, c ... Gitterkonstante)

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie**
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

5.2 Vorteile der Phaso- grammetrie

- ▶ **Objekt nur durch Werte der Projektoren beschrieben, von der Kamera unabhängig**
 - ▶ Phasenwert basierte Photogrammetrie
- ▶ **unempfindlich gegenüber Instabilitäten im Messsystem, wie z.B. Vibrationen**
 - ▶ durch Bündeltriangulation, Simultankalibrierung
 - ▶ direkte Einbindung in den Fertigungsprozess möglich
- ▶ **selbstkalibrierend**
- ▶ **relative Messgenauigkeiten von bis zu 1 : 100 000**
- ▶ **Vermessung komplexer Objekte möglich**
- ▶ **keine Passmarken, Matchingprozeduren**
- ▶ **keine hochgenauen Führungssysteme notwendig**



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phaso-
grammetrische
Systeme**
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme



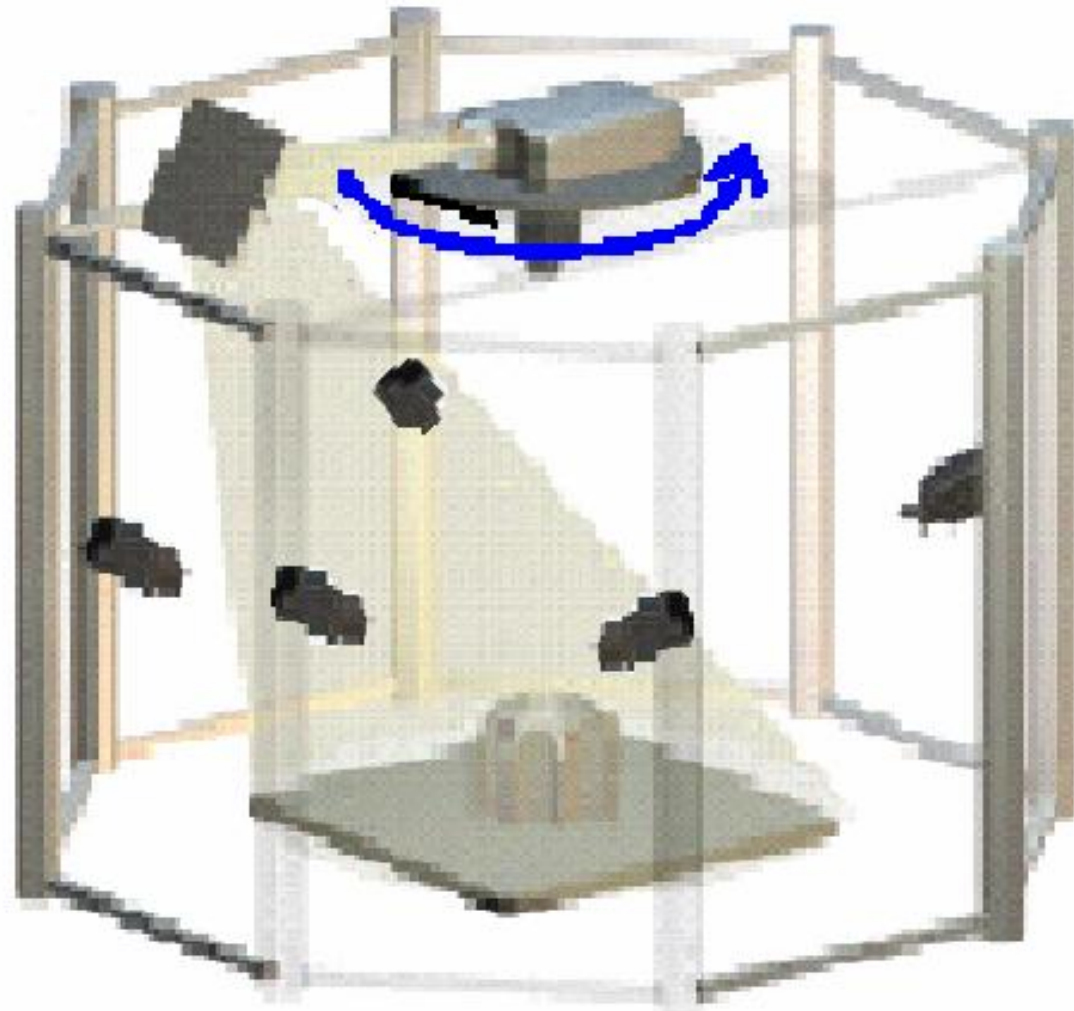
BTU

LG
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

21

5.3.1 Kolibri





► Funktionsweise

- mehrere Kameras (stationär) an verschiedenen Positionen
- ein Projektor an einem Drehtisch
- Muster werden über Spiegel auf das Objekt projiziert
- alle Kameras nehmen die Bilder simultan auf
- jeder Messpunkt wird aus min. 2 Richtungen aufgenommen

► Problem:

- Objektansichten beschränkt

► Lösung:

- Kamerazahl erhöhen oder flexible Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

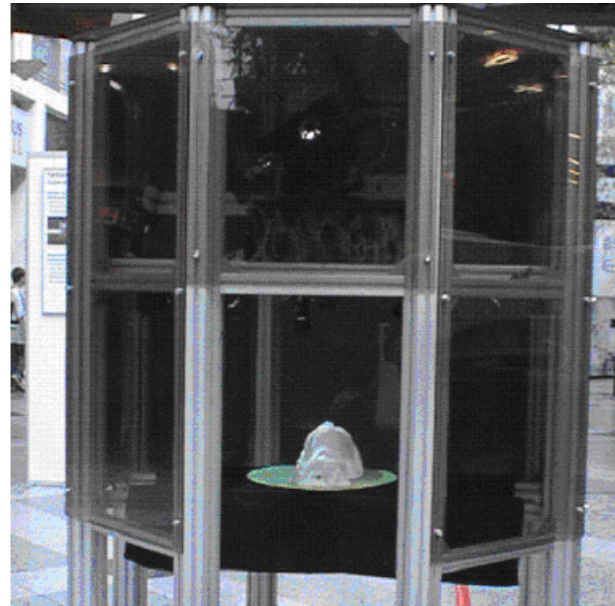


BTU

LGGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

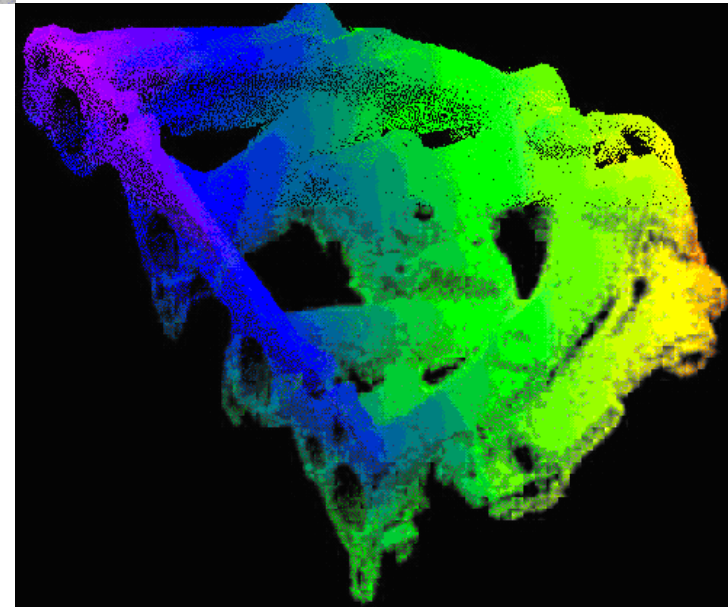
- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

23



Prototyp des 3-D-
Messsystems "kolibri"

3-D-Bild eines Ansaugstutzens





BTU

LG
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

24

5.4 Flexible Phaso- grammetrische Systeme

- ▶ **Selbstkalibrierung mittels um 90° verdrehter Mustersequenzen**
- ▶ **simultaner Bildeinzug der Mess- und Kalibrierkamera**
- ▶ **Änderung der Position des Sensorkopfes**
- ▶ **beliebig häufige Ausführung obiger drei Punkte**
- ▶ **Anzahl der Teilbilder bestimmt durch Zahl der Positions-
änderungen multipliziert mit der Zahl der Kalibrierkameras**
- ▶ **Phasenberechnung für die Ansichten der Kameras**

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme**
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

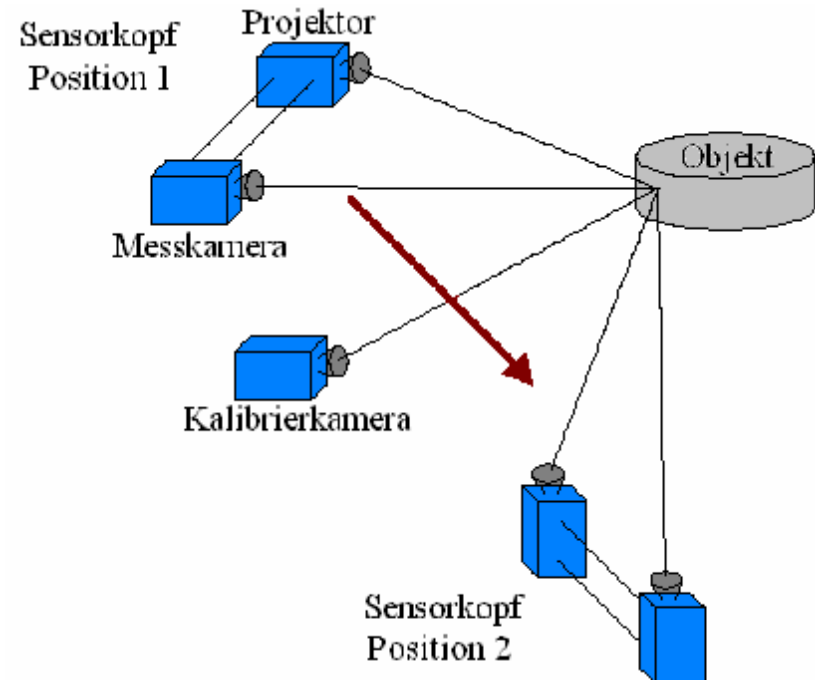
► **Problem:**

- Koordinaten der Mess- und Kalibrierkamera müssen in einem einheitlichen Koordinatensystem stehen

► **Lösung:**

- Kalibrierung des Projektors
- Kalibrierung der Messkamera
- 3D-Koordinatenberechnung

Anordnung entspricht dem Stativmesssystem (mobiles System)





► Vorteile:

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- Kameras nicht ortsfest gebunden
- nicht unbedingt 4 Phasenwerte nötig
- Objektansichten unbegrenzt
- Vermessung komplexer Objekte möglich
- kein Matching, keine Passmarken, keine Anforderungen an das Objekt für die Bildmontage nötig, sondern virtuelle Marken durch die Kalibrierkameras
- keine genauen Führungsmittel notwendig
- Kalibrierung während der Messwertaufnahme



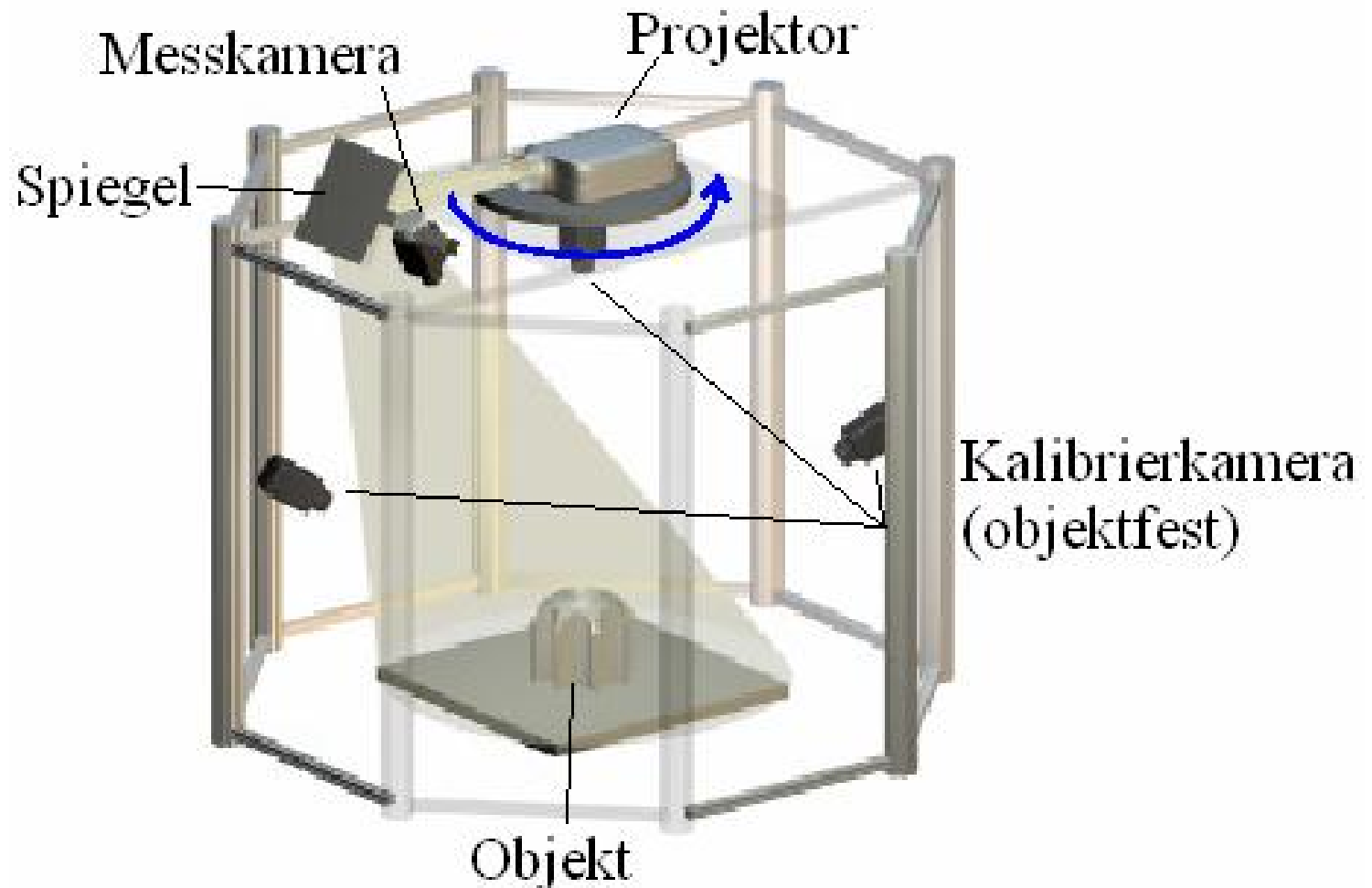
BTU

LG
Lehrstuhl Grafische Systeme

5.4.1 Kolibri II

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

27





► Funktionsweise

- freier Sensorkopf (Messkamera und Projektor) auf einem Drehfeld
- 3 Kalibrierkameras (stationär) erfassen wesentliche Teile des Messfeldes
- Objekt ist ortsfest

► Problem:

- Projektion von schräg oben
- dadurch nur Vermessung von Objekten im Halbraum

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme**
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur



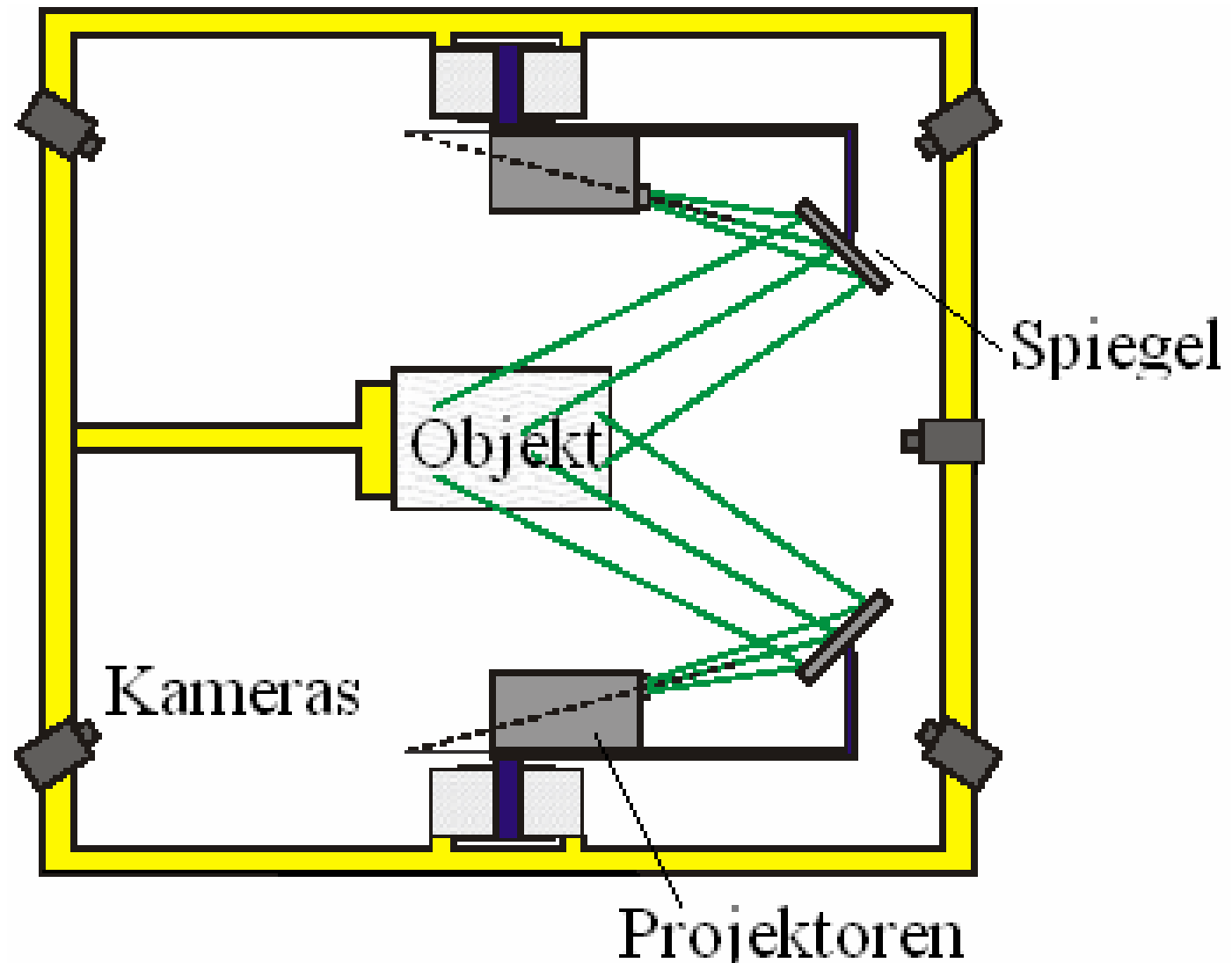
BTU

LGGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

29

5.4.2 Kolibri Duo





BTU

► Funktionsweise

- 2 unabhängige Sensorköpfe zur Ausleuchtung von oben und unten
- rundum angeordnete Kalibrierkameras

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

30



Vermessung eines Gehäusedeckels



Außenseite



Innenseite



BTU

LGGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

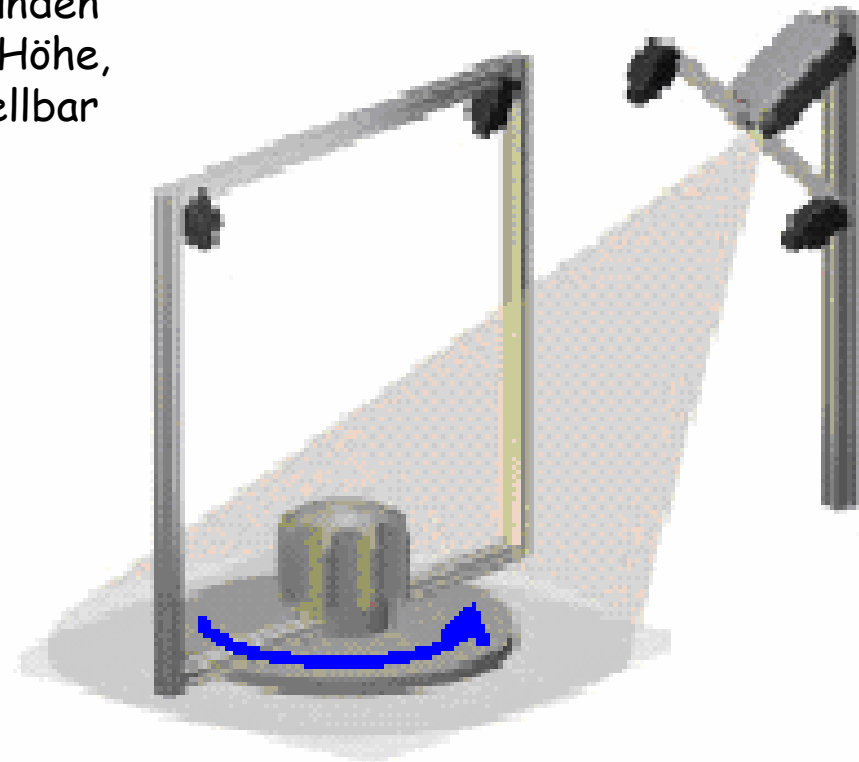
- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

31

5.4.3 Kolibri Flex

► Funktionsweise

- mobiles Messsystem
- Objekt auf mobilem Drehtisch, fest mit Kalibrier-
kameras verbunden
- Sensorkopf in Höhe,
Kippung verstellbar





BTU

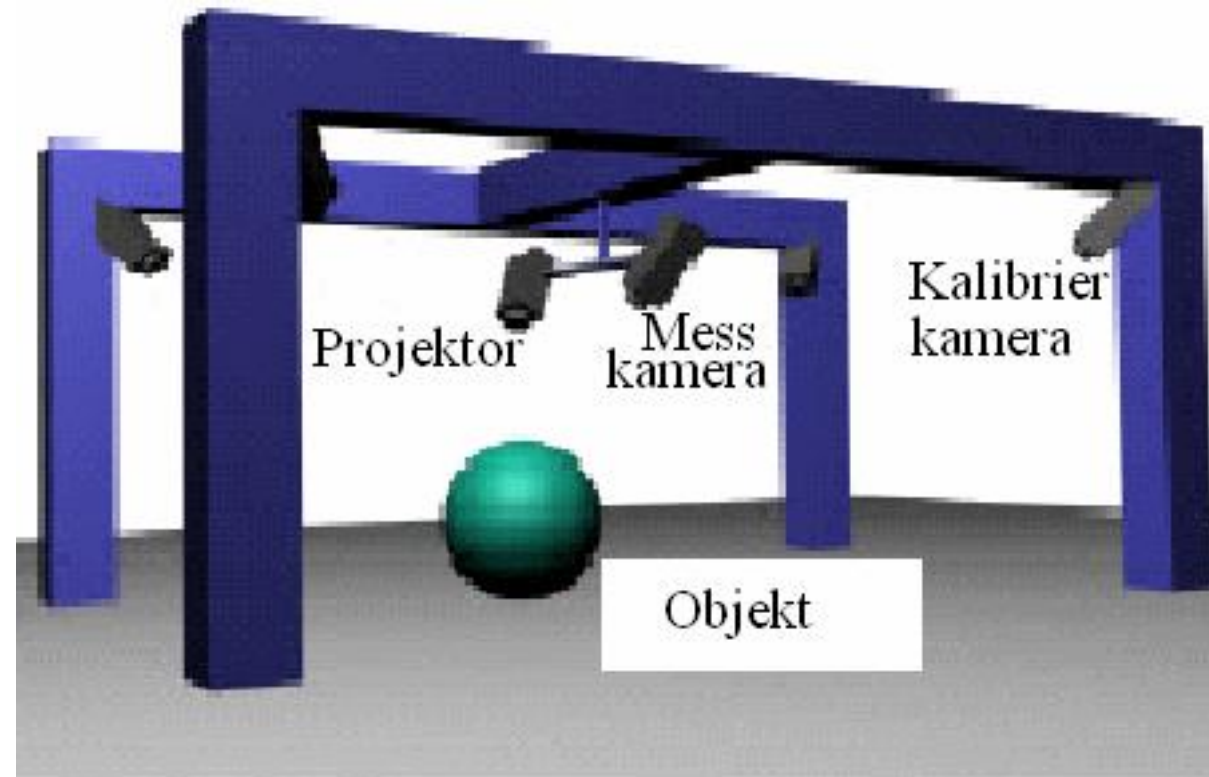
Lehrstuhl Grafische Systeme

5.4.4 Kolibri Portal

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

32

- ▶ für großflächige Objekte
- ▶ Objekte im Halbraum



5.4.5 G-Scan

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- ▶ zur Echtzeit-Vermessung
- ▶ mobiles Messsystem
- ▶ Funktionsweise
 - ▶ ein stationärer Projektor
 - ▶ Vermeidung zeitaufwendiger Projektorbewegungen
 - ▶ je ein Drehspiegel und ein um die Projektionsrichtung drehbarer Messkopf (5 stationäre Umlenkspiegel, 4 Kameras)
 - ▶ Messkopf kippbar für horizontale bis vertikale Messungen
- ▶ G-Scan für Kiefer und Gesichtschirurgie (siehe 8.3.)

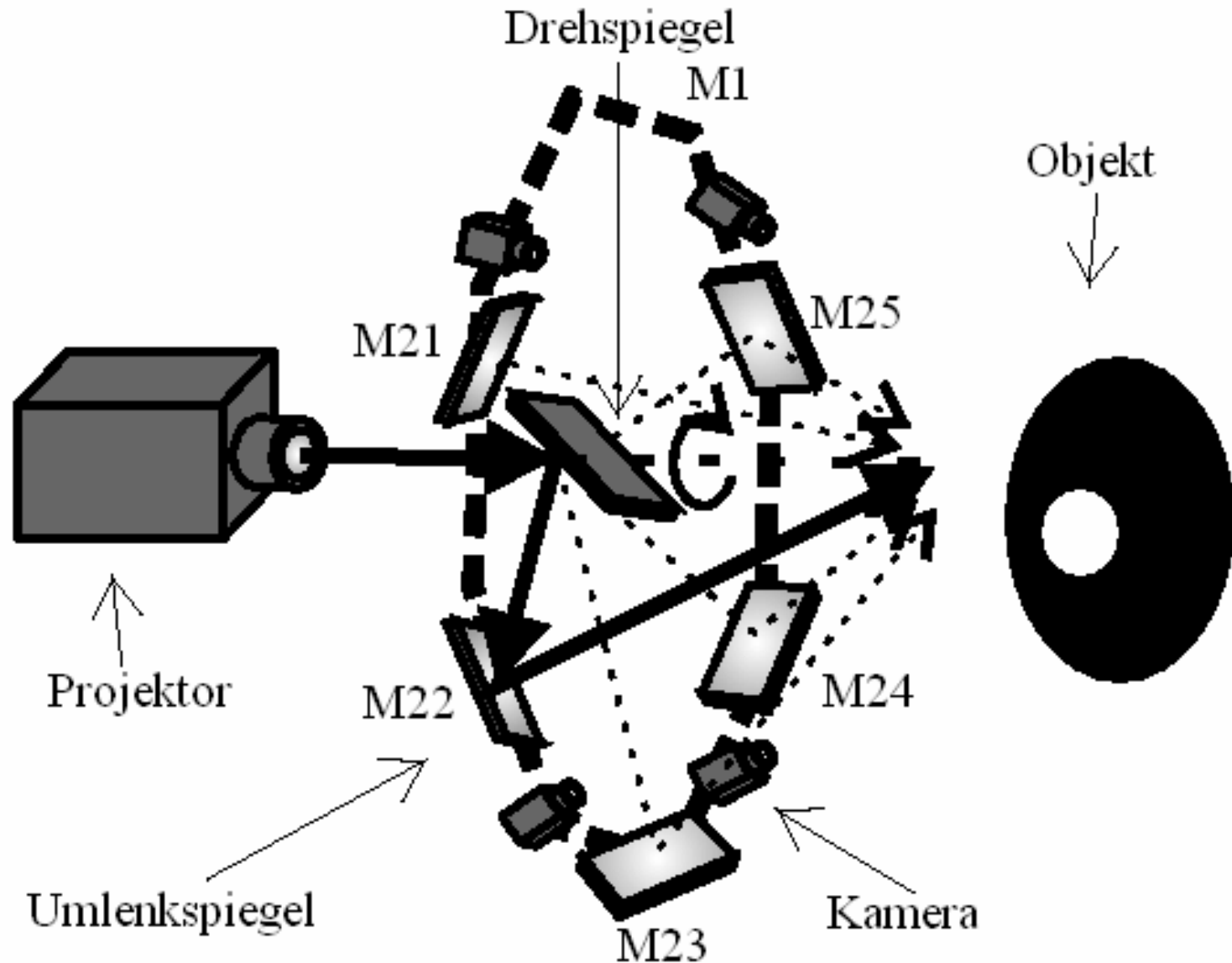


BTU

LGGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt
und Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phaso-
grammetrische
Systeme**
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

34





- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Software-
tools**
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

6 Datenauswertung mittels Softwaretools



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Software-
tools**
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- ▶ Messsysteme liefern nur 3D-Punktwolken im ASCII-Format
- ▶ mittels Programmpaketen (z.B.: GUGS, METRIS):
 - ▶ 3D-Punktwolken manipulieren
 - ▶ 2D-/ 3D-Kurvenschnitte extrahieren
 - ▶ 3D-CAD-Vergleich durchführen
 - ▶ Geometriemodelle oder Flächen generieren
 - ▶ Ausgabeformate: STL, VRML, IGES, VDAFS
- ▶ durch überschüssige Phasenwerte (mehr als zur Koordinatenberechnung notwendig) steigt die Messqualität
- ▶ Flächenrückführung mittels Triangulation (Punkte in Nachbarschaftsbeziehungen bringen und als Dreiecksflächen speichern)

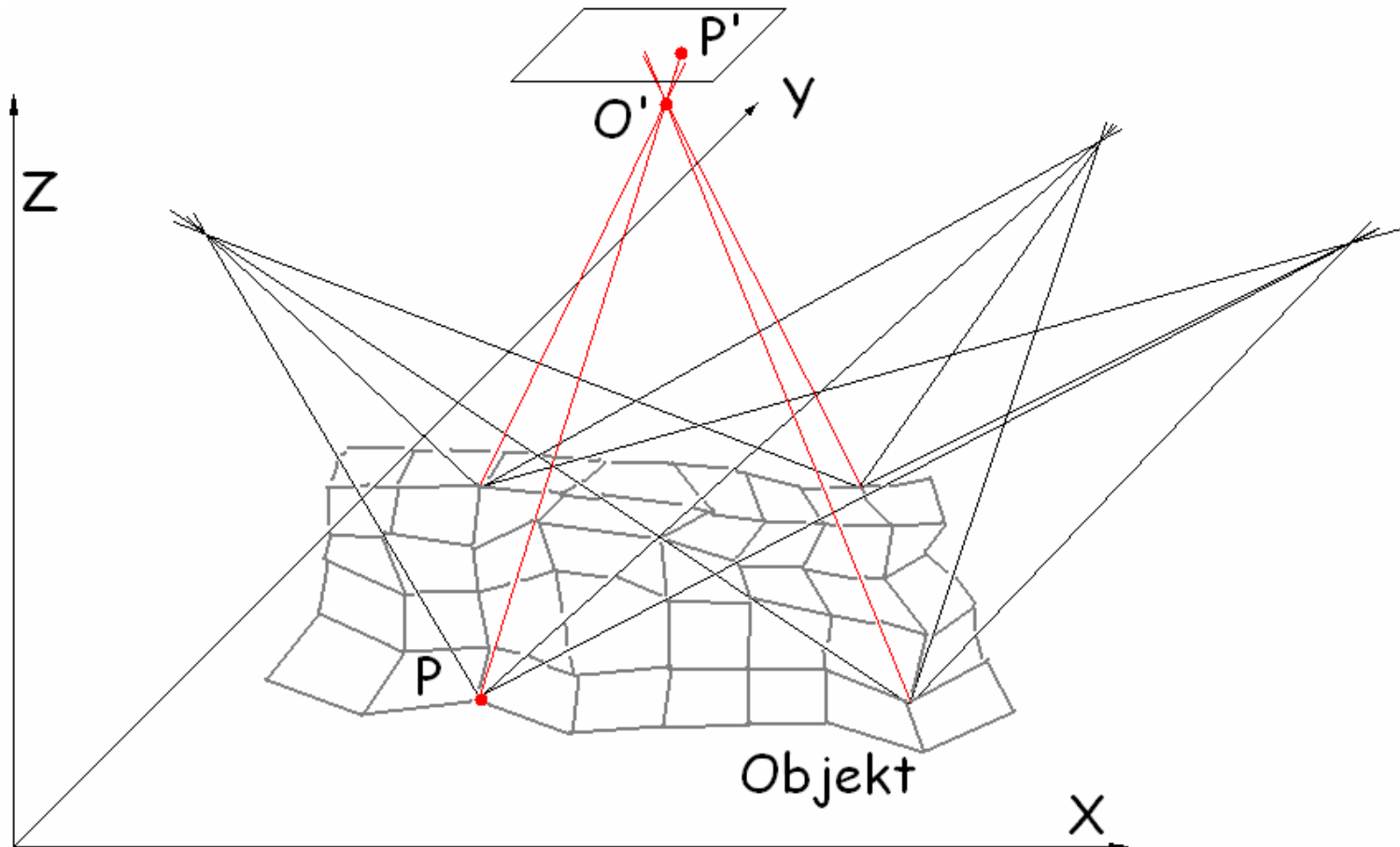


- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

7 Bündelausgleichung



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur



Mehrbildtriangulation



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- ▶ **genauestes Verfahren der Bildorientierung/ Punktbestimmung der Photogrammetrie**
- ▶ **einzelne Bilder mittels identischer Punkte zu Gesamtmodell verbinden**
 - ▶ 3D-Konstruktion
- ▶ **Bezug zu übergeordneten Objektpunkten mittels Passpunkten**
 - ▶ passbildlose Räume durch Mehrbildverbände überbrückt
 - ▶ Bedingung: alle homologen Bildpunkte entsprechen ihrem Objektpunkt
- ▶ **Probleme:**
 - ▶ Lösung großer Normalgleichungssysteme
 - ▶ Beschaffung von Näherungswerten der Unbekannten
 - ▶ Aufdeckung und Elimination grober Datenfehler
- ▶ **Spaltung der Bündeltriangulation in:**
 - ▶ Luftbildauswertung (Aerotriangulation)
 - ▶ Nahbildauswertung



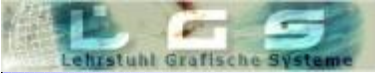
- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

▶ Luftbildauswertung

- ▶ regelmäßig angeordnete, streifenförmige Bildverbände
- ▶ einfachere Struktur der Normalgleichungssysteme
- ▶ leichtere Beschaffung von Näherungswerten
- ▶ große Zahl von Objektpunkten und Bildern
- ▶ nur eine Kalibrierkamera
- ▶ Systeme: Pat-B (Pat-M), BLUH

▶ Nahbildauswertung

- ▶ unregelmäßige Aufnahmekonfiguration
- ▶ komplexe Normalgleichungssysteme
- ▶ aufwendige Beschaffung der Näherungswerte
- ▶ mehrere simultan kalibrierende Kameras
- ▶ Systeme: BINGO, MOR



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

▶ Eingabedaten

- ▶ photogrammetrische Bildkoordinaten aus Messsystem
- ▶ Objektrauminformationen (z.B. gemessene Punkte, Ebenen, u.ä.)
 - ▶ Festlegung des Maßstabs, des Objektkoordinatensystems
- ▶ Näherungswerte
 - ▶ aus Planungsdaten, Aufnahmeskizze (einfache Situationen)
 - ▶ Iterative Berechnungsverfahren (komplexe Situationen)

▶ Ausgabedaten

- ▶ Ausgeglichenen 3D-Koordinaten der Objektpunkte
- ▶ Parameter der äußeren Orientierung aller Bilder
- ▶ Parameter der inneren Orientierung bei Kamerakalibrierung ermittelt

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D- Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline- Photogrammetrie
 - 4.2 Online- Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

► Normalgleichungen

- iterative Bestimmung von Unbekannten als Funktion von homologen Bildkoordinaten
- dreidimensionale Objektkoordinaten für jeden Neupunkt (u_p , 3 Unbekannte)
- äußere Orientierung jedes beteiligten Bildes (u_b , je 6 Unbekannte)
- innere Orientierung jeder beteiligten Kamera (u_k , 0 oder ≥ 3 Unbekannte)
- Datumsfestlegung (u_{Datum} , bis 7 Unbekannte)

► $u = u_b \cdot n_{\text{Bilder}} + u_p \cdot n_{\text{Punkte}} + u_k \cdot n_{\text{Kameras}} (+u_{\text{Datum}})$
 (mit $u_b=6$, $u_p=3$, $u_k=0, \geq 3$)

Bsp: Luftbildverband

		u	uGesamt
nBilder	8	6	48
nPunkte	14	3	42
nPasspunkte	6	0	0
nKameras	1	0	0
uDatum	0		0
uGesamt			90
nBeob			110
$r = n - u$			20

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

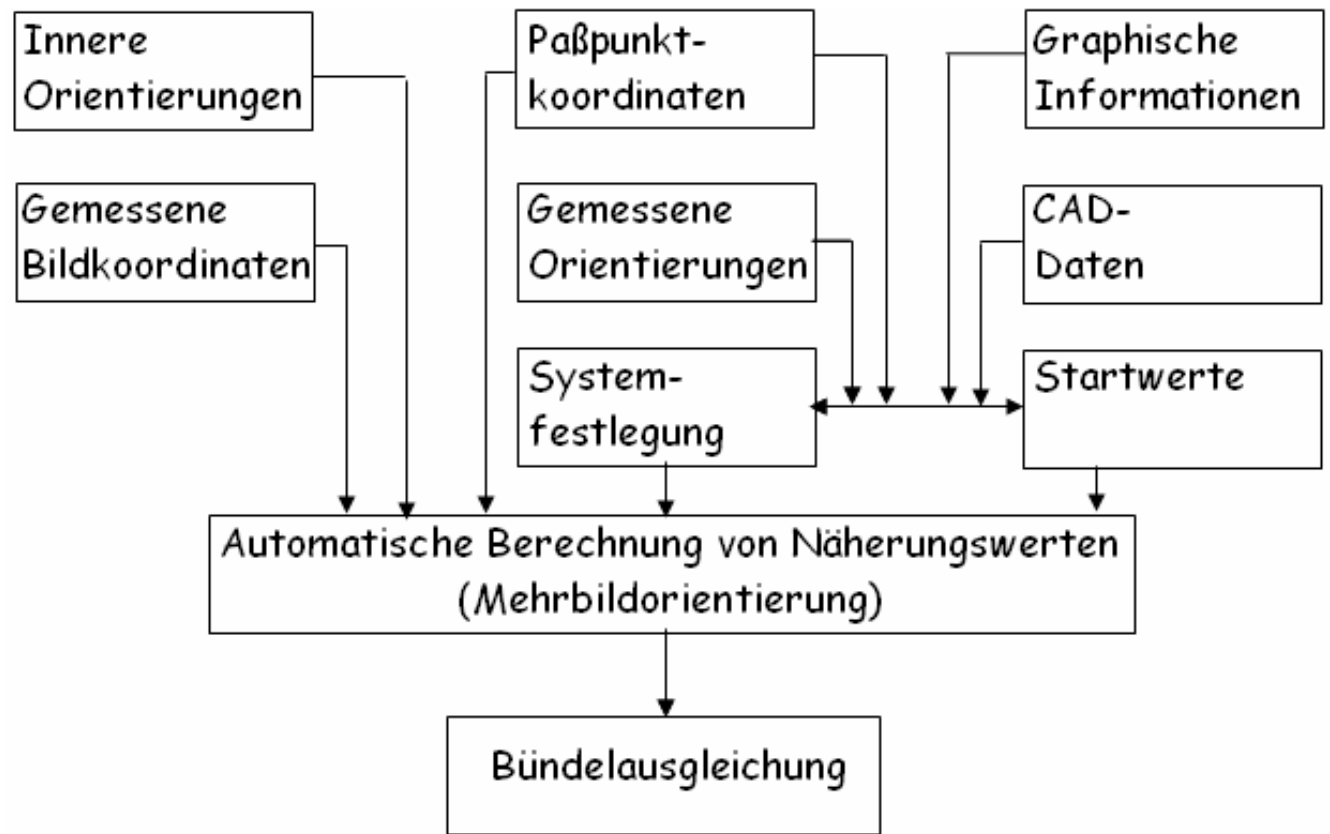
► Datumsdefekt

- Problem:
 - Lage/ Orientierung des Netzes nicht im Raum
bestimmbar
- Lösung:
 - Behebung des Datumsdefekts durch:
 - 3 Translationen
 - 3 Rotationen
 - 1 Maßstabsfaktor

► Passpunkte

- zur Festlegung eines übergeordneten Objektkoordinaten-
systems mittels
 - Harter Lagerung
 - hohe Genauigkeit der Passpunkte
erforderlich
 - Passpunkte als Referenzpunkte
 - Weicher Lagerung
 - beobachtete Größen als Passpunkte
 - mit Qualitätsmaß versehen (Spannungen
durch Variation der Qualität abfangen)

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur



Beschaffung von Näherungswerten

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

- ▶ **Automatische NW-Berechnung**
 - ▶ Kombiniertes Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden
 - ▶ Sukzessive Modellbildung
 - ▶ Transformation unabhängiger Modelle
- ▶ **NW-Bestimmung durch automatische Punktmessung**
 - ▶ Identifizierung und Messung von Zielmarken
- ▶ **Verwendung grafischer Informationen**
 - ▶ Handskizze, Aufnahmeplan, CAD-Daten
- ▶ **Messung von Näherungswerten**
 - ▶ NW von Objektpunkten, Aufnahmestandpunkten,
-richtungen vor Ort bestimmen

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation**
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

► Abschließend

- Qualität und Ergebnis der Bündelausgleichung prüfen auf
- Genauigkeit der Bild- und Objektkoordinaten,
der Simultankalibrierung
- Vergleich verschiedener der Bündelausgleichsstra-
tegien
- Datenfehler (z.B.: Ausreißer) eliminieren



- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbe-
ispiele**
- 8.1 Archäologie
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

8 Anwendungsbeispiele



BTU

LG
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
- 4.1 Offline-
Photogrammetrie
- 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
- 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
- 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
- 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
- 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
- 8.1 Archäologie**
- 8.2 Industrie
- 8.3 Medizin
- 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

50

8.1 Archäologie

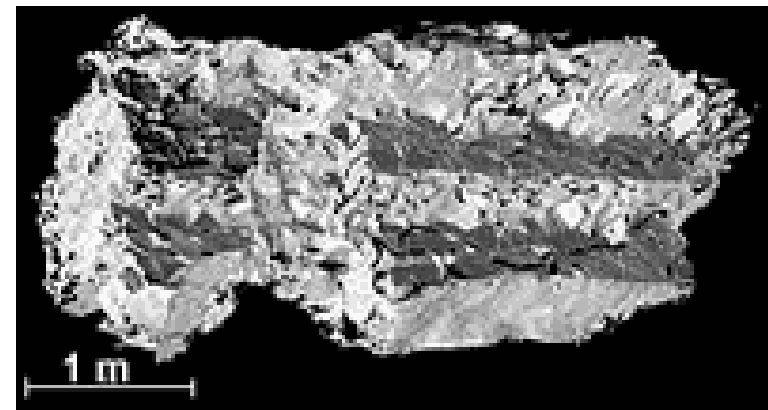
► Bisher:

- Fotografie
- zeichnerische Darstellung



► Jetzt möglich:

- 3D-Vermessung von Grabungsflächen
- 3D-Aufnahmen von Fundobjekten zu Dokumentations-
und Vergleichszwecken





BTU

Lehrstuhl Grafische Systeme

8.2 Industrie

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie**
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

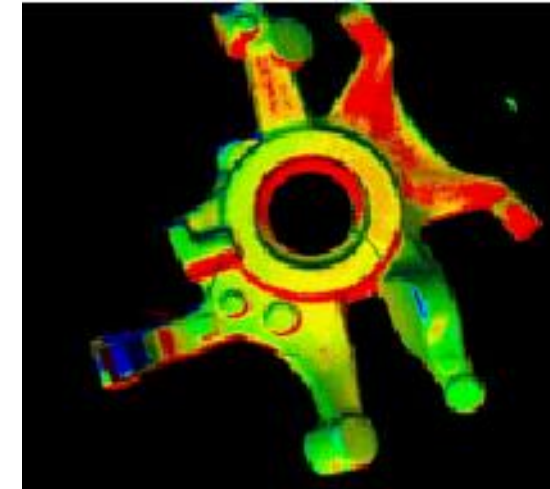
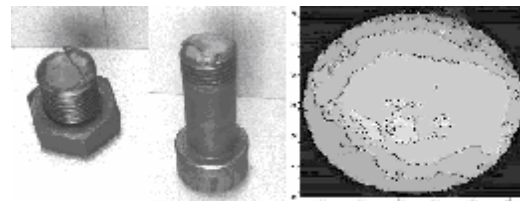
► Soll-Ist-Vergleich

- Gussteil - CAD
(Farbe zeigt Abweichung)

► Design- und Modellentwicklung

► Reverse Engineering

► Konstruktionsüberprüfung



Posaunenengel vom Bamberger Dom



Original rekonstruiertes
Dreiecksnetz Kunststoff-Kopie



BTU

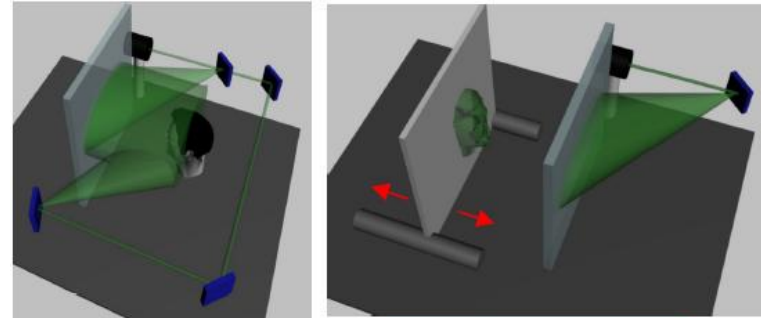
LGGS
Lehrstuhl Grafische Systeme

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-Vermessung
- 3 Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-Photogrammetrie
 - 4.2 Online-Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogrammetrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogrammetrische Systeme
- 6 Datenauswertung mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin**
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur

52

8.3 Medizin

► Plastische Chirurgie



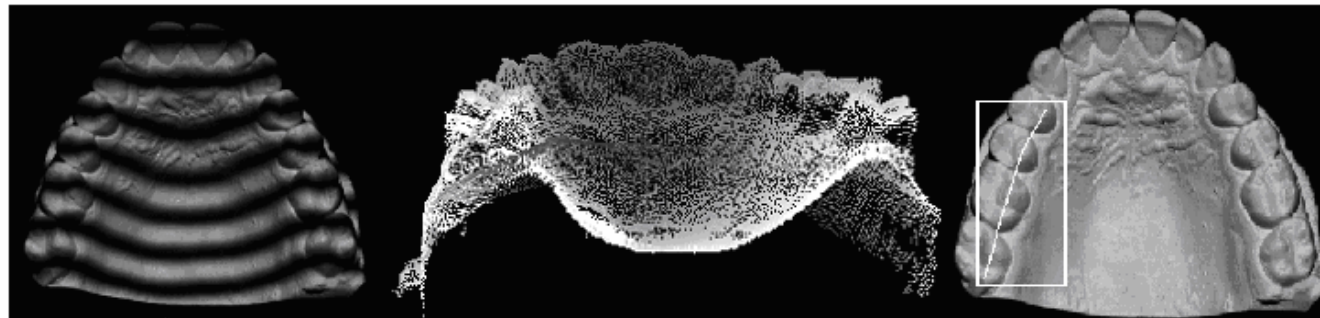
3D-Punktewolke



Modell mit markiertem Profilverlauf

► Zahnmedizin

Modell mit auf-projeziertem Streifenmuster





BTU

Lehrstuhl Grafische Systeme

8.4 Kartographie

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie**
- 9 Literatur

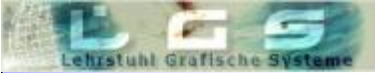
53

► Vergleich historischer Globen



► Kartenprojektion und deren Vergleich





- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur**

9 Literatur

- 1 Motivation
- 2 Arten der 3D-
Vermessung
- 3 Relativbewegung
zwischen Objekt und
Sensor
- 4 Photogrammetrie
 - 4.1 Offline-
Photogrammetrie
 - 4.2 Online-
Photogrammetrie
- 5 Phasogrammetrie
 - 5.1 Grundprinzip der
Phasogrammetrie
 - 5.2 Vorteile der
Phasogrammetrie
 - 5.3 Starre Phasogram-
metrische Systeme
 - 5.4 Flexible Phasogram-
metrische Systeme
- 6 Datenauswertung
mittels Softwaretools
- 7 Bündeltriangulation
- 8 Anwendungsbeispiele
 - 8.1 Archäologie
 - 8.2 Industrie
 - 8.3 Medizin
 - 8.4 Kartographie
- 9 Literatur**

- ▶ *Notni, Gunther; Kühmstedt, Peter; Heinze, Matthias; Himmelreich, Michael: Phasogrammetrische 3D-Messsysteme und deren Anwendung zur Rundumvermessung*
- ▶ *Notni, Gunther; Kühmstedt, Peter: Mehrbild-3D-Messungen in Rapid Prototyping- und Qualitätssicherungs-Prozessketten*
- ▶ *Luhmann, Thomas; Nahbereichphotogrammetrie; Wichmann-Verlag; 2000*
- ▶ http://www.iof.fraunhofer.de/departments/optical-systems/3d-shape-measurement/index_d.html
- ▶ <http://www.uni-leipzig.de/~ufg/projek2c.htm>
- ▶ <http://www.fpk.tu-berlin.de/forschung/sonder/arbeit/dino/dino.phtml>
- ▶ http://www.vision.fraunhofer.de/vision_neu/de/projekte/182.html
- ▶ http://www.iof.fhg.de/departments/optical-systems/3d-shape-measurement/index_d.html
- ▶ http://www.3d-shape.com/up_down_load/prospekte/3d_shape_d.pdf
- ▶ http://www.caesar.de/uploads/media/Holographie_deutsch.pdf
- ▶ http://medweb.uni-muenster.de/institute/zmk/einrichtungen/proth/forschung/volltext/pub_02/index.html#abb1
- ▶ <http://www.gfai.de/~ag3d/Applikationen/Messtechnik/Paßmarken.html>
- ▶ <http://www.fpk.tu-berlin.de/forschung/sonder/arbeit/dom/index.phtml>
- ▶ <http://www.fpk.tu-berlin.de/forschung/sonder/arbeit/globen/globen.phtml>
- ▶ <http://www.fh-oow.de/institute/iapg/paper/Photogrammetrische%20Verfahren%20in%20Messtechnik.pdf>