

Digitale Objekterfassung

Digital object acquisition/ digital object recording

Modul 3 / WS 1

Prof. Dr. Mona Hess und Dr. des. Maria Chizhova

Kontakt: Mona.Hess@uni-bamberg.de

Twitter: @Mona3Dimaging



Institut für Archäologische
Wissenschaften,
Denkmalwissenschaften
und Kunstgeschichte



Inhalte dieser Vorlesung

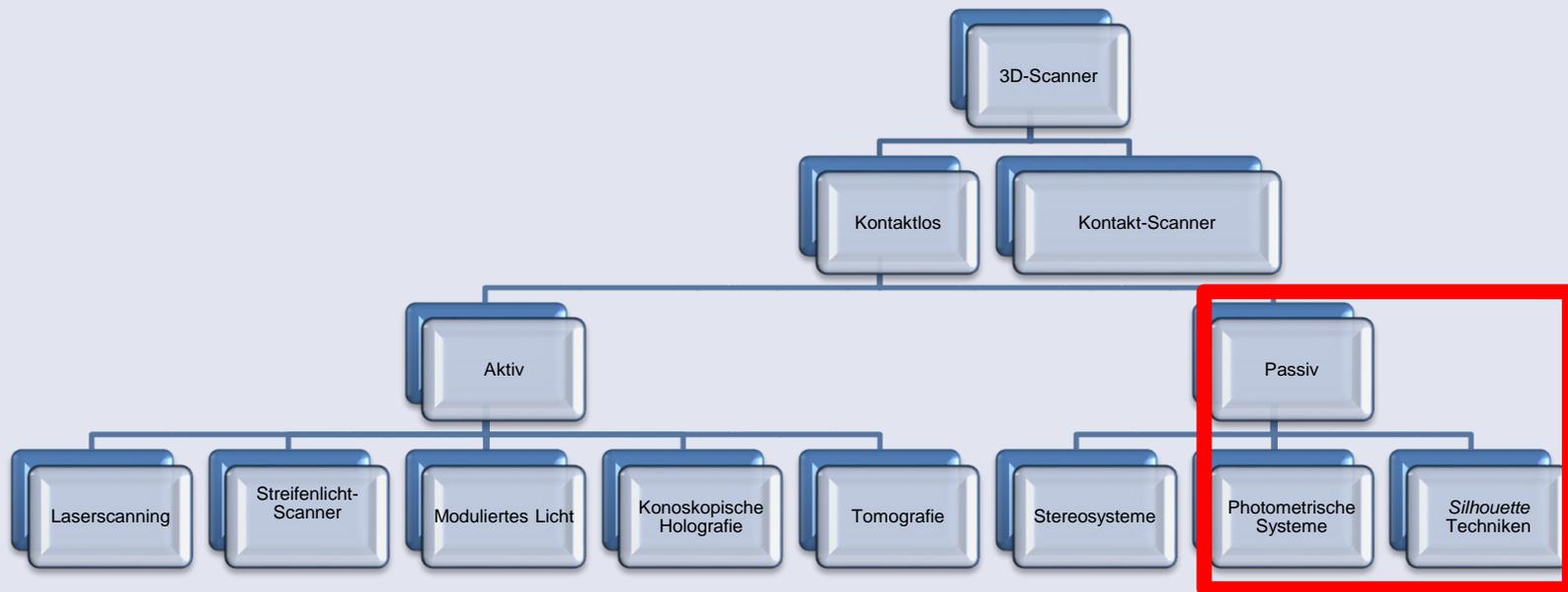
Schattierungsverfahren (Silhouette Techniken, Shape from Silhouette)

Fokussierungsverfahren (shape from focus)

Structured light scanning

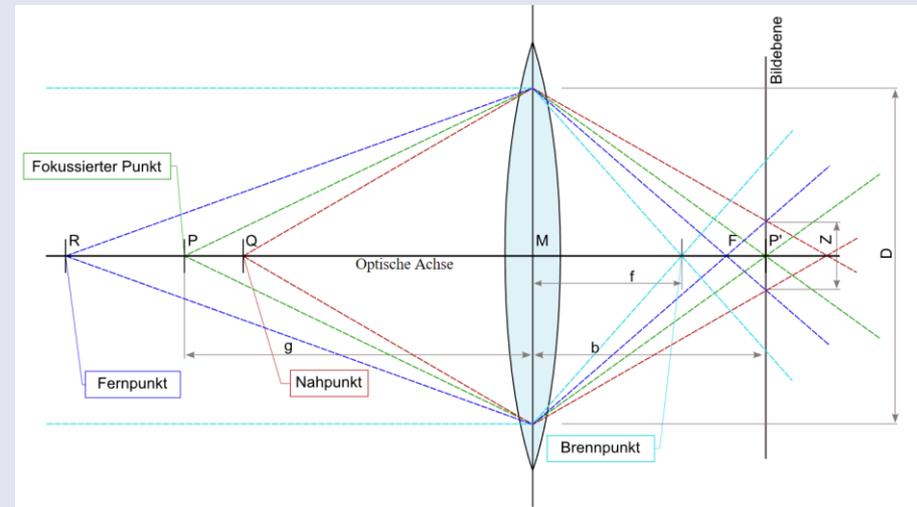
1. Lichtmuster
2. Messprinzipien eines Streifenlichtscanners
3. Triangulation und Koordinatensysteme für die Aufgabendefinition
4. Orientierungen - Wiederholung
5. Räumlicher Vorwärtsschnitt, Rückwärtsschnitt
6. Messverfahren
 - Lichtschnittverfahren,
 - Phansenshiftverfahren,
 - Binärkodierter Lichtansatz,
 - Farbkodierter Lichtansatz,
 - Punktbaiserte Musterverfahren,
 - Stochastisches Musterverfahren
7. Messsysteme: Einkamera, Zweikamera, Mehrkamera

Einordnung der Schattierungs- und Fokussierungsverfahren



Fokussierungsverfahren

- Idee: die Objektteile werden unterschiedlich scharf relativ zur Kameraposition abgebildet
- Die Schärfe (Schärfentiefe) liefert die Informationen über die Entfernung von Punkten zum Objektiv
- **Fernpunkt** - beschreibt die Objektweite, bei der ferne Objekte noch hinreichend scharf abgebildet werden, wenn das Objektiv auf eine bestimmte Objektweite eingestellt ist
- **Nahpunkt** - beschreibt die Objektweite, bei der nahe Objekte noch hinreichend scharf abgebildet werden, wenn das Objektiv auf eine bestimmte Objektweite eingestellt ist
- **Brennpunkt** - Punkt, in dem eine optische Linse oder ein Hohlspiegel alle parallelen Lichtstrahlen sammelt



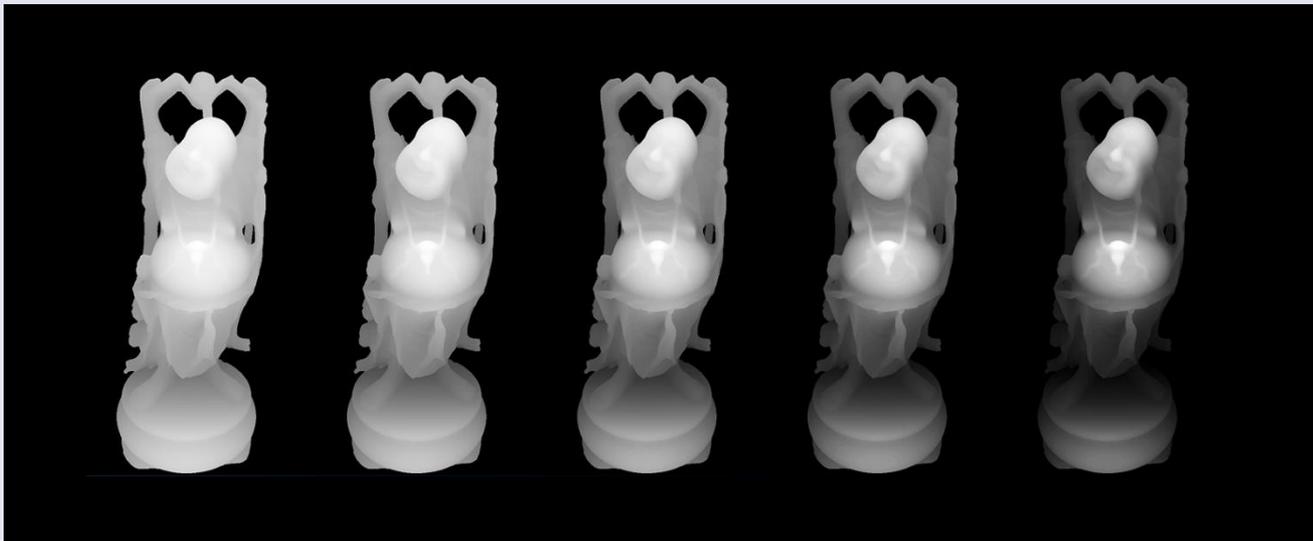
Schärfentiefe:

- f - Brennweite
- k - Blendenzahl
- g - die Gegenstandsweite (Entfernung der fokussierten Gegenstandsebene von der vorderen Prinzipalebene)
- Z - Durchmesser des Zerstreungskreises

$$\frac{2 \cdot f^2 \cdot g \cdot k \cdot Z \cdot (g - f)}{f^4 - k^2 \cdot Z^2 \cdot (g - f)^2}$$

Depth Map

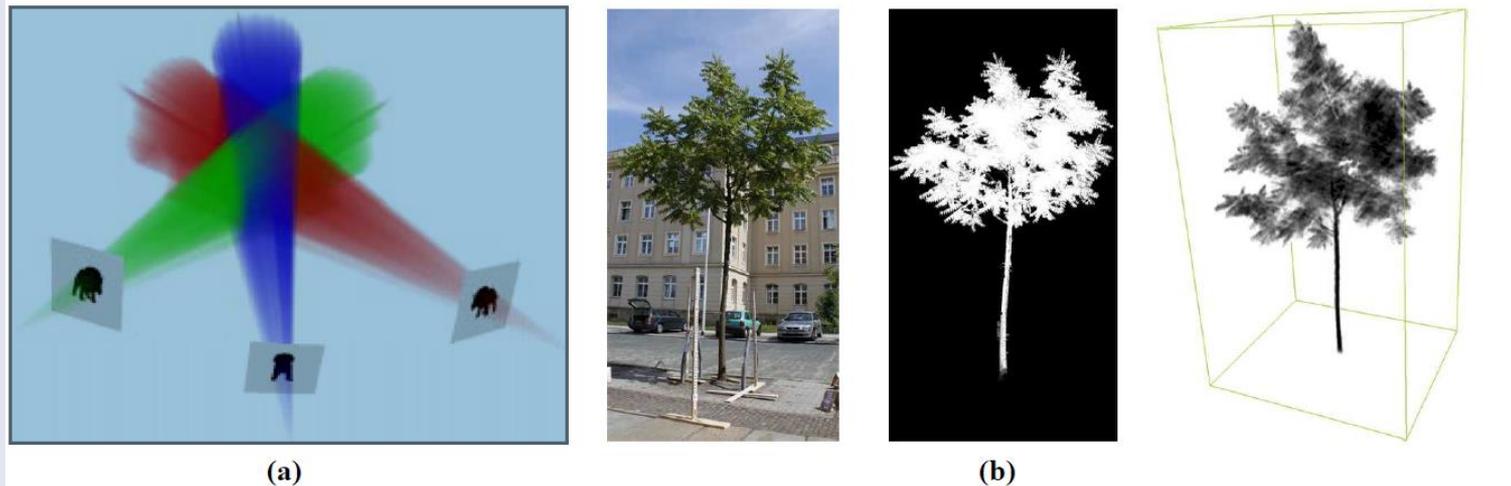
- Informationen über Schärfentiefe – depth map (Tiefenkarte)
- **Depth Map** - ein Bild oder ein Bildkanal, der Informationen über den Abstand der Oberflächen von Szenenobjekten von einem Standpunkt enthält.
- Berechnungen - relativ zur Fokalebene /Referenzebene
- Wie funktioniert - [hier](#)



Schattierungsverfahren

- Schattierungsverfahren = Silhouette Techniken = Shape from Silhouette
- Ablauf:
 - Objekt wird von unterschiedlichen Positionen aufgenommen
 - Bilder werden in Vorder- und Hintergrund segmentiert (Bildverarbeitungsmethoden: Bildfilter, Binarisierung)
 - Vordergrundpixel jeder Kameraaufnahme – Silhouette
 - Schnitt aller Projektionsstrahlen erzeugt die dreidimensionale visuelle Hülle des abgebildeten Objekts und grenzt dessen Volumen im Raum ein

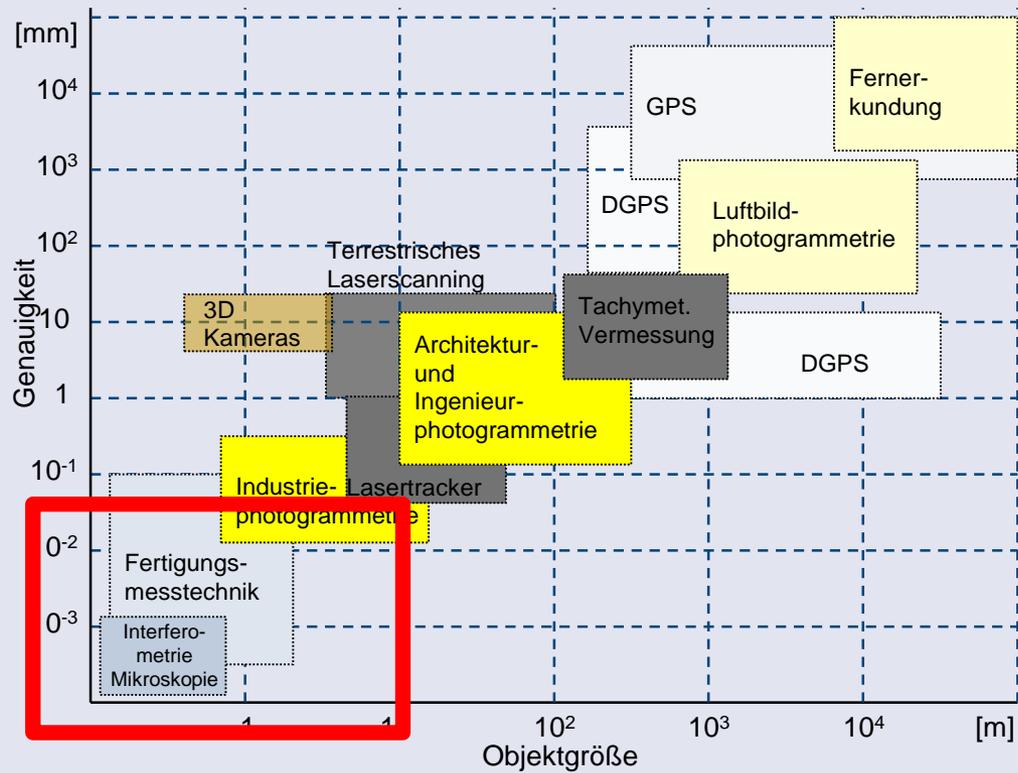
Prinzip der Silhouettenteknik (P. Westfeld)



(a) Prinzip des Silhouettenschnittverfahrens (Buehler u. a. 1999): Die Schnittpunkte der drei Konen definieren die visuelle Hülle des Objekts. (b) Volumetrische Rekonstruktion eines Baums (Vock u. a. 2010): Aufnahme eines Mehrbildverbands (links). Das entsprechend nach Vorder- und Hintergrundzugehörigkeit in eine Grautonskala segmentierte Eingabebild (Mitte). Beispiel eines rekonstruierten Baums (rechts).

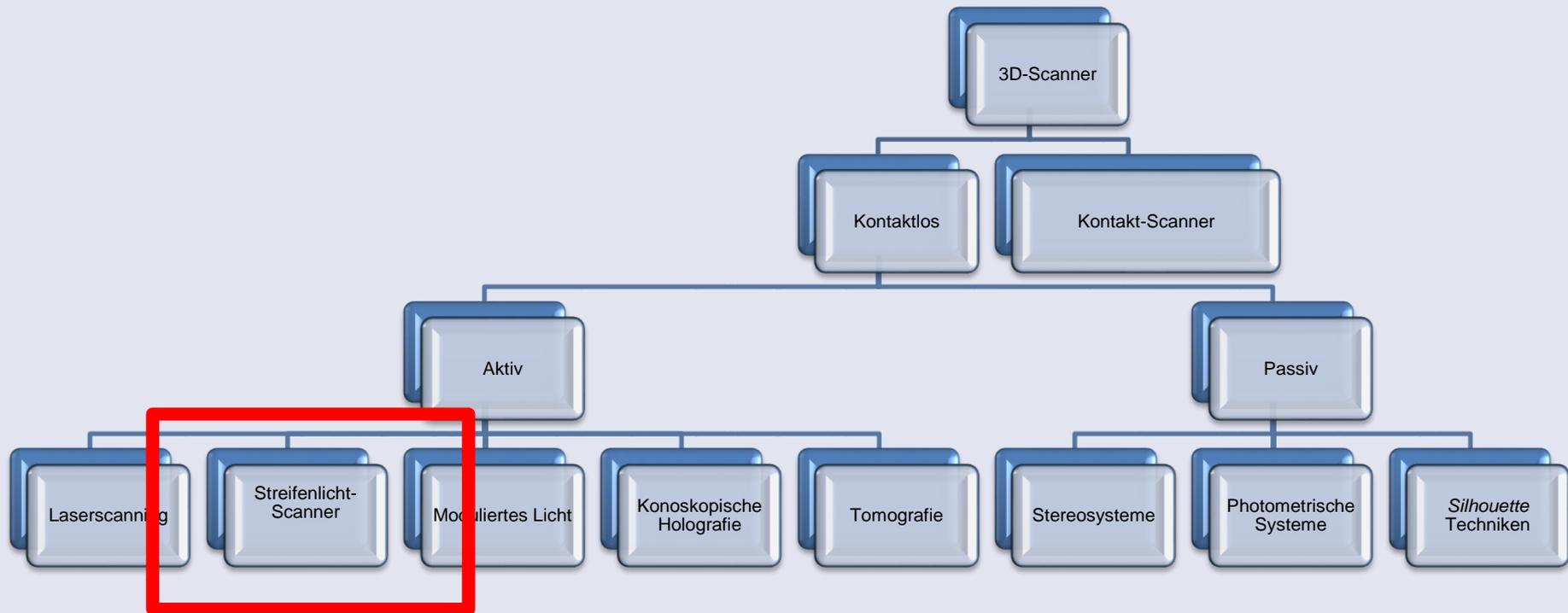
3D Structured Light Scanning

Genauigkeit von 3D-Messverfahren



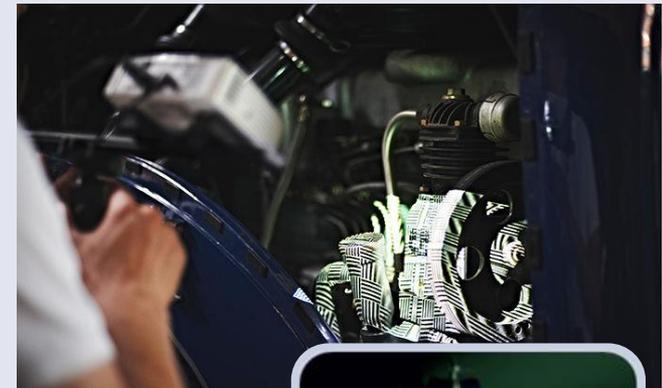
messverf1.ppt

Klassifikation von den 3D Scannern

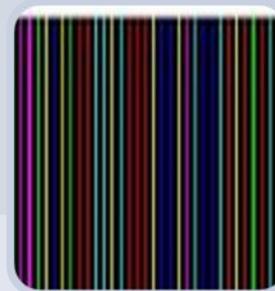


Structured Light Scanner - Überblick

- **Structured Light Scanning** ist eine aktive Erfassungsmethode, die sich auf der Beleuchtung von einem Objekt mit strukturiertem Licht basiert.
- **Strukturierte Beleuchtung** - Projektion eines Lichtmusters auf die Szene
- **Messprinzip**
 - Lichtmuster wird aufs Objekt projiziert
 - Aufnahmegenerierung vom reflektiertem Lichtmuster
 - Auswertung der reflektierten Struktur:
(Entfernung zur Kamera, Objektposition)
- **Lichtmuster**
 - Punktmuster,
 - Streifenmuster,
 - farbcodierte Muster



Lichtmuster



Streifen

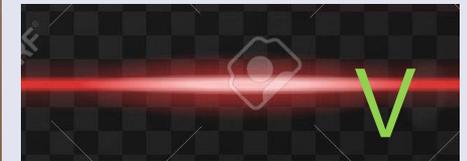
Punkte

Farbkodiert

Stochastische
Muster

Generierung des Lichtmusters (I): Laserinterferenzverfahren

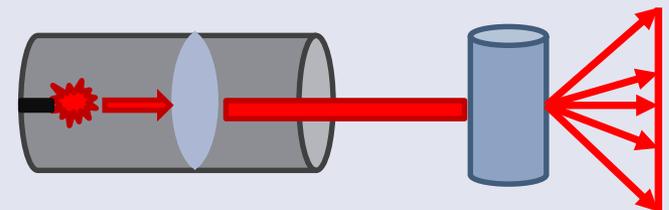
- Laserinterferenzverfahren
 - Emission von 2 planaren Laserstrahlen
 - Schätzung der Interferenzergebnisse eines regulären Linienmusters.
- Winkel zwischen Laserstrahlen ändern = unterschiedliche Mustergrößen



Vorteile

Nachteile

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| •Unbegrenzte Schärfe | •Laserrauschen |
| •Genauigkeit | •Keine ideale Strahlgeometrie |
| | •Teuer |



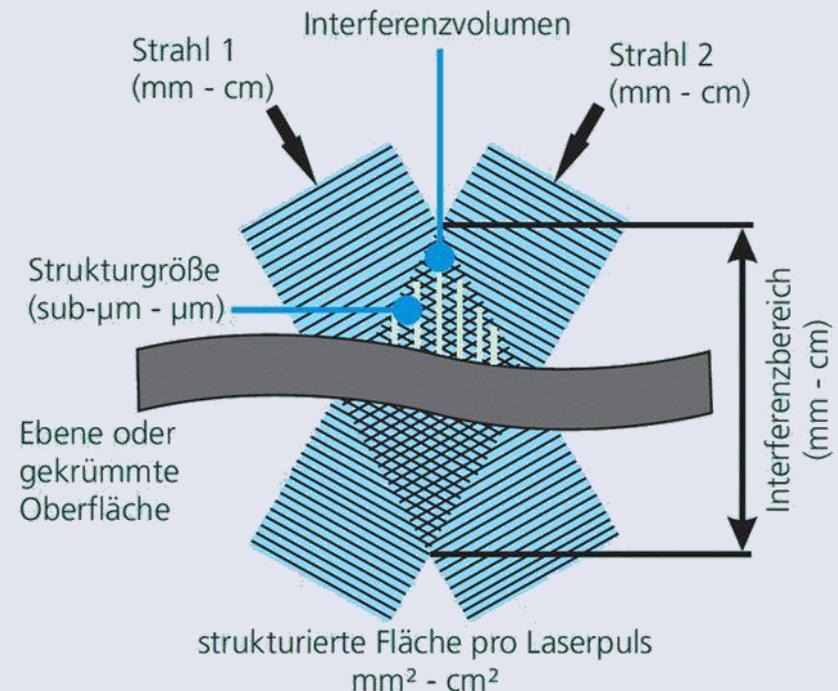
Laserinterferenzverfahren

- Laserinterferenzverfahren
 - Emission von 2 planaren Laserstrahlen
 - Schätzung der Interferenzergebnisse eines regulären Linienmusters.
- Winkel zwischen Laserstrahlen ändern = unterschiedliche Mustergrößen

Vorteile

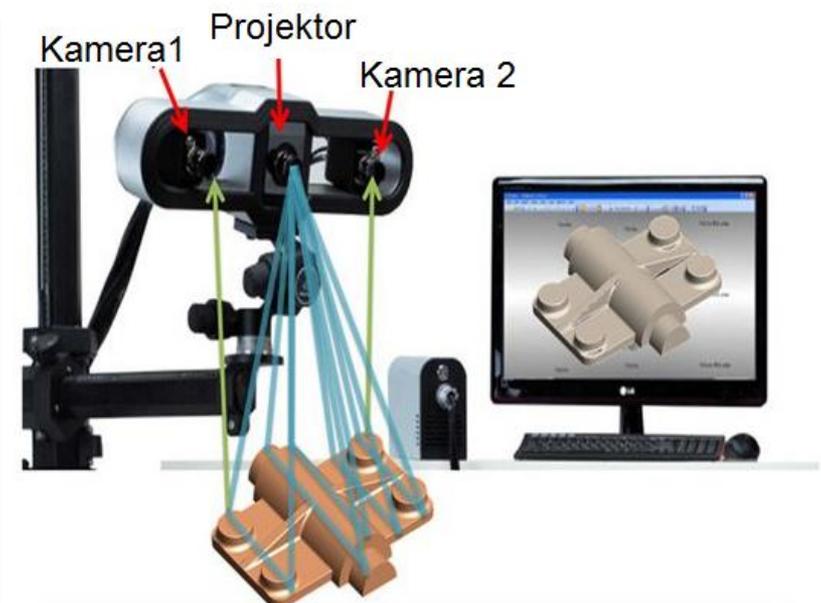
Nachteile

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| •Unbegrenzte Schärfe | •Laserrauschen |
| •Genauigkeit | •Keine ideale Strahlgeometrie |
| | •Teuer |

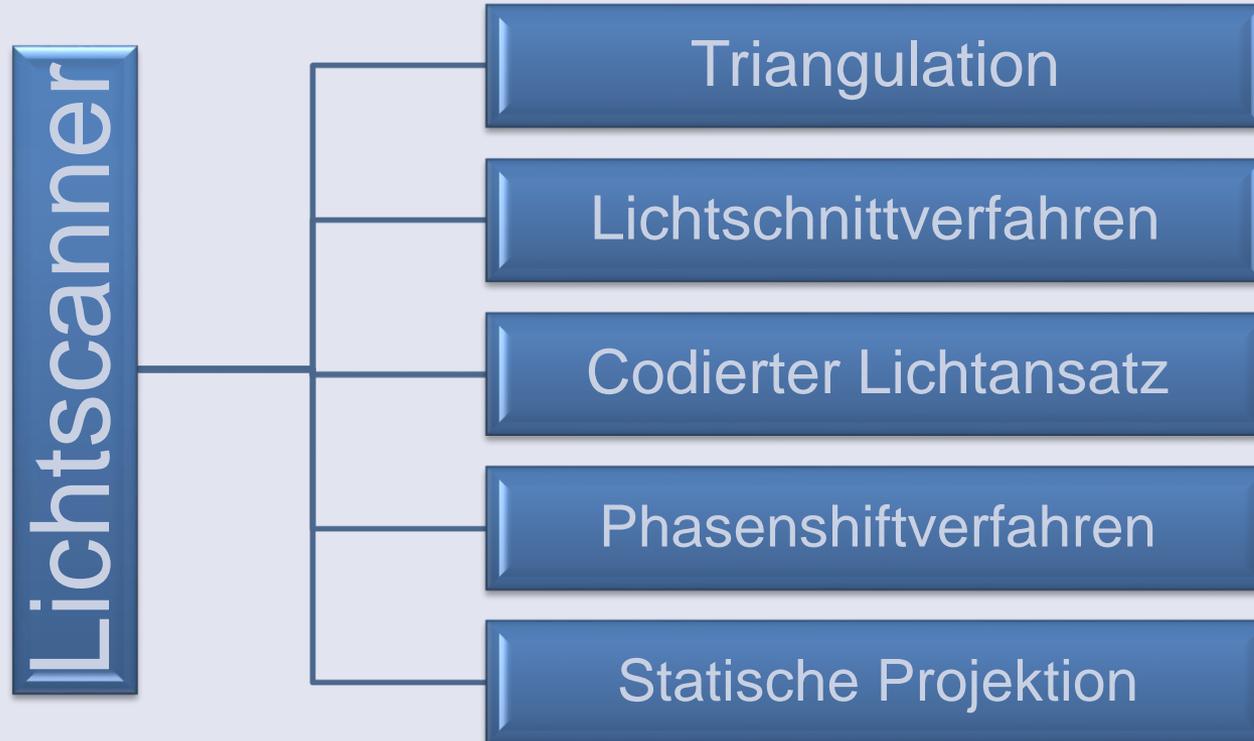


Generierung des Lichtmusters (II): Projektionsverfahren

- Projiziert inkohärentes Licht
- Muster wird mittels Lichtdurchgang durch den räumlichen Lichtmodulator (SLM) generiert
- Lichtarten:
 - Weißlicht
 - Blaulicht
 - Nicht sichtbares Licht (z.B. Infrarot)

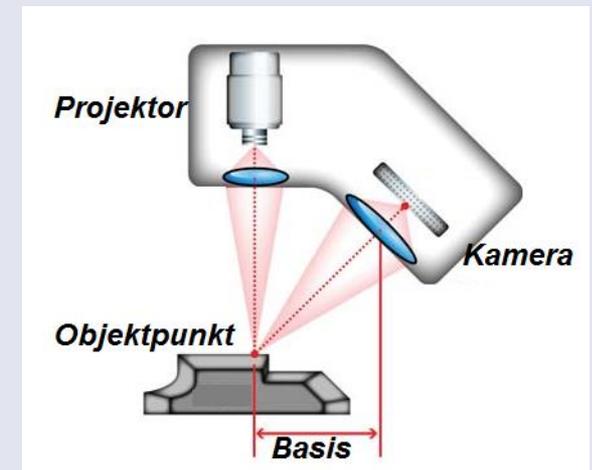
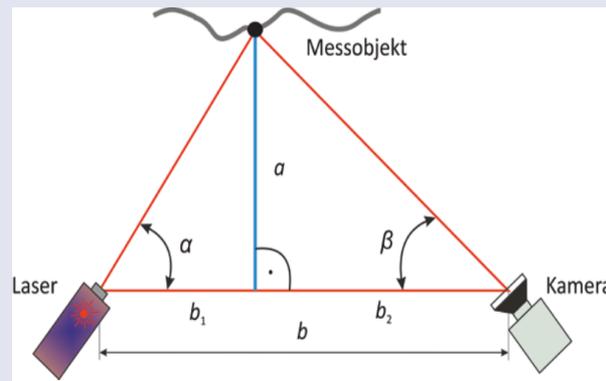
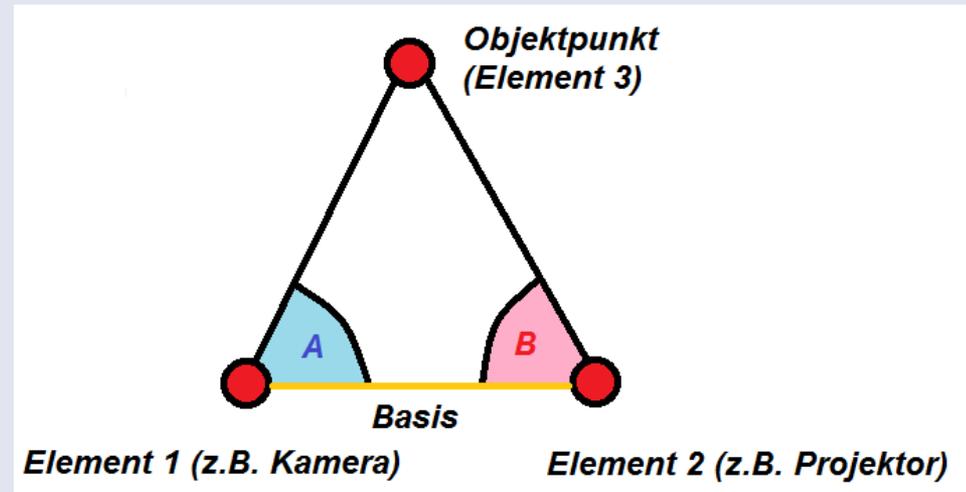


Messprinzipien eines Streifenlichtscanners



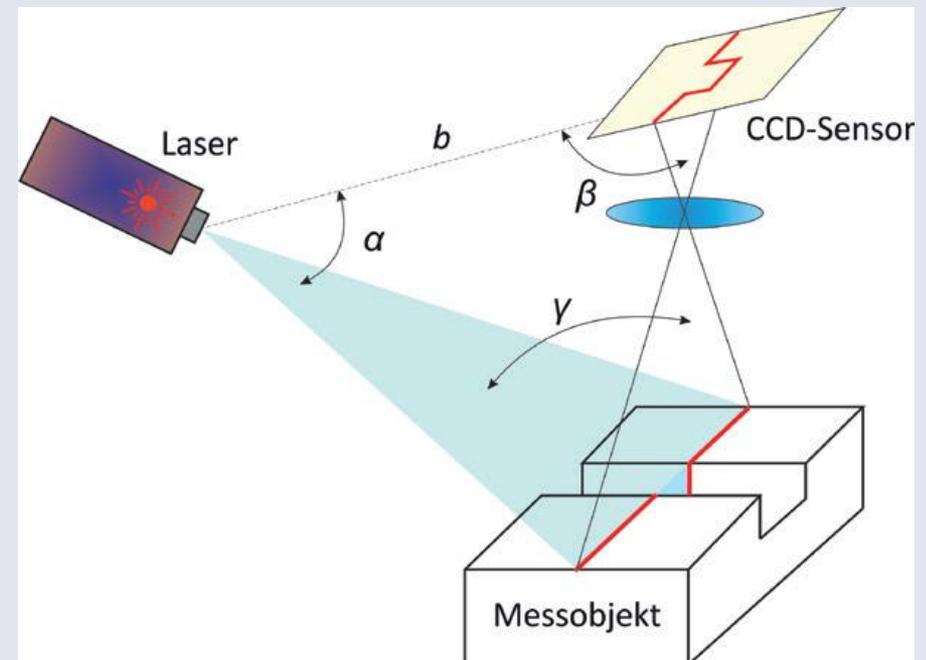
Triangulation

- Triangulation – Methode der optischen Abstandsmessung
- Basiert auf *Trigonometrie*
- Prinzip: Dreieck aus 3 Messkomponenten (Projektor, Kamera, Objekt)
- Messelemente (bekannt !!!):
 - Basislänge
 - 2 Winkel
- Messmethode
 - Vorwärtsschnitt
 - Rückwärtsschnitt

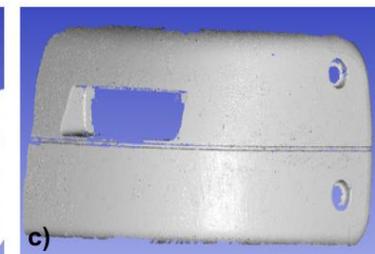
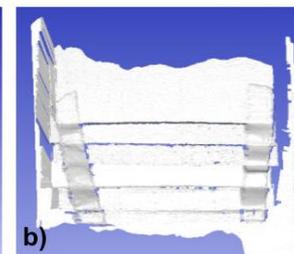
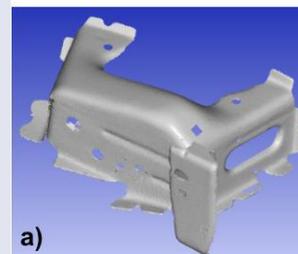
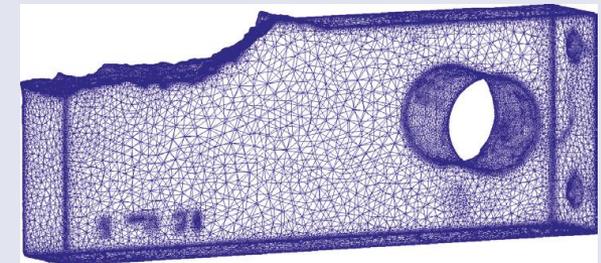
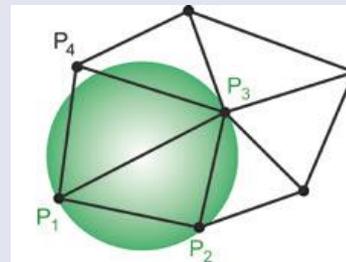
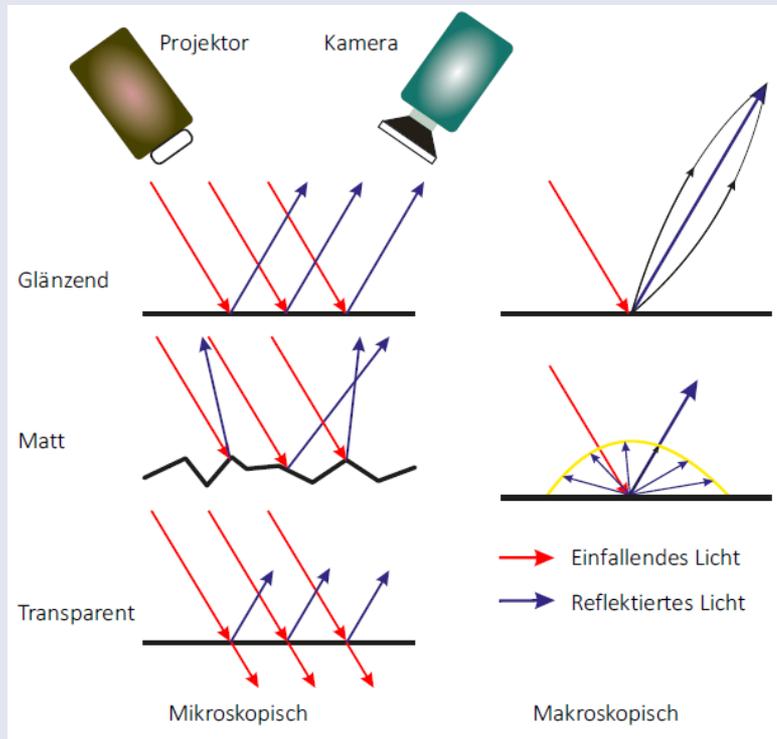


Lichtschnittverfahren

- **Lichtschnittverfahren** - Vermessungsmethode, bei der ein Höhenprofil durch die Projektion einer Lichtlinie entsteht
- Basiert sich auf Triangulation
- Oberfläche entsteht von den vernetzten Einzelscans
- Bedingungen:
 - ausreichende Überlappung der Einzelscans
 - Vorhandensein von eindeutigen Merkmalen
 - ausreichende Punktedichte



Lichtschnittverfahren – verschiedene Ergebnisse

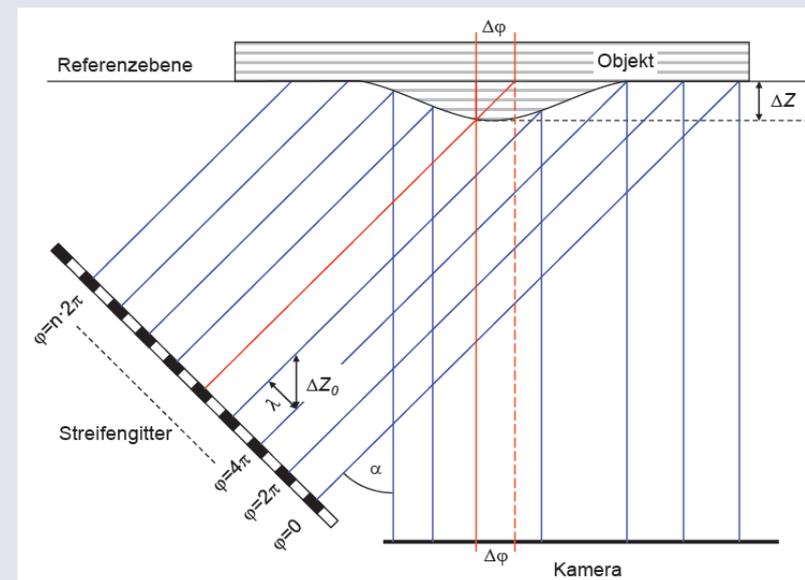


Statische Projektion

- Projiziert wird fest angebrachter Streifengitter
- Das Streifengitter besitzt eine periodische Struktur (rechteck- oder sinusförmige Helligkeitsverteilung mit konstanter Wellenlänge λ).
- Die Messung der Phasendifferenz $\Delta\phi$ kann durch Auszählen der Streifennummer und Lokalisieren der Gitterlinie im Bild erfolgen

$$\Delta Z = \frac{\Delta\phi}{\tan \alpha}$$

- Die Messmethode für stetige Oberflächen geeignet, die eine eindeutige Streifenzuordnung erlauben.



Phasenshiftverfahren

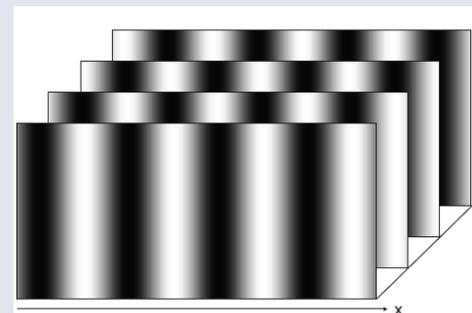
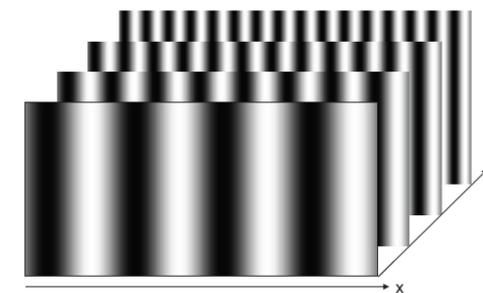
- Phasenmessung mittels abgebildeten Intensitätswerten
- Streifenmuster = Interferogramm

$$I(x, y) = I_0 (1 + \gamma(x, y) \cos(\delta(x, y) + \phi_m))$$

- Geschätzte Parameter
 - I_0 : Gleichlicht- oder Hintergrundintensität
 - $\gamma(x, y) \phi_m$: Streifenmodulation
 - $\delta(x, y)$: Phase
 - ϕ_m Phasendifferenz

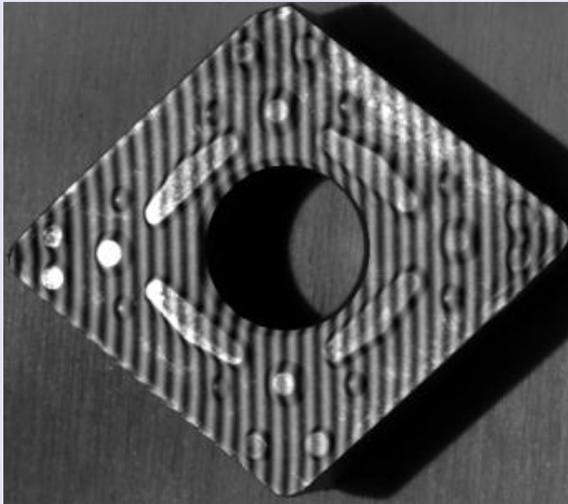
- Oberflächenprofil:

$$Z(x, y) = \frac{\lambda}{2 \cdot 2\pi} \delta(x, y)$$

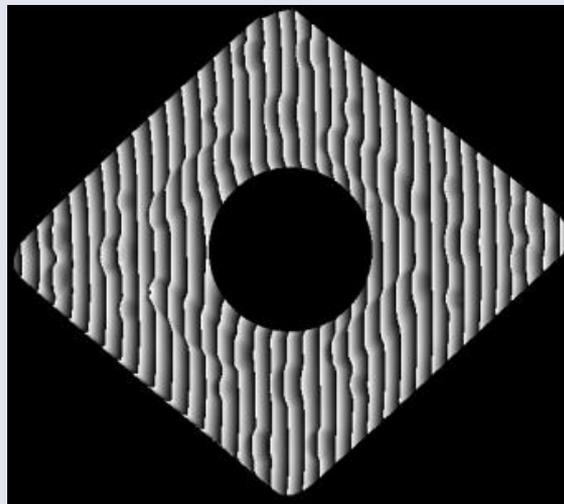
a) Phasenverschiebung mit $m = 4$ 

b) Sinusmuster verschiedener Wellenlängen

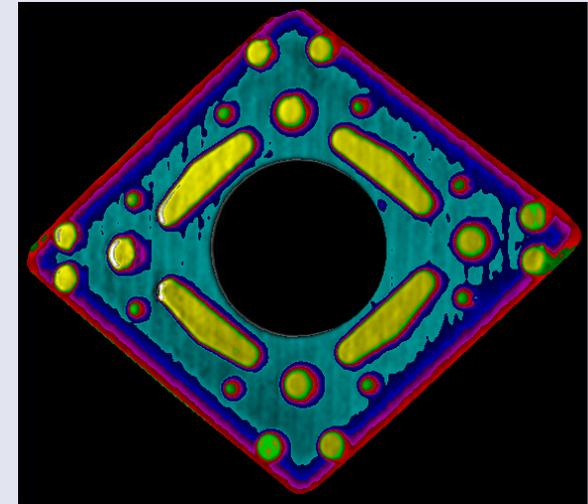
Ergebnisse des Phasenshiftverfahrens



Objekt mit Streifenprojektion



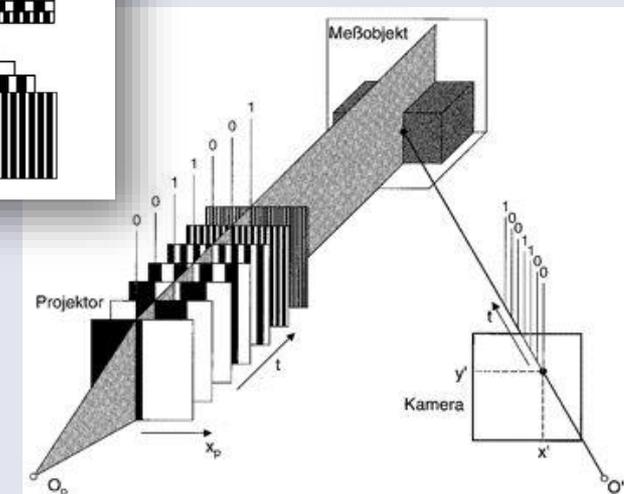
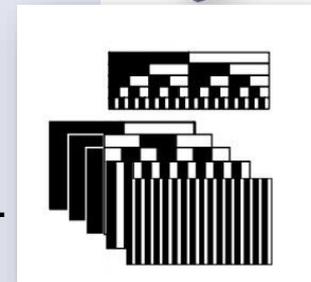
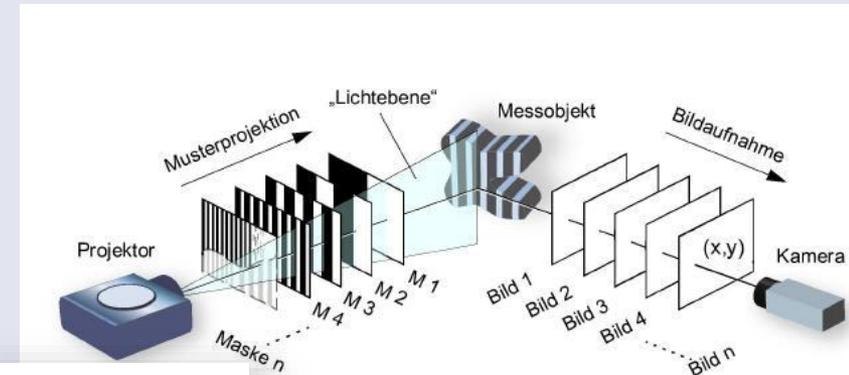
Phasenbild



Demoduliertes Höhenmodell

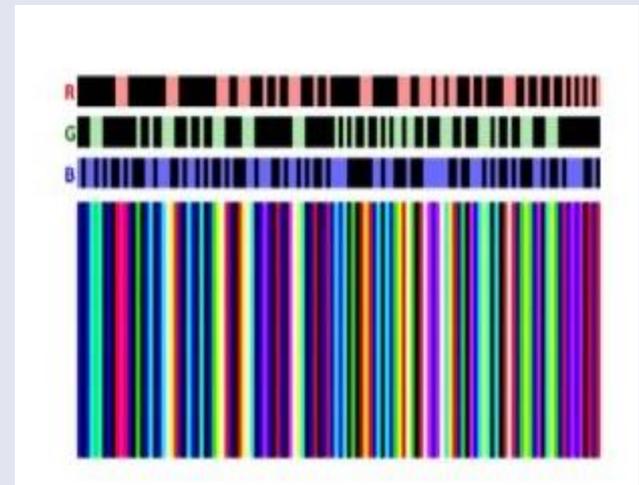
Binärcodierter Lichtansatz

- Phasenshiftverfahren nutzt eine Sequenz von den schwarz-weißen Mustern
- Idee: Kodierung der Pixelposition in Sensormatrix mittels Intensitätswertensatzes in der Folge von Musterprojektionen:
 - Von der Musterfolge wird eine Binärkode (scharz-weiß, bit-Zeile) generiert;
 - Diese Kode ermittelt die Position (=Koordinaten) des Pixels in der bit-Zeile.
 - Variativ: Binärmustershift, Grey-Kode
- Die Ergebnisse sind resistent gegen Objektfarbe
- Wichtig: statische Objektaufnahme



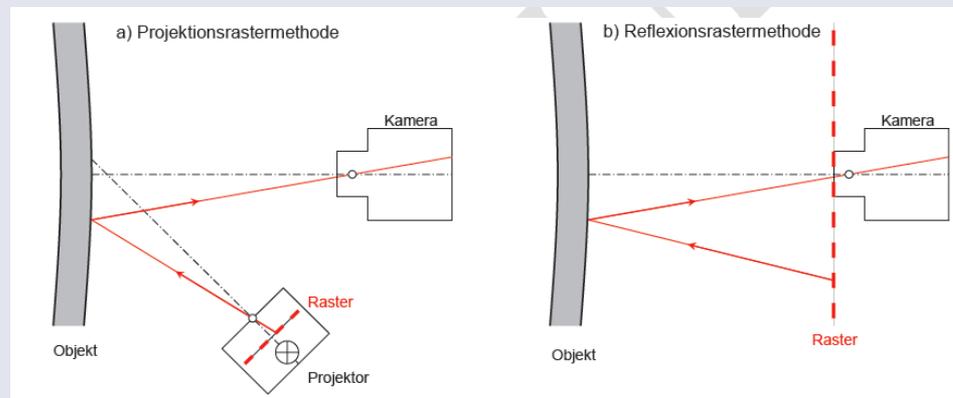
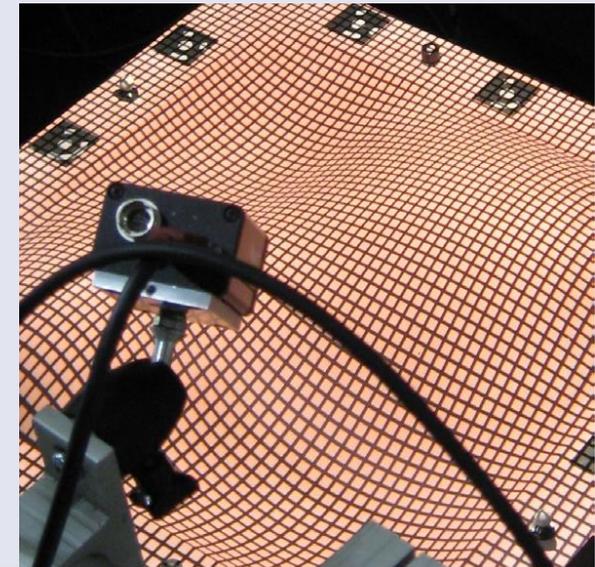
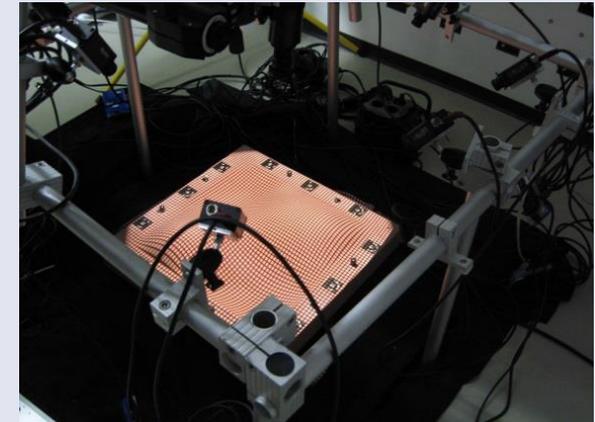
Farbkodierter Lichtansatz

- Bei der kodierten Lichtansatz wird nur ein Muster verwendet: Matrix mit 128 6-farbigen Streifen
- Die Position jedes Pixels wird durch die RGB-Werte vom o.g. Pixel und seinen Nachbarpixeln kodiert.
- Wichtig
 - minimale Nachbarschaft (Anzahl der Pixel in der Nachbarschaft)
 - Minimale Anzahl unterscheidender Farben (für die robuste Bestimmung jeder einzelner Farbe).
- Formerfassung:
 - Detektion der Farbstreifen
 - Schätzung des Streifenzentrums
 - Farbenclustering für einzelne Oberflächenstücke
- **Vorteil:** Erfassung von den bewegenden Objekten
- **Nachteil:** Sensibilität zur Dekodierung des Farbmusters relativ zu Objektstruktur und Farbe



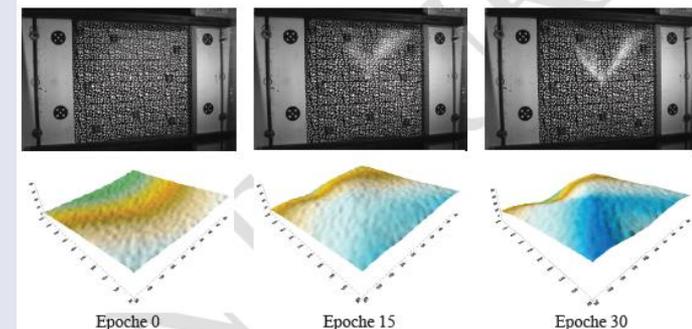
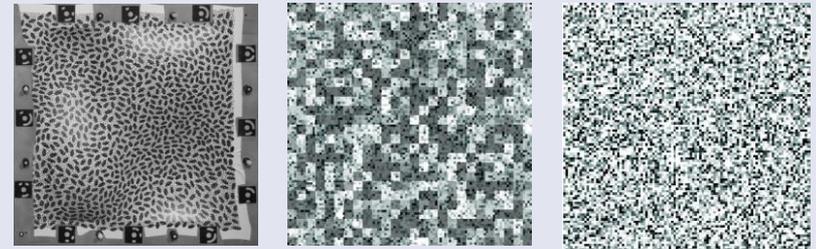
Punktbasiertes Musterverfahren

- Auf Objekt wird ein Rastergitter projiziert
- Generierung des Referenzrasters:
 - durch ein auf der Objektoberfläche verkörpertes Raster;
 - durch seitliche Projektion eines Rasters
 - durch Reflexion eines Rasters
- Oberflächenmodell – aus Verformung des Rasters gegenüber einer Referenzlage



Stochastisches Musterverfahren

- Verwendet werden:
 - Zufallsmuster
 - Texturfolien
- Muster sind so gewählt, dass sie
 - über einen hohen Objektkontrast verfügen,
 - Grauwertkanten (Gradienten) in allen Richtungen besitzen
 - in unterschiedlichen Bildmaßstäben bzw. Auflösungsstufen messbar sind
- Auswertung der Bilder
 - Stereo- oder
 - Mehrbildphotogrammetrie.



Messsysteme

Messsysteme

Einkamerasystem

Zweikamerasystem
(Stereosystem)

Mehrkamerasysteme

Methoden der
Stereophotogrammetrie

Methoden der
Mehrbildphotogrammetrie,
basierte auf
Bündelblockausgleichung

Einkamerasystem

- Das System besteht aus einem Projektor und einer Kamera
- Triangulationsbasiert
- Kamera und Projektor müssen kalibriert und räumlich zueinander orientiert sein (bekannte Position zu einander, bestimmt über die Passpunkte/Marken)
- Das typische Messvolumen:
 $0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$
 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$



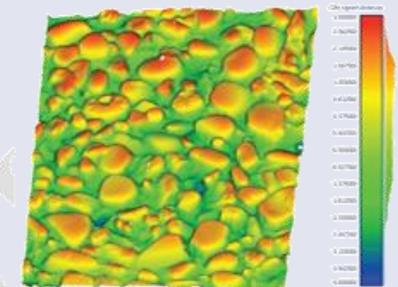
a) Streifenprojektionssystem Vialux



b) Projektion mit großen Streifenabständen

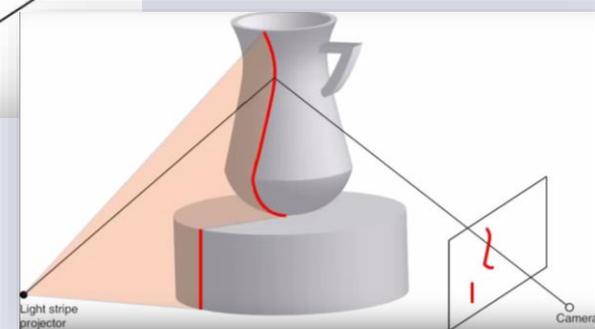
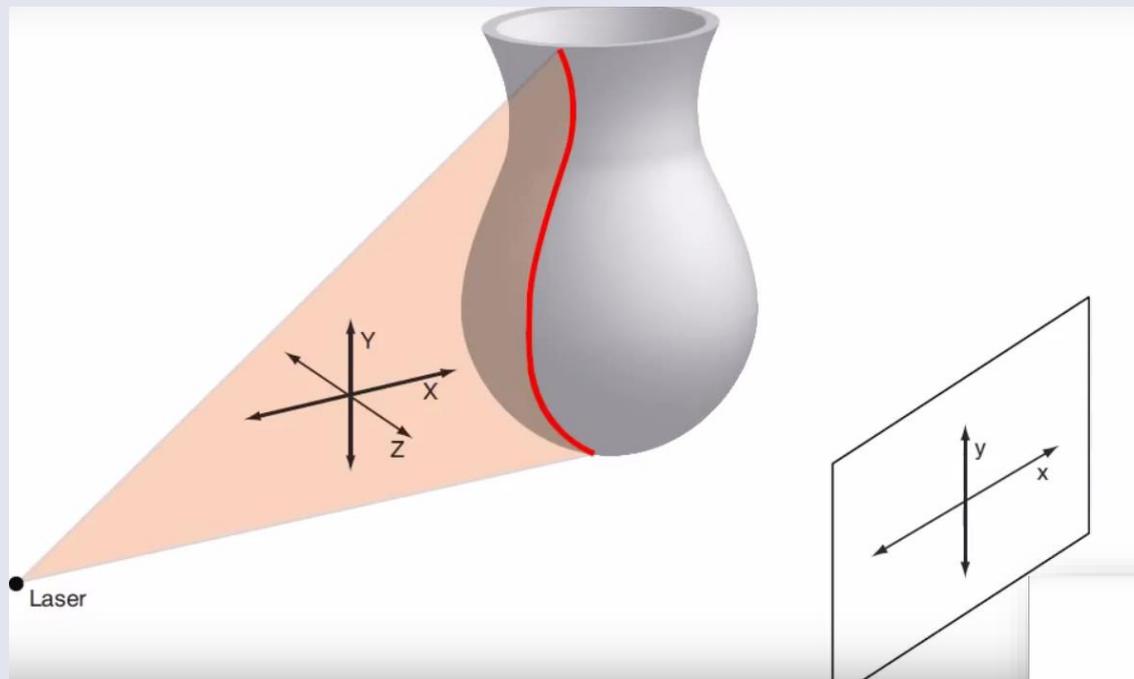


c) Projektion mit kleinen Streifenabständen



d) 3D-Messergebnis

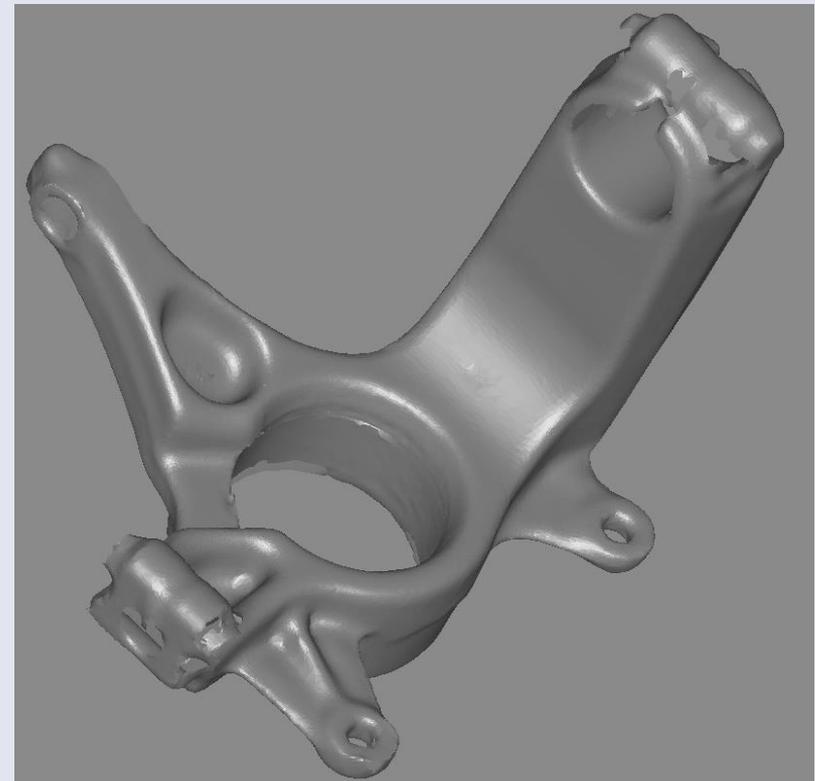
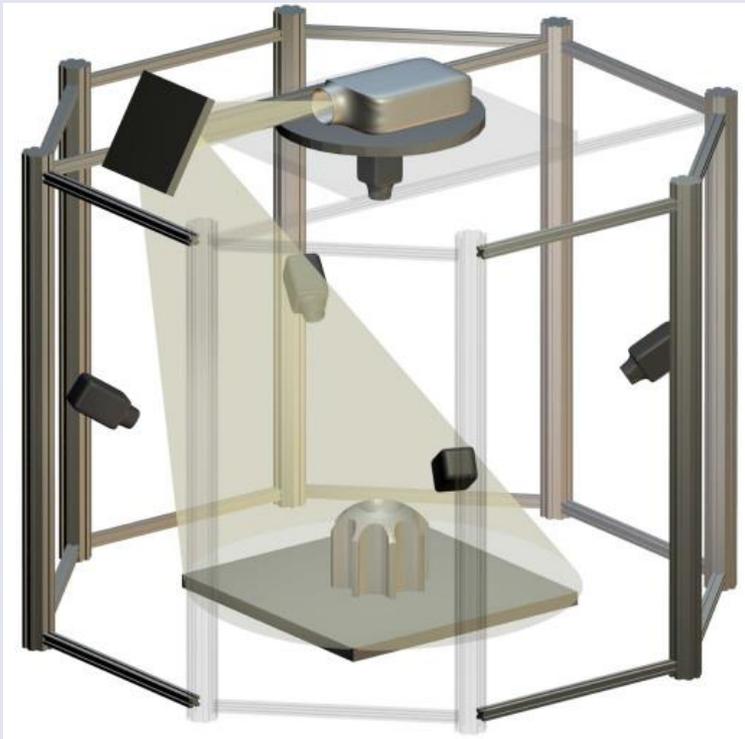
Einkamerasystem mit Lichtschnittverfahren



Mehrkamerasysteme

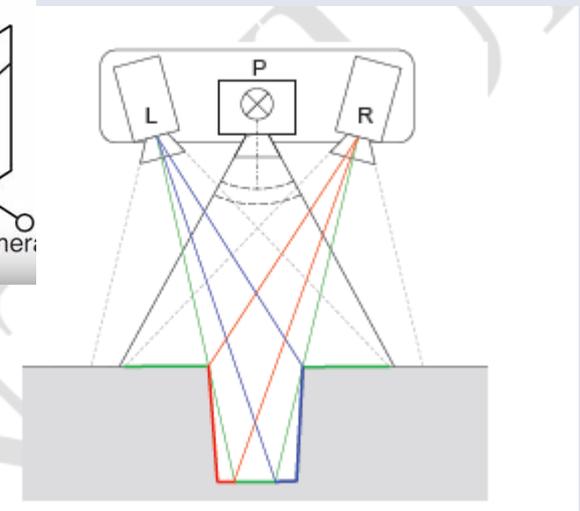
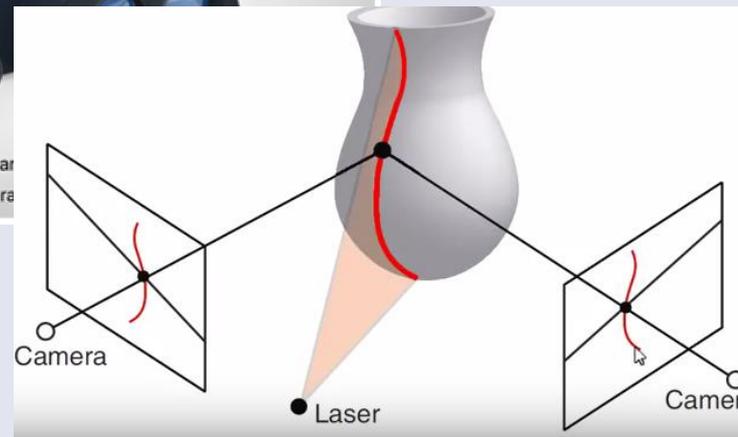
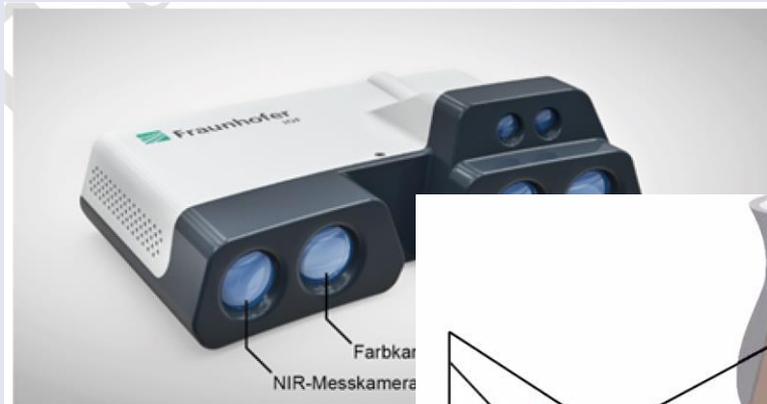
- Verwendet mehrere Kameras
- Vorteile:
 - geringere Messunsicherheit durch höhere Redundanz (Anzahl Kameras);
 - höhere Robustheit gegenüber Überstrahlungseffekten und Verdeckungen;
 - keine zwingende Einbeziehung der geometrischen Parameter der Beleuchtung (Projektor) in die Oberflächenberechnung
 - höhere Flexibilität bezüglich verschiedener Messaufgaben durch Variation der projizierten Muster und der gegenseitigen Anordnung von Projektor und Kameras.
- Lösungssatz für die Berechnungen: Bündelausgleichungen

Mehrkamerasystem

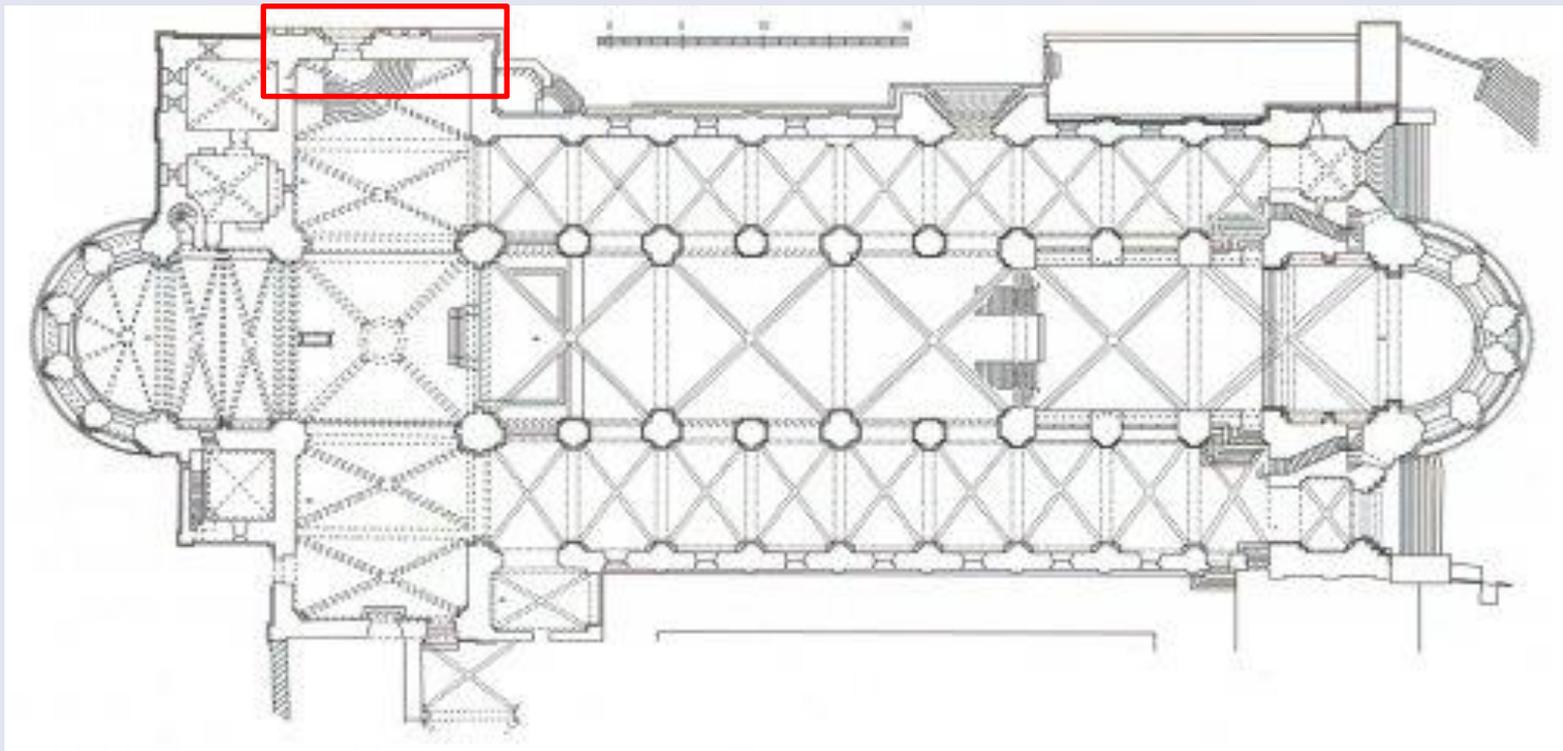


Zweikamerasystem – Sonderfall der Mehrkamerasysteme

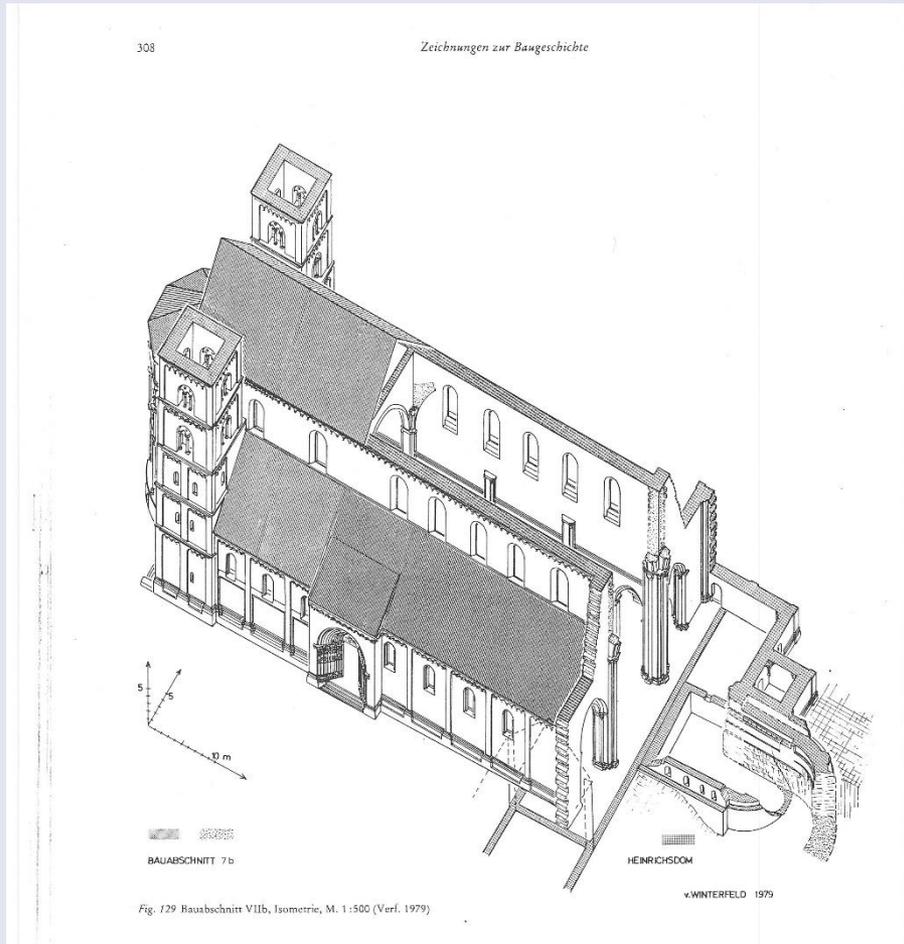
Verwendet werden die Methoden der Stereophotogrammetrie und Epipolargeometrie



Angewandtes Beispiel : St Veits Pforte Bamberger Dom



<https://www.hdbg.eu/karten/karten/detail/id/16>



Ca 1226/1227
Grosses Feuer

St. Veits Portal, 1231

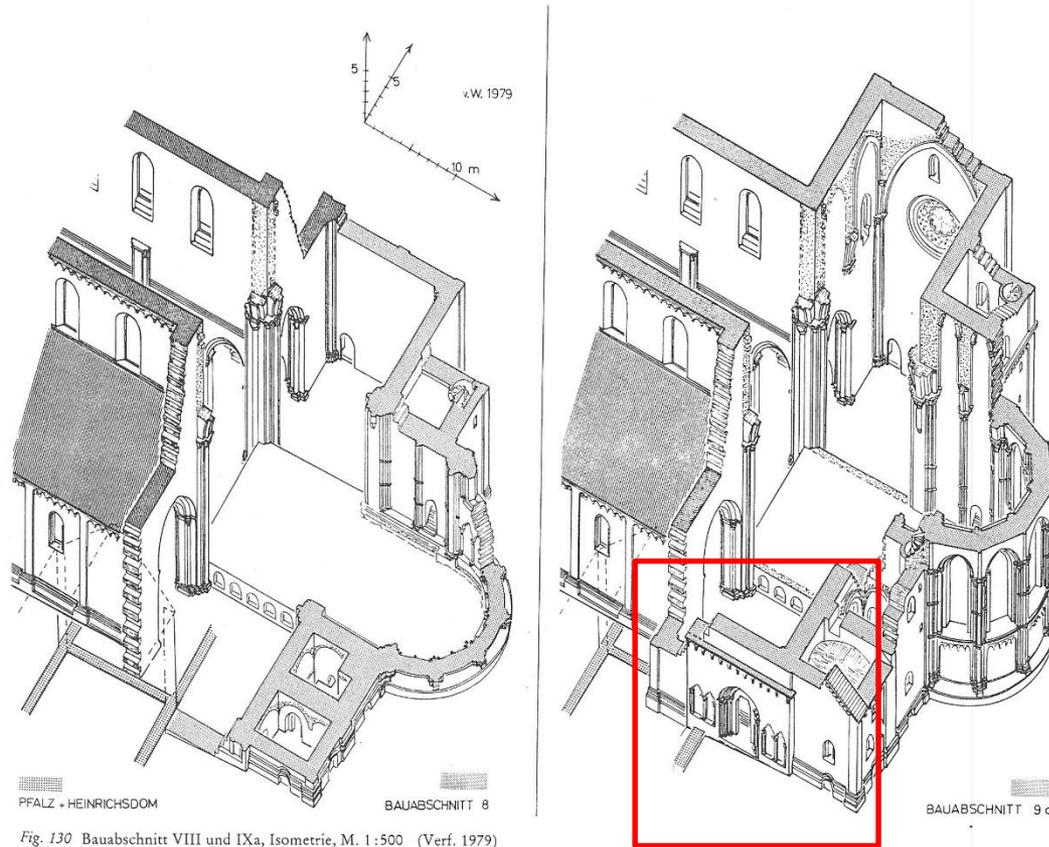


Fig. 130 Bauabschnitt VIII und IXa, Isometrie, M. 1:500 (Verf. 1979)

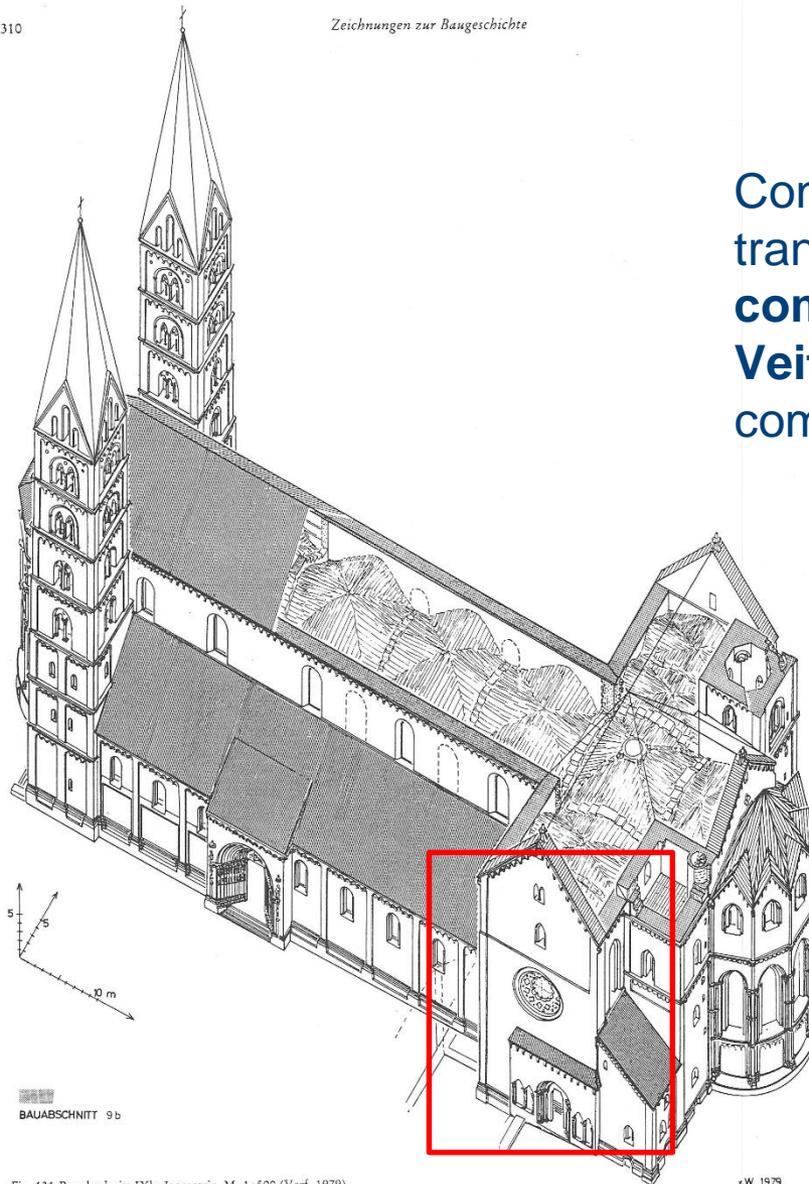
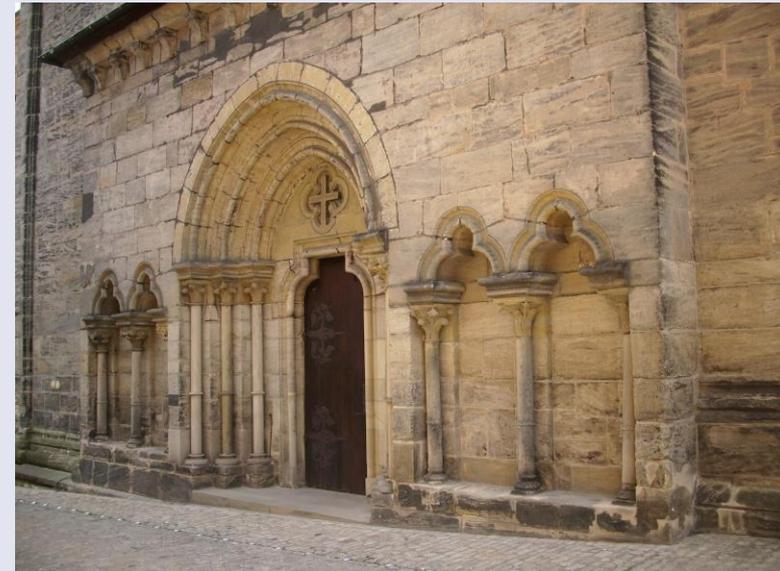


Fig. 131 Bauabschnitt IXb, Isometrie, M. 1:500 (Verf. 1979)

Consecration or Altar in the south transept dated at 1229, **1231 completion of north transept (& St Veits portal)**, 1237 consecration of the complete cathedral

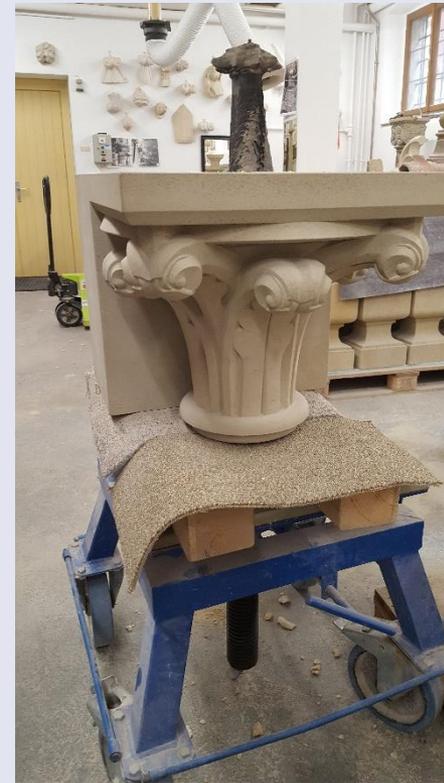


http://www.kathpedia.com/index.php?title=Datei:Bamberg_-_Dom_-_Veitspforte.JPG

Objekt am Bau – in situ



Dombauhütte – 3D Druck mit Plastilin aufmodelliert, Steinmetztechnisch geschlagen



3D Scannen an der Veitspforte



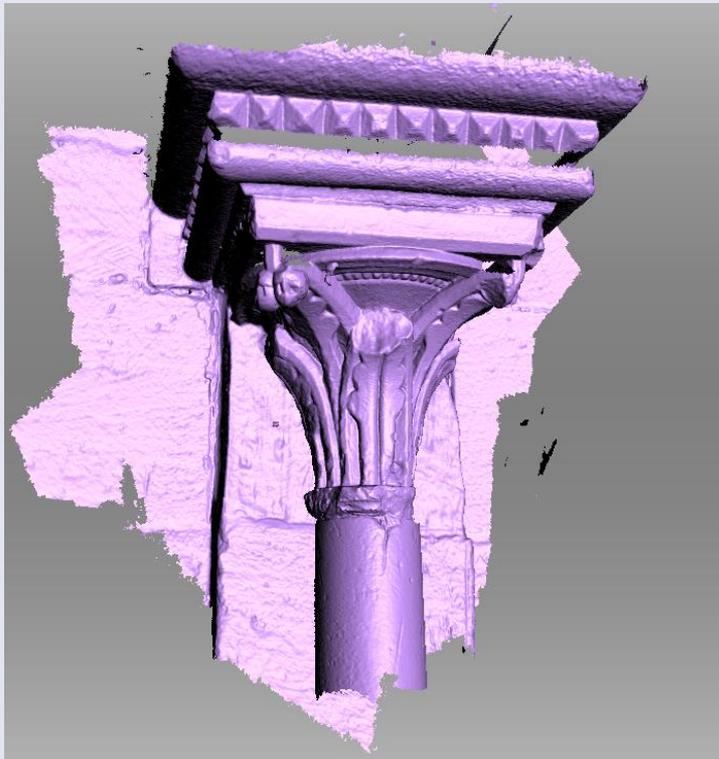
3D Scannen an der Veitspforte



3D Scannen an der Veitspforte



Mittleres Kapitell - 3D scanning



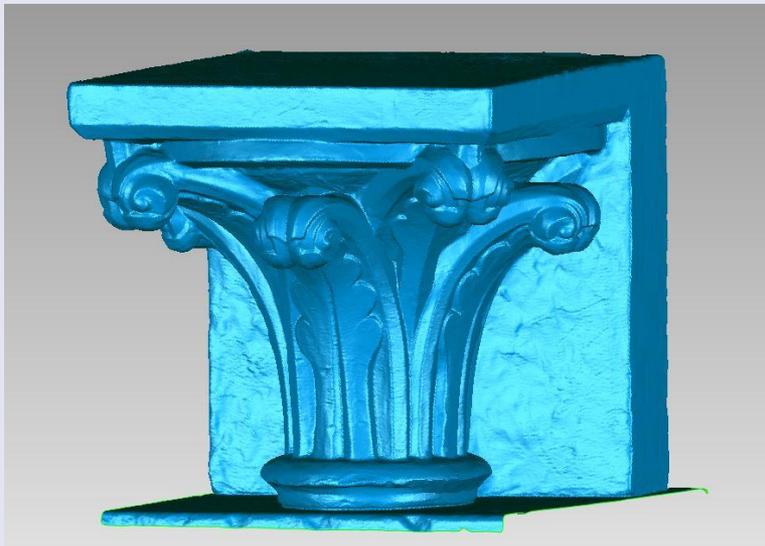
Y:\3Dimaging_CloseRangeLaserScanning\CapitalStVeits_Middle_Original\Group2PMRawSharpFusion_Mona__OriginalLeftCapitalStVeits

Mittleres Kapitell mit Structure from Motion / Photogrammetrie



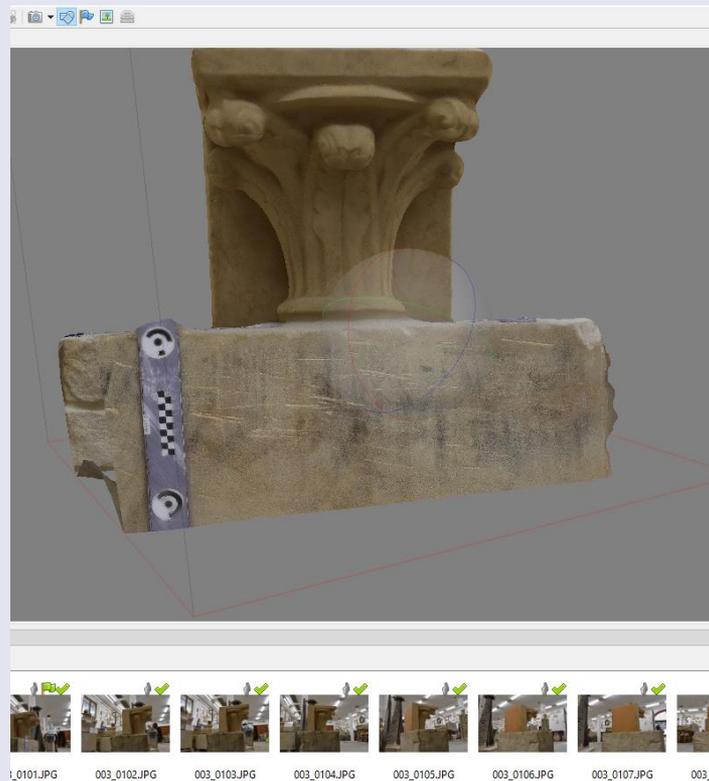
Y:\3Dimaging_Photogrammetry\Klinke\3D-DATA\KAPITELL_MIDDLE_KLINKE_5.psx

Mittleres Kapitell als Reproduktion mit 3D Druck und Plastilin: 3D Nahbereichs-Scannen



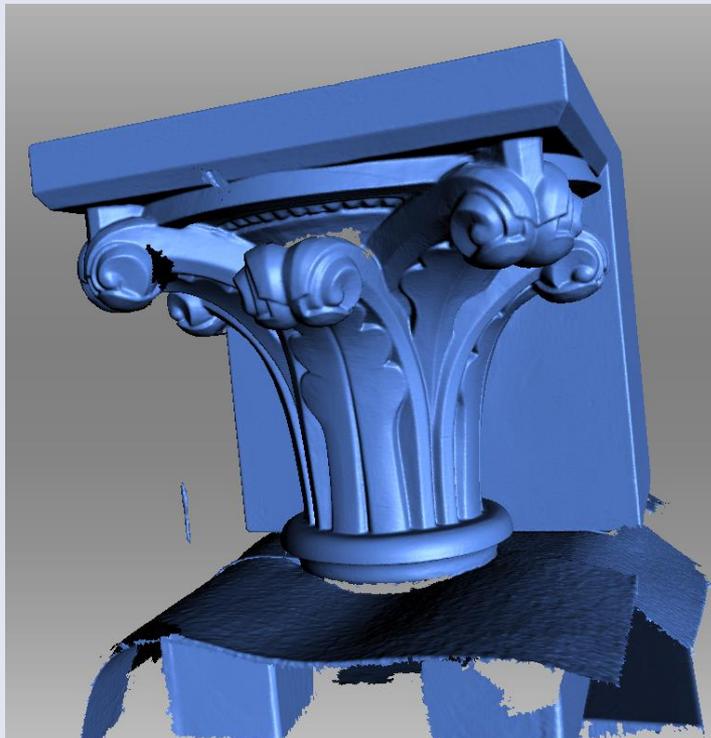
Y:\3Dimaging_CloseRangeLaserScanning\CapitalStVeits_Middle_3DprintRepro\Group3AMModel_postproMona_3DprintReproCapitalStVeitsMiddle

Mittleres Kapitell Reproduktion: SfM



Y:\3Dimaging_Photogrammetry\JocelynSonia_3DPrintRepro

Mittleres Kapitell Steinmetzmässig: 3D Scan



Y:\3Dimaging_CloseRangeLaserScanning\CapitalStVeitsMiddle
_Stonemason\Group3PM_StonemasonCapitalStVeitsMiddle

Mittleres Kapitell Steinmetzmässig: SfM

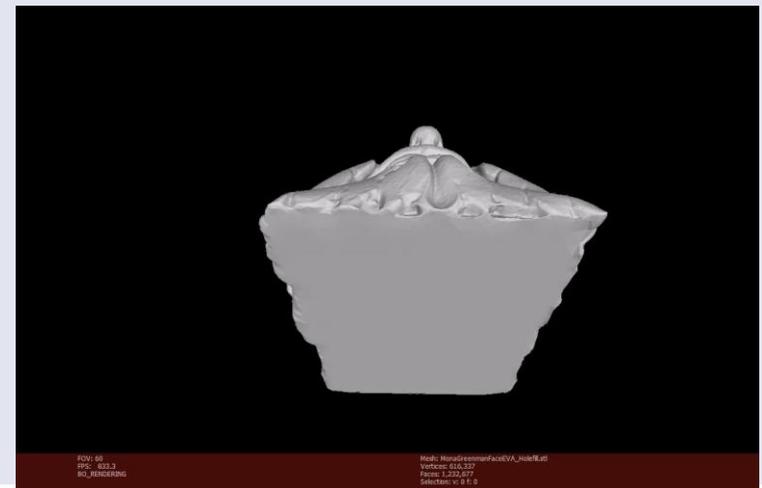
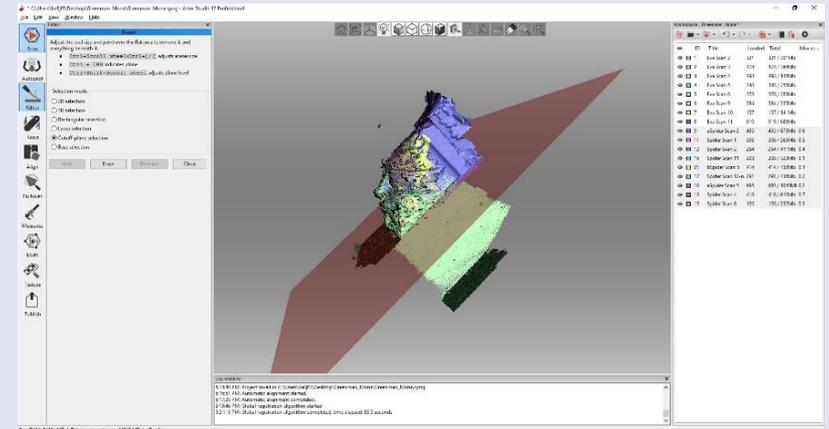
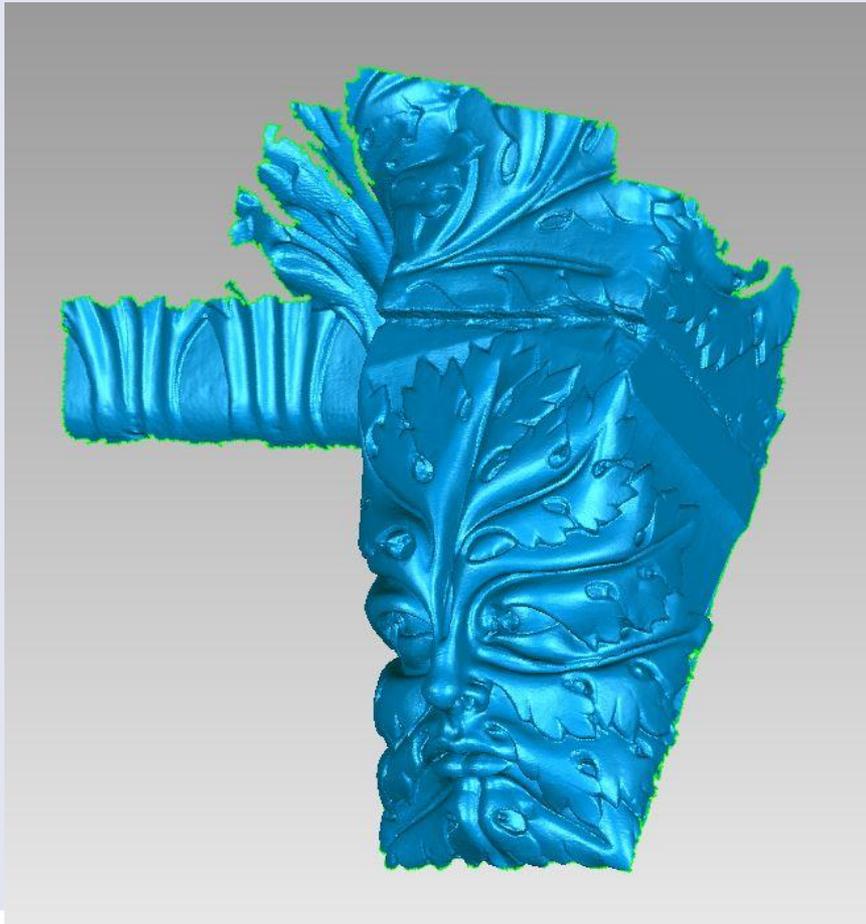


Y:\3Dimaging_Photogrammetry\JocelynSonia_StoneRepro\Jocelyn_StoneRepro

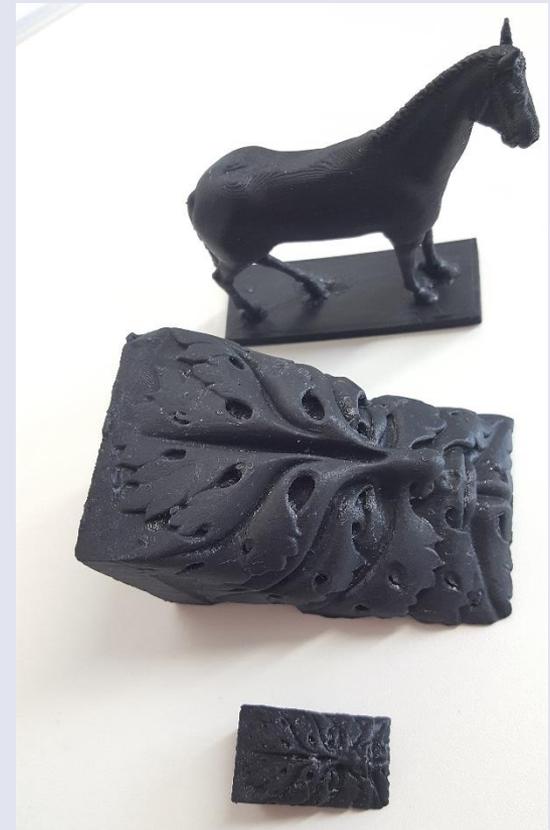
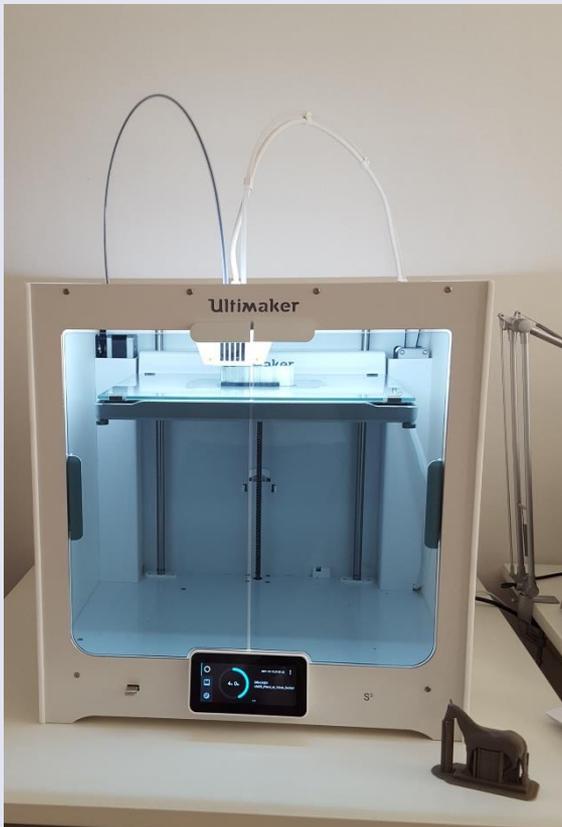
Digitalisierung von Objekten am Gebäude Grüner Mann, Bamberger Dom, Summer school Monitoring Heritage 2018



Nachbearbeitung von 3D Scans



3D Drucken von Objekten

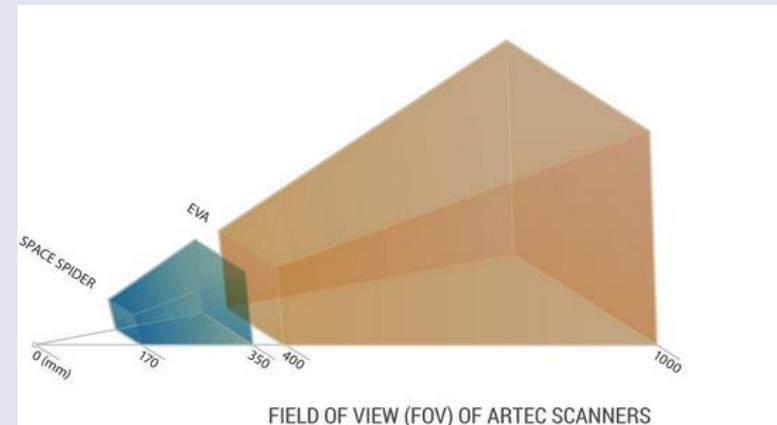


Artec Scanner Specs und Wirkungsweise



Space Spider specifications

Ability to capture texture	Yes
3D resolution, up to	0.1 mm
3D point accuracy, up to	0.05 mm
3D accuracy over distance, up to	0.03% over 100 cm
Warm up period for achieving maximum accuracy	3 minutes
Texture resolution	1.3 mp
Colors	24 bpp
Light source	blue LED
Working distance	0.2 – 0.3 m
Linear field of view, HxW @ closest range	90 mm x 70 mm
Linear field of view, HxW @ furthest range	180 mm x 140 mm
Angular field of view, HxW	30 x 21°
Video frame rate, up to	7.5 fps
Exposure time	0.0002 s
Data acquisition speed, up to	1 000 000 points/s



<https://www.artec3d.com/files/pdf/Space-Spider-Booklet-EURO.pdf>

Vorbereitung Praktikum:

Bitte nutzen Sie Ihren PC für die Recherche –
erzählen Sie mir etwas über den Artec
Scannertypen und wo ich diese Nutzen kann

- <https://www.artec3d.com/3d-scanner>
- <https://www.objective3d.com.au/handheld-3d-scanners/>

- Wie lang dauert es und wie teuer ist es?
- Was ist ein 3D Scanner?
- Was ist Artec? Wofür steht die Bezeichnung?
- Was brauche ich zum Scannen? Gibt es einen Turntable?
- Wie ist das Funktionsprinzip?
- Wieviele Punkte werden aufgenommen?
- Was ist die Auflösung? Was ist die Ungenauigkeit?
- Wieviele Punkte werden aufgenommen?

- Muss es dunkel sein während ich scanne?
- Kann ich Farbe aufnehmen?
 - Wenn Ja wie ist die Auflösung?
 - Wie gut ist die Farbe?
- Wieviel Oberfläche wird aufgenommen?
- Wofür kann ich diese Modell verwenden?
- Welche Software brauche ich für die Nachbearbeitung?
- Was kann ich dann mit den Modellen machen?
Was kann ich exportieren?



Low cost 3D: Structured light using a fixed pattern projection

P 253-254 Low Cost Consumer-grade range 3D cameras Luhmann, Thomas, Stuart Robson, Stephen Kyle, and Jan Boehm. *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. 2nd ed. Berlin, Boston: De Gruyter, 2013. <https://doi.org/10.1515/9783110302783>.

Boehm, J. "Natural User Interface Sensors for Human Body Measurement." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B3* (August 1, 2012): 531–36. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-531-2012>.

ASUS Xtion Pro

[http://www.asus.com/
Multimedia/Xtion_PR
O_LIVE/](http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/)



Image: Jan Boehm , Senior Lecturer, UCL CEGE

NUI Sensor Packages

- Microsoft Kinect
 - PrimeSense PSDK 5.0
 - ASUS Xtion Pro Live
 - ASUS Xtion Pro
-
- “Mechanical” packaging differs



Slide: Jan Boehm , Senior Lecturer, UCL CEGE



Field of View (Horizontal, Vertical, Diagonal)	58° H, 45° V, 70° D
Depth Image Size	VGA (640x480)
Operation range	0.8m-3.5m
Spatial x/y resolution (@2m distance from sensor)	3mm
Maximal image throughput (frame rate)	60fps

Table 1. Specifications of the PrimeSense reference sensor design as given by the manufacturer.

...single depth frame is quite low at only VGA resolution (640 x 480), this number has to be seen in relation to the frame rate. If we multiply the number of points of a single frame with the frame rate of 30 frames per second we receive a sampling rate of 9.216.000 points per second. This outperforms current terrestrial laser scanners by an order of magnitude.

Artec Spider > 1 Mio points/sec
 Breuckmann /Zeiss T-scan is 210.000 points/sec
 Breuckmann/ Zeiss L3D

Sketchfab

- <https://sketchfab.com/categories>
- <https://sketchfab.com/categories/cultural-heritage-history>
- <https://blog.sketchfab.com/>
- <https://blog.sketchfab.com/category/contest/>

Literatur

- Verband deutscher Ingenieure. VDI/VDE 2617- Blatt 6.2:2007 - Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten. Kenngrößen und deren Prüfung. Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren. 2007.
- Luhmann T. Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 3 edition. Berlin: Wichmann, H; 2018. 668 p.
- Stylianidis, Efstratios; Remondino, Fabio (2016): 3D recording, documentation and management of cultural heritage. Caithness: Whittles Publishing. Available online at <https://ebookcentral.proquest.com/lib/ub-bamberg/detail.action?docID=4710342>