



3. Hamburger Anwenderforum für
Terrestrisches Laserscanning, 16. Juni 2009



Triangulationsscanner für Messungen im Submillimeter-Bereich Systeme und Anwendungen

Heinz-Jürgen Przybilla

Hochschule Bochum

1. Einleitung

- Motivation

2. Grundlagen

- Das Messprinzip der Streifenprojektion
- Das Korrespondenzproblem

3. Systeme

- Hardware
- Auswerteprozess

4. Anwendungen

5. Resümee

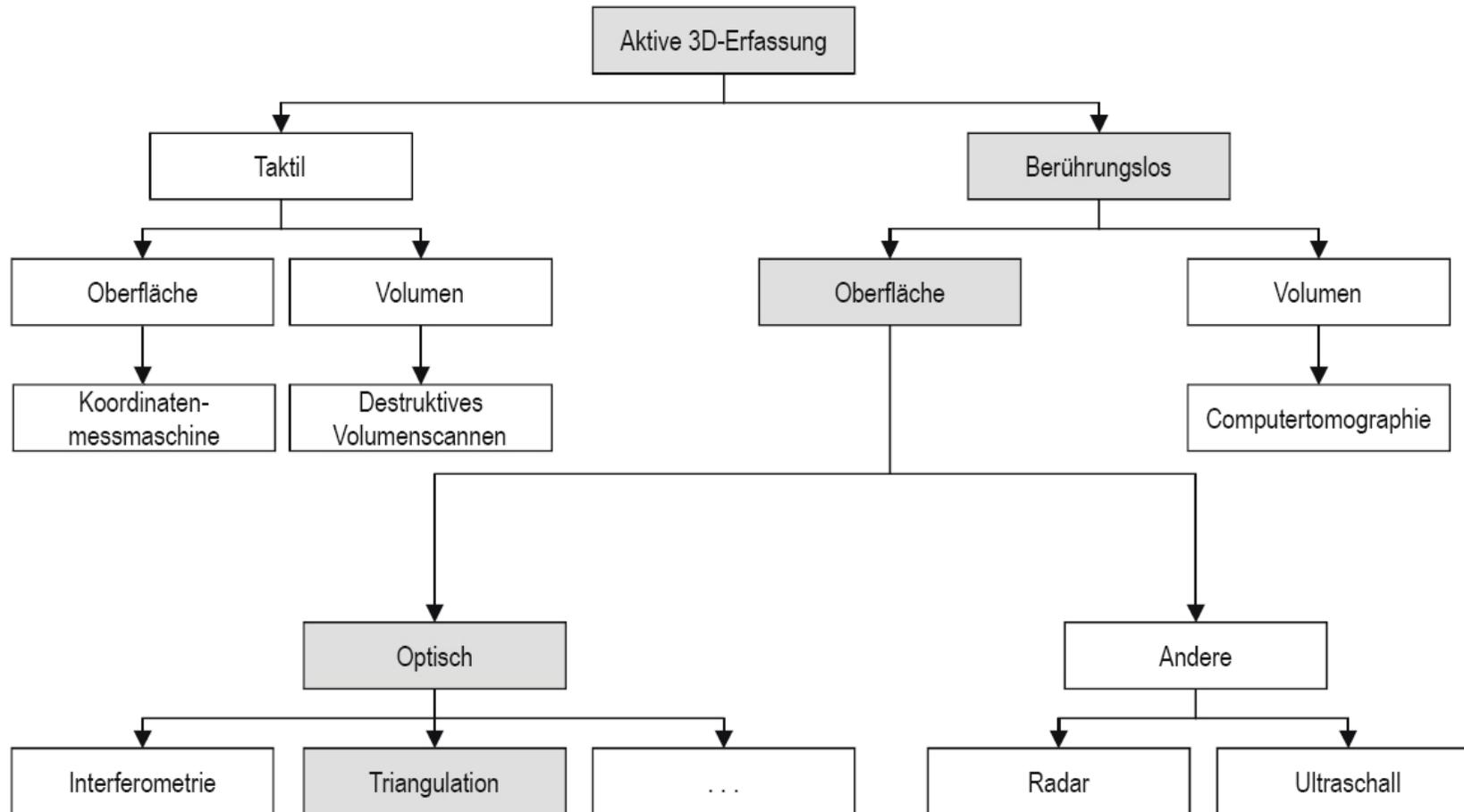
§ Geodäsie:

- § „klassische“ Sensorik

- § Innovation: Terrestrisches Laserscanning

§ „Messende“ Nachbardisziplinen:

- § Vielzahl optischer Messsensoren



Aktive Methoden zur 3D-Datenerfassung (*Gühring 2002*)

Terrestrisches Laserscanning

Triangulation
 $b + w_{1i} + w_{2i}$

Polar
 $s_i + w_{1i} + w_{2i}$

Messvolumen: 1 – 2 m
+ kurze Entfernungen
+ kleine Objekte
+ sehr hohe Genauigkeit: < 1 mm

Fertigungmesstechnik
Triangulationstaster



Mensi: S10/25



Minolta:VI-910

Terrestrisches Laserscanning

Triangulation

$$b + w_{1i} + w_{2i}$$

Polar

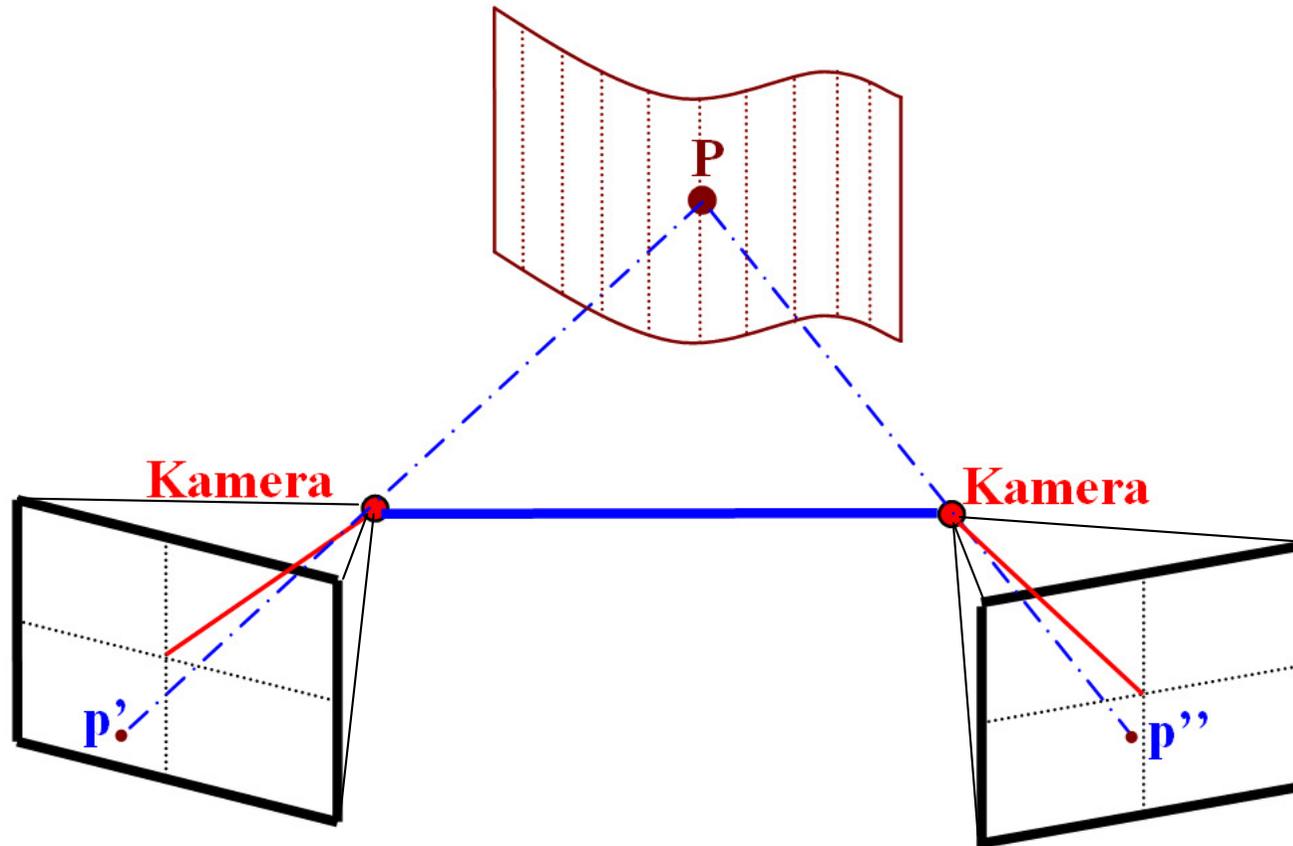
$$s_i + w_{1i} + w_{2i}$$

Messvolumen: 1 – 2 m

+ kurze Entfernungen

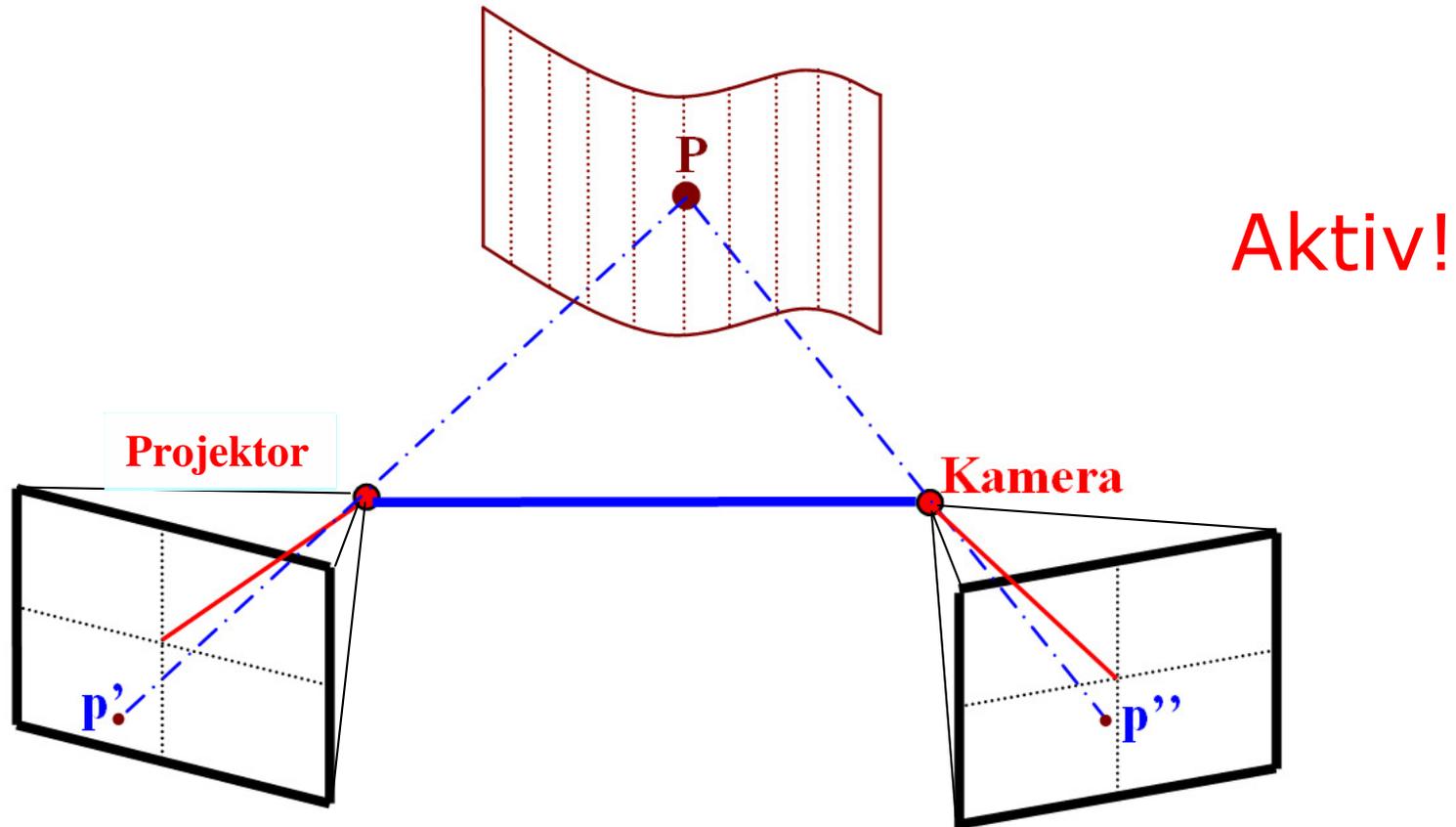
+ kleine Objekte

+ sehr hohe Genauigkeit: < 1 mm



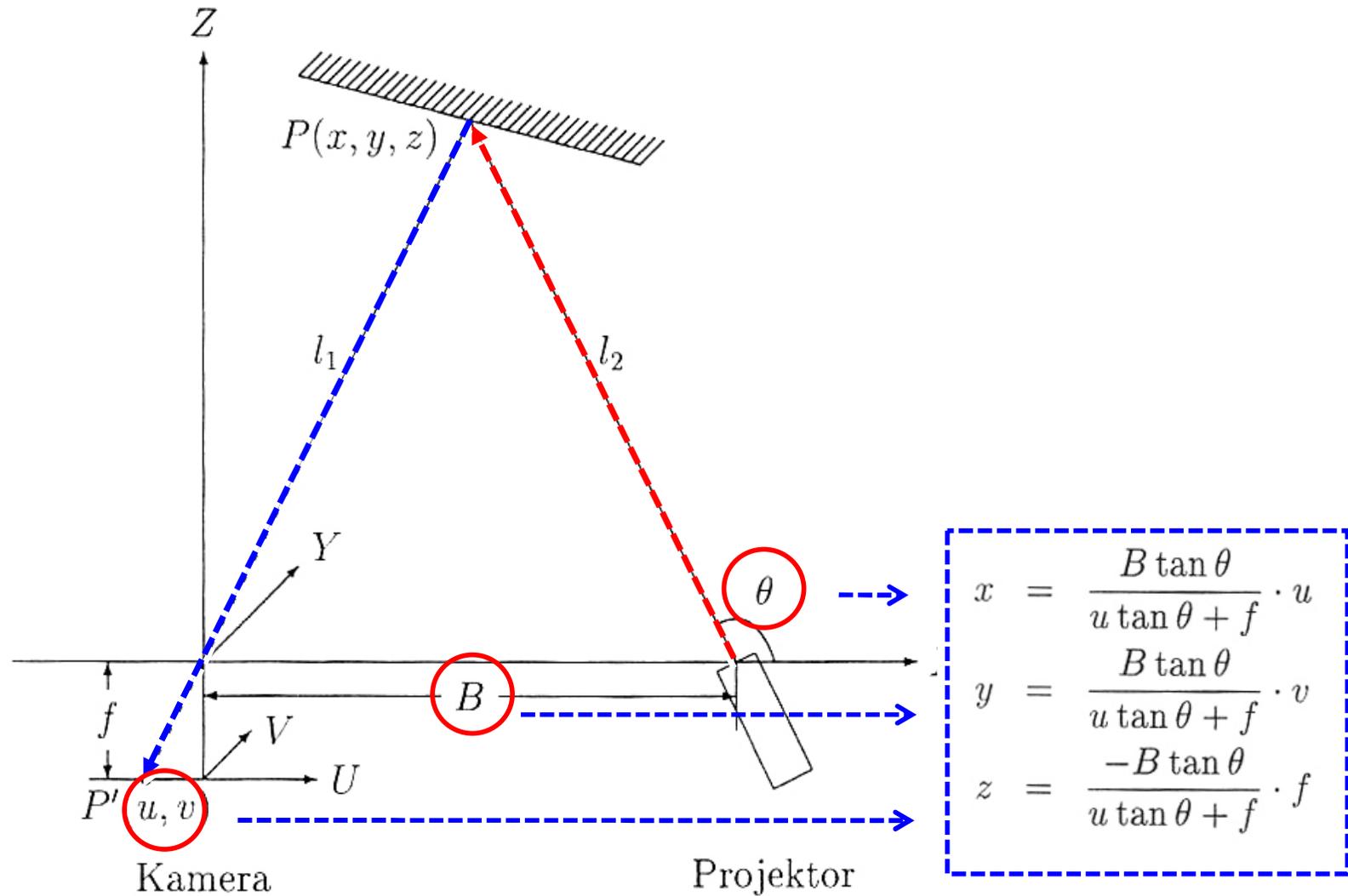
Photogrammetrische Punktbestimmung mittels
3D-Vorwärtsschnitt

- § Aktive Triangulation stellt das am häufigsten eingesetzte Messprinzip in der optischen Abstandsmessung dar.
- § Der Unterschied zwischen dieser Art der Triangulation und jener in der Stereophotogrammetrie besteht darin, dass eine der Stereokameras hierbei durch eine aktive Lichtquelle ersetzt wird.



Aktive Triangulation
(Punktbestimmung mittels 3D-Vorwärtsschnitt)

- § Ein Lichtprojektor projiziert einen Lichtstrahl in die Szene.
- § Der daraus resultierende Lichtfleck auf der Oberfläche wird von einer Kamera aufgenommen.
- § Die Lage dieses Lichtflecks wird in der Bildebene gemessen.
- § Das Dreieck zur Bestimmung des Abstands des beleuchteten Szenenpunktes ist somit vollständig gegeben.



Punktweise Vermessung einer Oberfläche

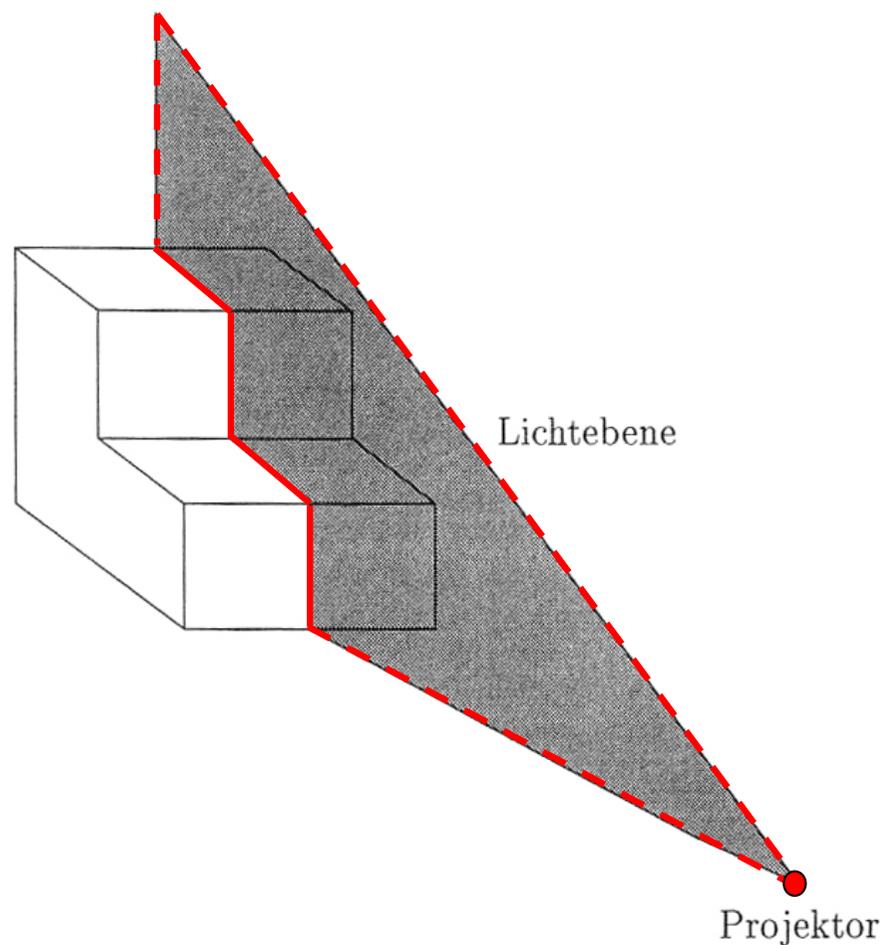
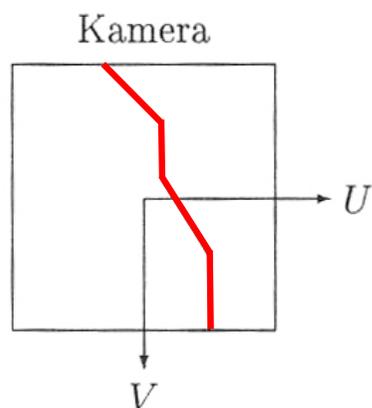
- § Eine flächendeckende Vermessung ist auch mit einer eindimensionalen Ablenkung möglich.
- § Dafür muss jeweils eine Lichtebene anstatt eines Lichtstrahls projiziert werden.
- § Eine Laserlichtebene beispielsweise kann mit Hilfe einer zylindrischen Linse erzeugt werden.

Projektion von Lichtebenen

$$x = \frac{-c}{au + bv + f} \cdot u$$

$$y = \frac{-c}{au + bv + f} \cdot v$$

$$z = \frac{c}{au + bv + f} \cdot f$$



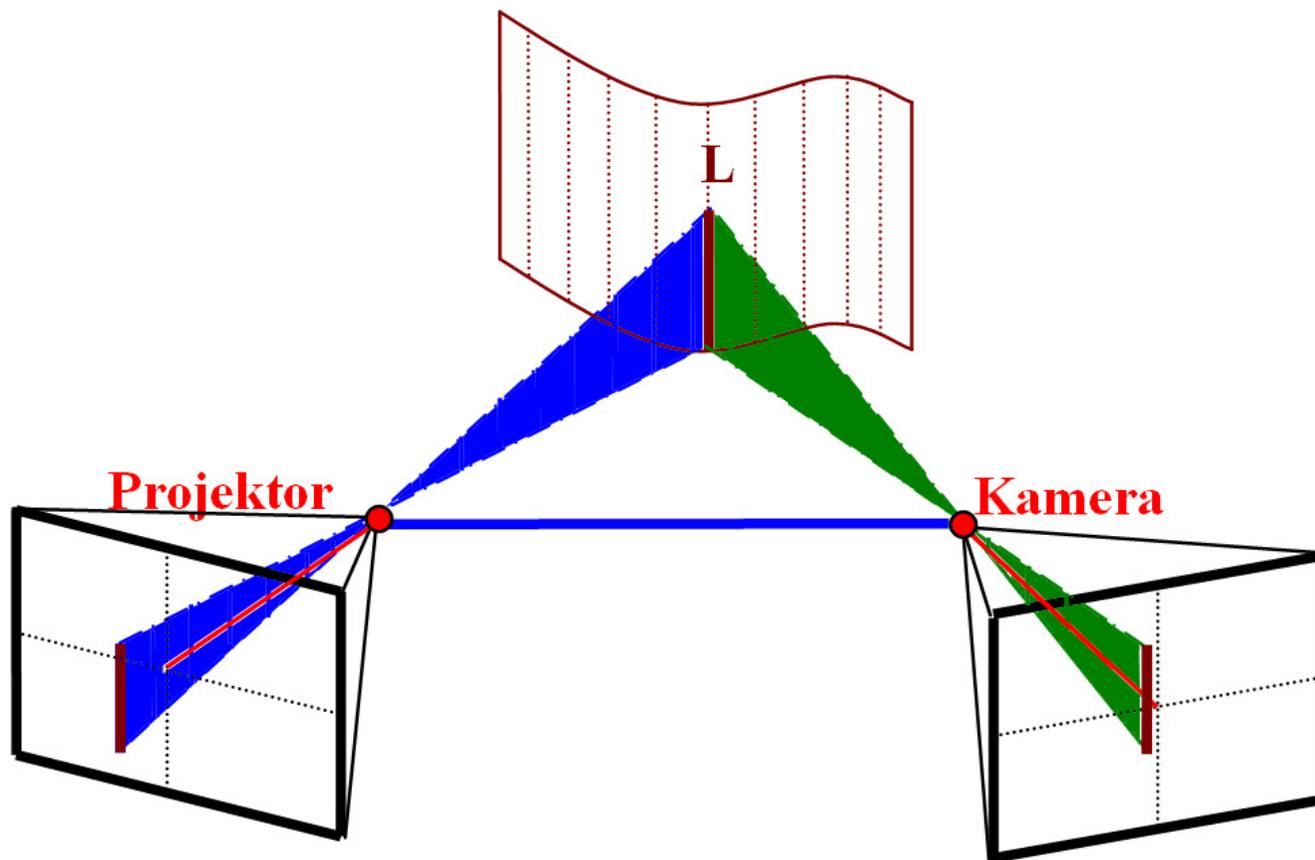
Projektion von Lichtebenen

Triangulationsscanner



Projektor

Kamerasensor

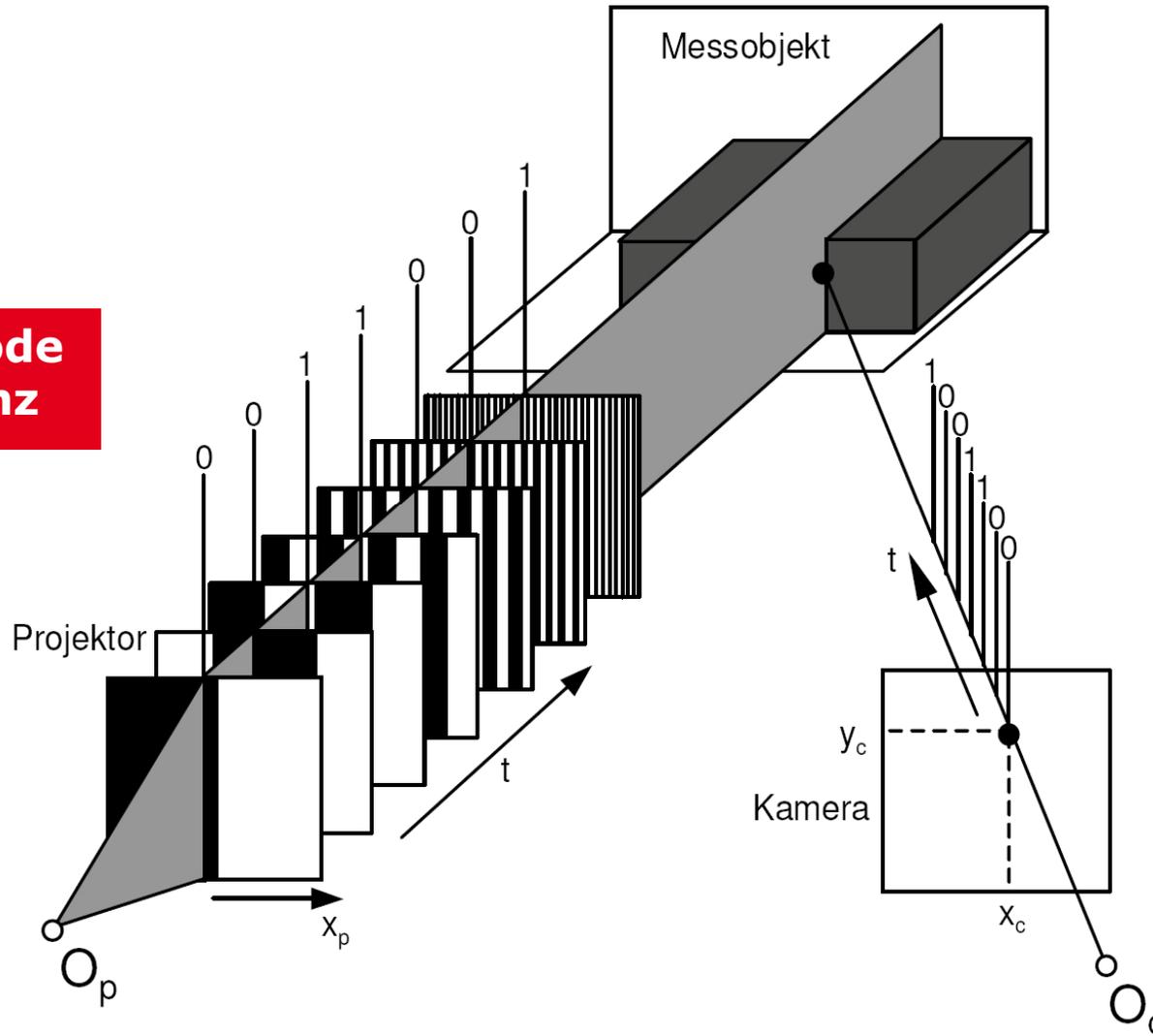


Aktive Triangulation – Objektbeleuchtung durch Linienprojektion, Objekterfassung mittels Kamera

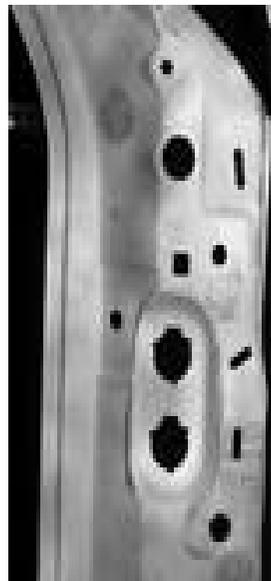
- § Wird seit Anfang der 90er Jahre eingesetzt
- § In kurzer Zeit erreichbare hohe Messpunktdichte durch Projektion von Streifenmustern als Bildsequenzen
- § Präzise, flächenhafte Aussagen über die Objektgeometrie

- § Das Projektionssystem erzeugt zu diesem Zweck in seiner Bildebene eine Folge flächenhafter binärer Streifenmuster und projiziert diese auf das Messobjekt.

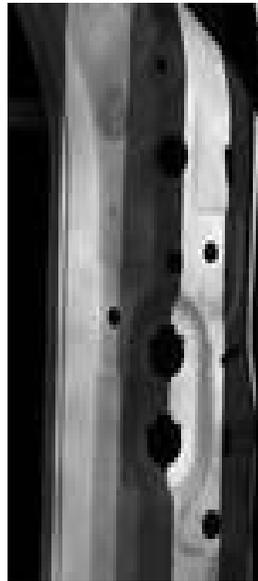
**Gray-Code
Sequenz**



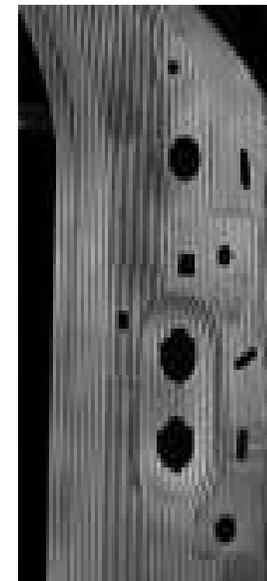
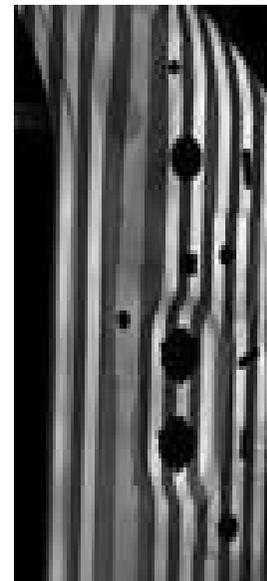
Projektion binärer Streifenmuster (Gühring 2002)



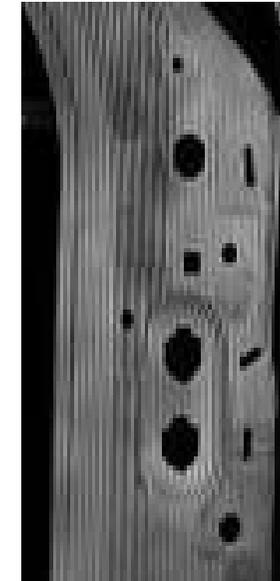
Hellbild



Binäre Streifenmuster



Sinusstreifen



Objekterfassung mit kombiniertem Gray-code/Phase-Shift-Verfahren
(Breuckmann 2007)

§ Mit dem Kodierten Lichtansatz
steht ein geeignetes Lösungsverfahren
zur Verfügung.

§ Hersteller (in Deutschland):

- § **ABW**, Automatisierung und Bildverarbeitung
Dr. Wolf GmbH, Frickenhausen
(www.abw-3d.de)
- § **Breuckmann** GmbH, Meersburg
(www.breuckmann.com)
- § **GOM** GmbH Optical Measuring Techniques,
Braunschweig (www.gom.com)
- § **Steinbichler** Optotechnik GmbH, Traunstein
(www.steinbichler.de)



Comet 5 (Foto: Steinbichler)



ATOS III (Foto: GOM)



Stereo-Scan (Foto: Breuckmann)

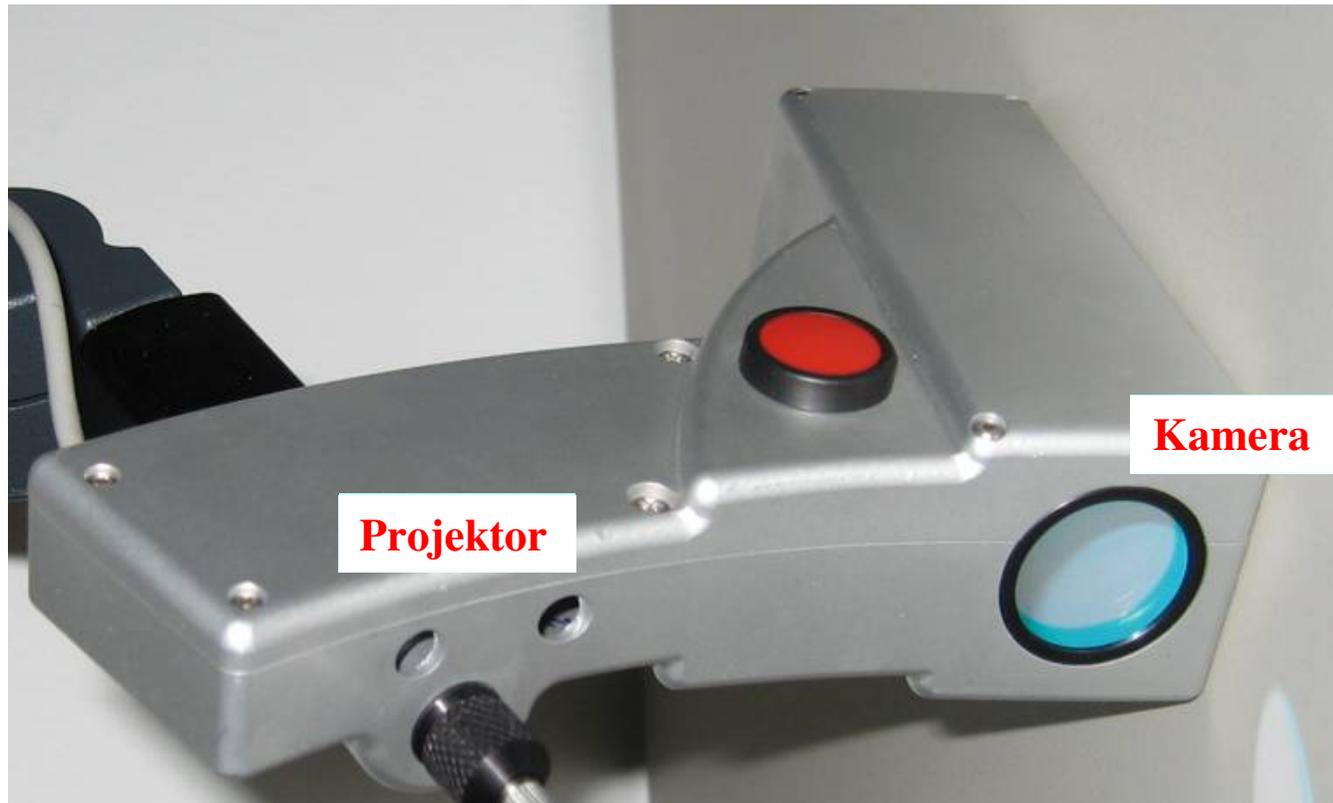


optoTOP-HE (Foto: Breuckmann)

Aktuelle Streifenprojektionssysteme

Basislänge L	Arbeitsabstand	Bilddiagonale [mm]		
		Tele	Standard	Weitwinkel
100 mm	320 mm	50	100	200
300 mm	700 mm	200	325	425
600 mm	1250 mm	375	600	775
Brennweitenbezeichnung		Tele	Standard	Weitwinkel

Standard-Messbereiche Breuckmann optoTOP-HE
(Triangulationswinkel 30° ; *Breuckmann 2007*)



Problem: Orientierung der Messlinie(n) im Raum !

- § Koordinatenmessmaschine
- § Messarm
- § Lasertracker

Ziel:
Herstellen eines absoluten
räumlichen Bezugs



Beispiele für Triangulationsscanner



FARO Scanarm



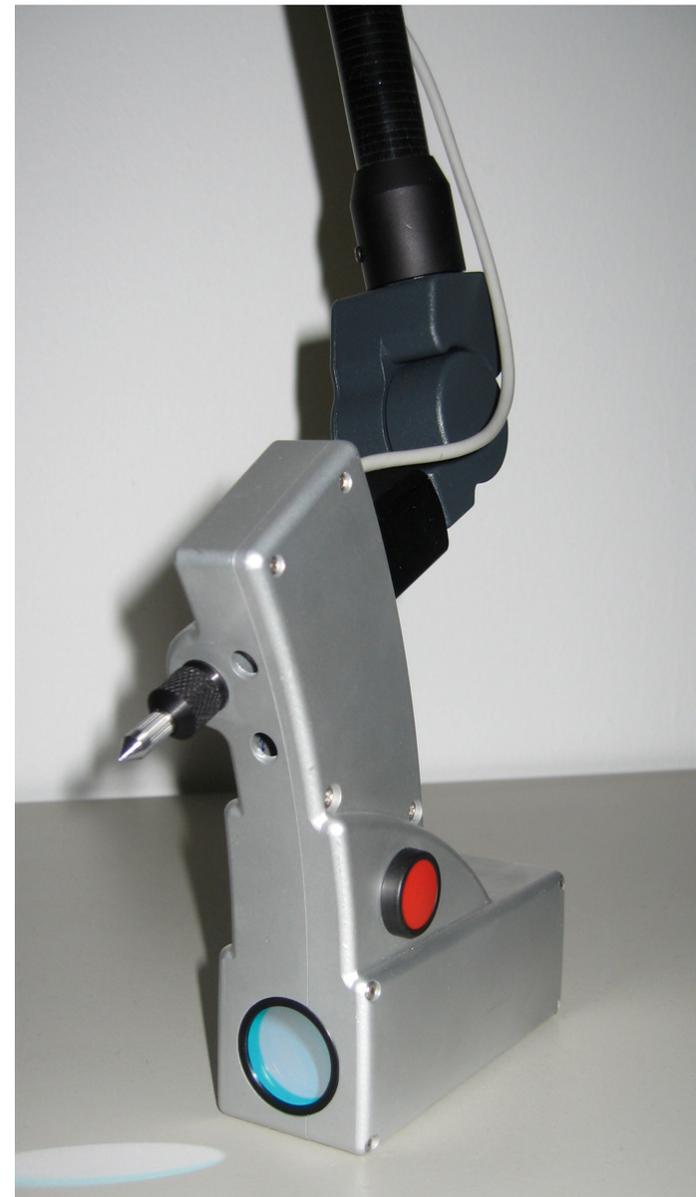
Renishaw Scankopf



API IntelliScan



Das System MicroScribe mit MicroScan



MicroScribe G2

- § Die Systeme wurden für die schnelle und genaue 2D/3D-Erfassung von Punktpositionen, Konturen und Oberflächen durch manuelle Abtastung entwickelt.



MicroScribe MX

- § Mit der Reihe stehen portable Messmaschinen zur Verfügung, die hohe Präzision mit Flexibilität und Bedienerfreundlichkeit vereinen.



Spezifikationen

System	G2	G2X	G2L	G2LX	MX	MLX
Arbeitsbereich	1,27 m	1,27 m	1,67 m	1,67 m	1,27 m	1,67 m
Genauigkeit	< 0.38 mm	< 0.23 mm	< 0.43 mm	< 0.30 mm	< 0.05 mm	< 0.08 mm

MicroScribe G2LX mit MicroScan

- § Tastendes und laserbasiertes Scannen, auch in Kombination
- § Genauigkeiten von 0.1 bis 0.3 mm je nach MicroScribe-Typ
- § Reichweiten von 1.5 und 1.9 m (mit Lasersensor) je nach MicroScribe-Typ
- § Scanraten von 28.000 Punkten / Sekunde
- § Dual-Laser-Konfiguration für zwei Arbeitsraumgrößen (im Abstand von 50 bzw. 110 mm)
- § Punktabstand: 0.1 mm

- § Preis: 24 T€

Software-Merkmale

- § Kalibrierung des MicroScan gegenüber dem MicroScribe
- § Empfindlichkeits-Anpassung der Kamera
Auswahl der Arbeitsraumgröße
- § Einstellung der Scanrate
- § Datenverwaltung in den Betriebsarten
Singlescan und Multiscan (mehrere
Perspektiven)
- § Erfassung und Prozessierung der Scandaten
- § 3D-Modellexport (in Punktwolken- oder
Polygonrepräsentation)

Beispiel: Kissen Karls des Kühnen

Vergleich der Messdauer am Beispielobjekt

- § MicroScribe/MicroScan: 1.5 h
- § Streifenprojektor: ca. 5 h



Beispiel: Kissen Karls des Kühnen

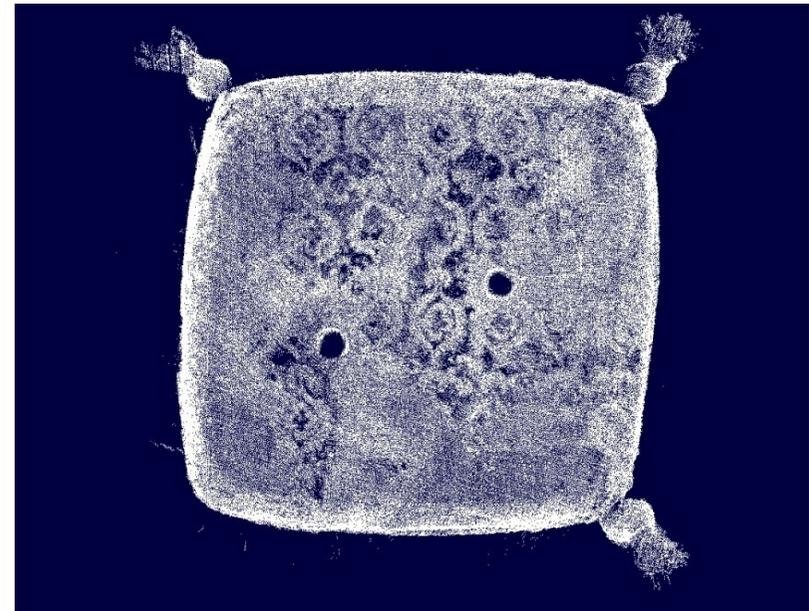


Messdauer am Beispielobjekt

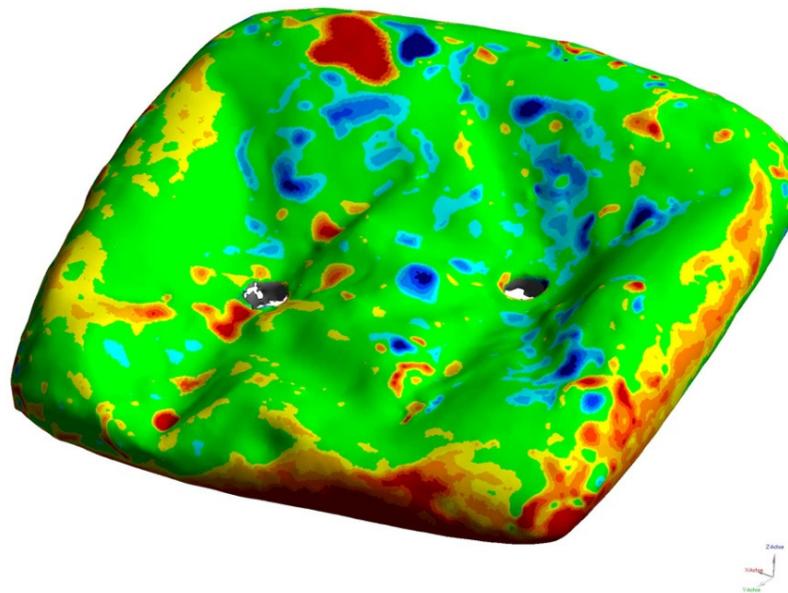
- § MicroScribe/MicroScan: 1.5 h
- § Streifenprojektor: ca. 5 h

Messarm mit Triangulationsscanner

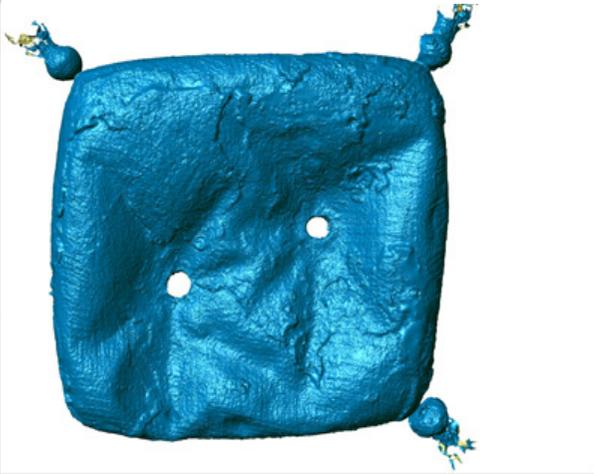
- § Frei beweglich im Messraum
- § Jeder Scan im gleichen, festen System
- § Zügige Datenerfassung
- § Anpassungsfähige Sensorik (für viele Materialien optimierbar)



- § 3D-Vergleich beider Modelle zeigt Übereinstimmung in weiten Bereichen
- § Beide Systeme geeignet
- § Zukünftig parallele, sich ergänzende Messungen mit beiden Scannern denkbar



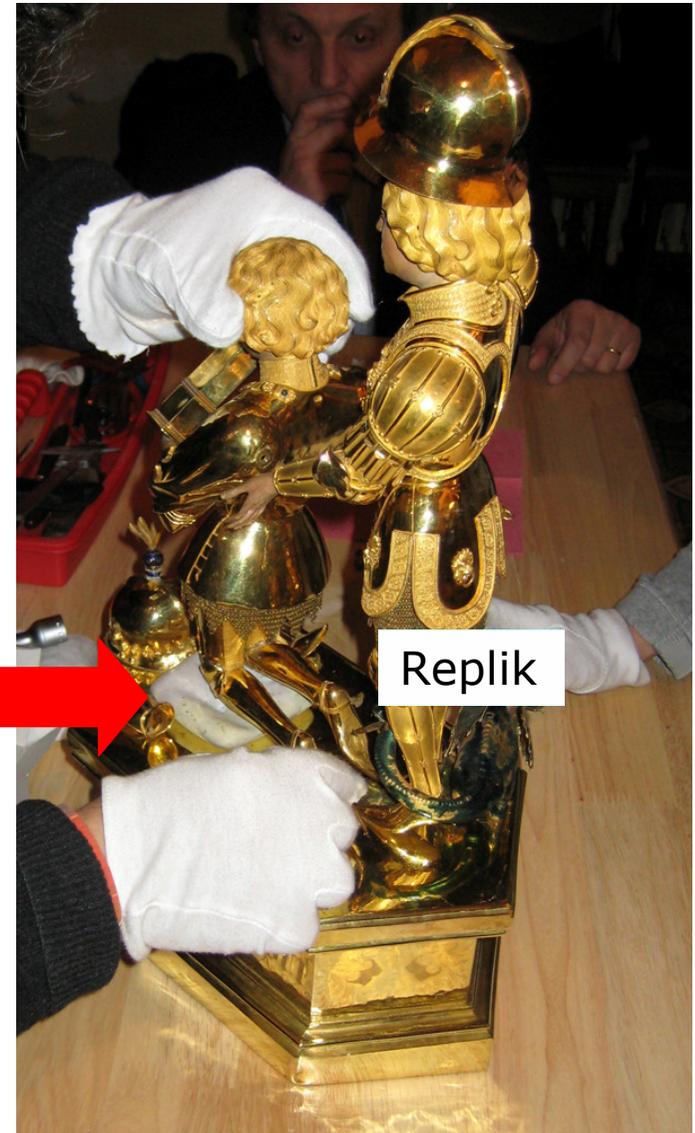
Beispiel: Kissen Karls des Kühnen



Vermaschtes 3D-Modell

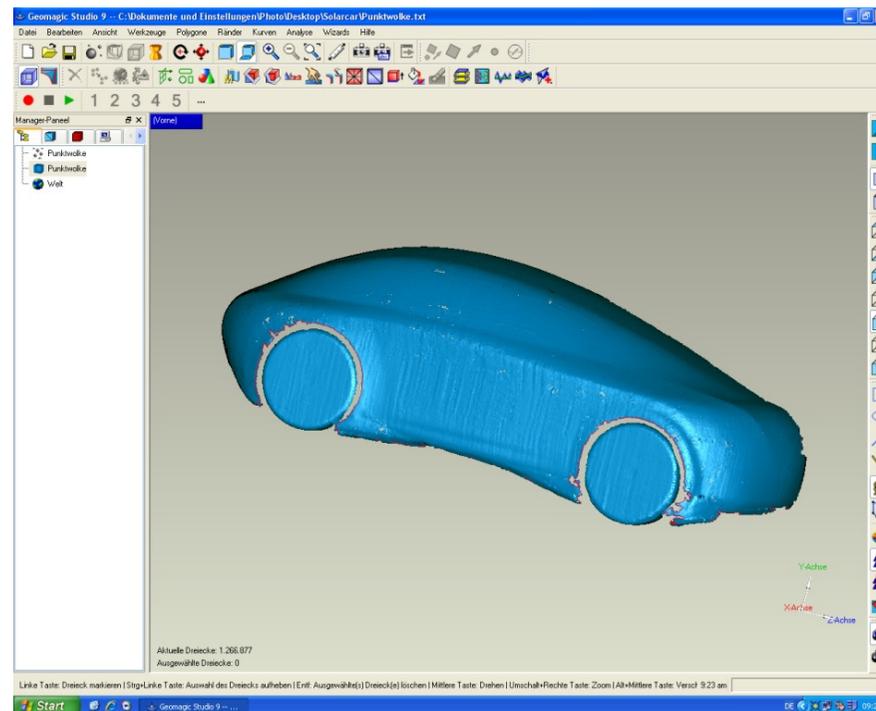
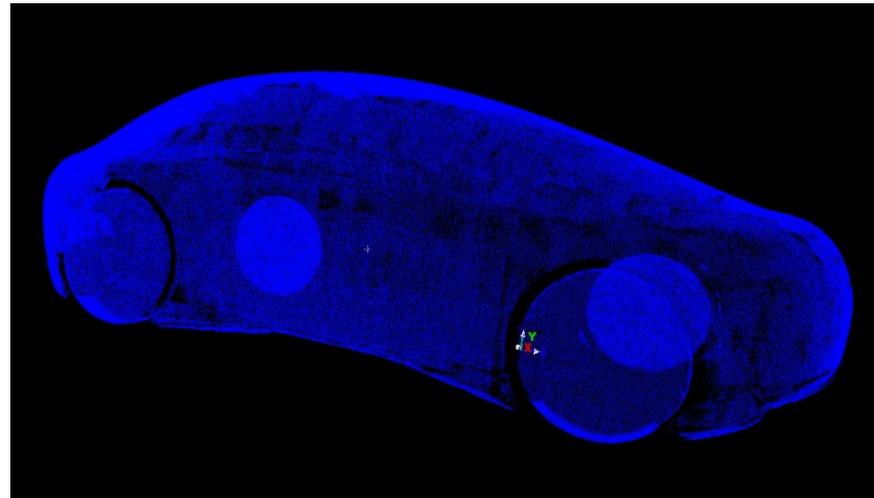


Original

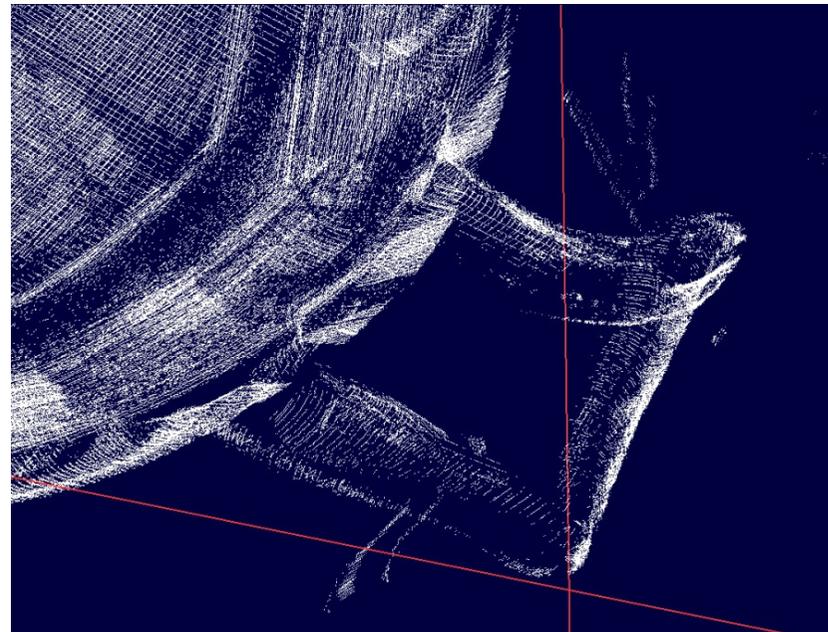
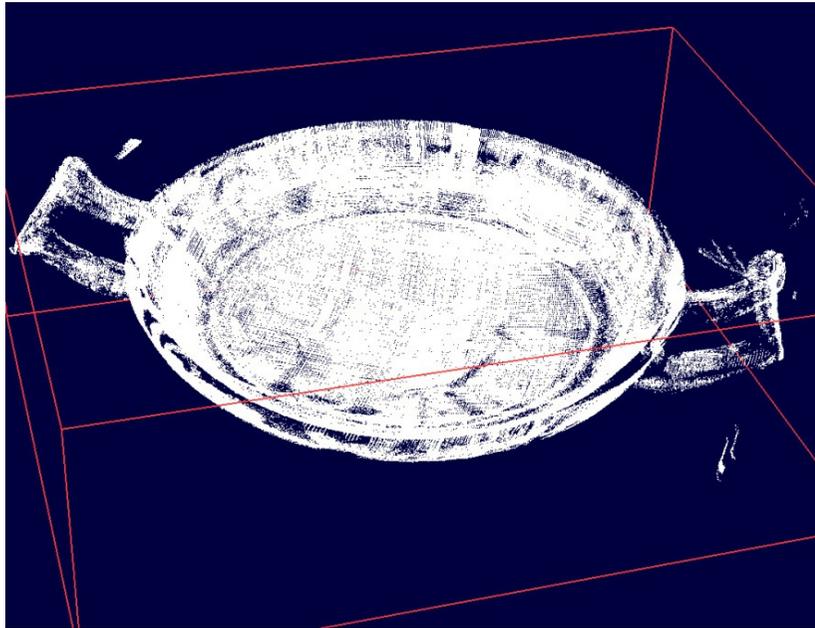


Replik

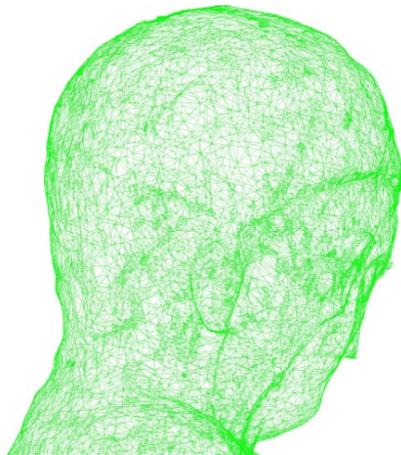
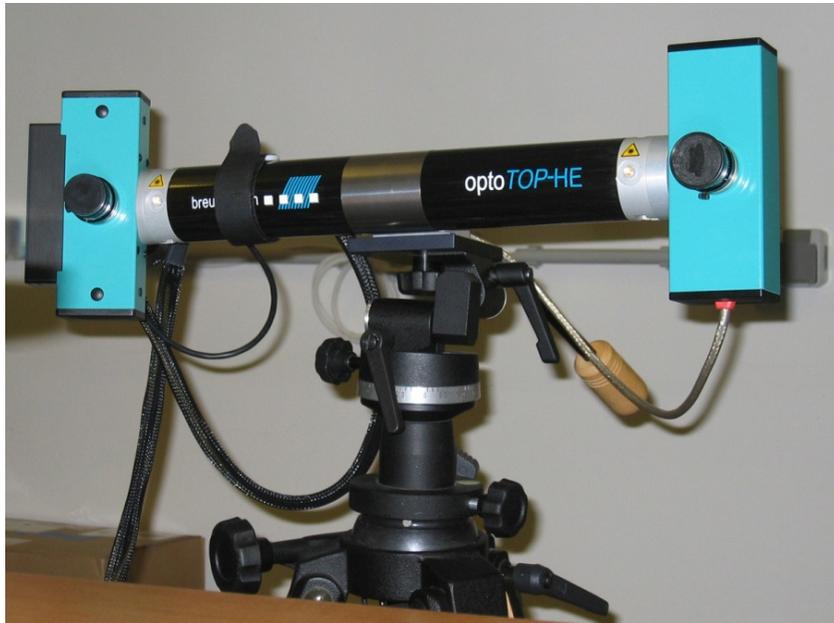
Beispiel: Solarcar-Modell der HS Bochum



Beispiel: Antike Trinkschale



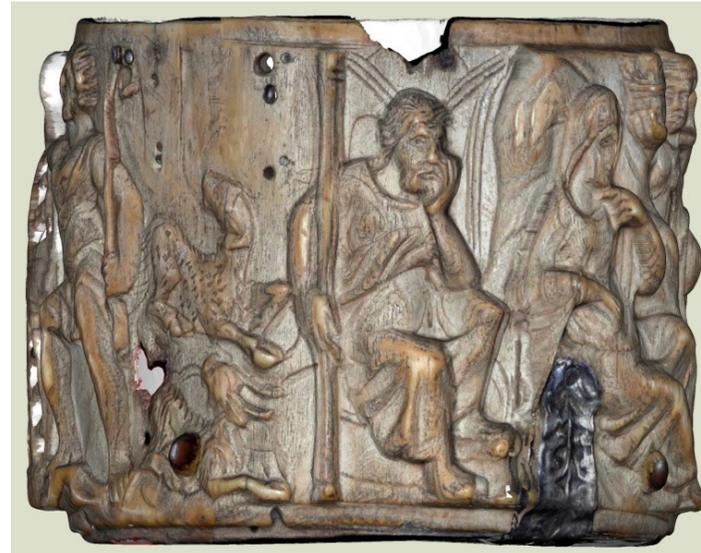
Beispiel: Goldene Madonna (Streifenprojektion)



Beispiel: Pyxis (Streifenprojektion)



Punktwolke aus (farbcodierten) Teilscans nach Registrierung mittels ICP-Algorithmus



Ansicht des Modells nach Bearbeitung mit Geomagic Studio

- § In der Regel ist aufgrund der Objektform eine Mehrfacherfassung notwendig:
 - § durch Positionsänderung des Sensors oder
 - § des zu messenden Objektes

§ Registrierung:

- § Iterative Closest Point“ (ICP)-Algorithmus

- § Verknüpfung der Scans über im Objektraum

verteilte photogrammetrische Targets

Bündelausgleichung

§ Weiterverarbeitung:

- § Dreiecksvermaschung
- § Reduktion des Messrauschens
- § (Verlustfreie) Reduktion der Datenmenge
- § Füllen von Löchern
- § Oberflächenglättung
- § ggf. Texturierung

- § Qualitätskontrolle und Inspektion im industriellen Umfeld (Automobilindustrie)
- § Reverse Engineering (Werkzeugbau, Design, Modelle)

§ Medizinische Applikationen

- § „Bodyscans“

- § Oberflächenmessungen der Haut

§ Forensik

§ Archäologische und kunsthistorische Objekte

- § Leistungsfähige optische 3D-Messverfahren
- § Messgenauigkeiten im Submillimeterbereich
- § Anwendungsorientierte Produktlinien
- § Erprobte Prozessketten