

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik



Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann
Jade Hochschule, Oldenburg
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik

Campustag
Jade Hochschule Oldenburg
2. Juni 2022

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

- Einführung
- 3D-Messverfahren
- Photogrammetrie
- Anwendungsbeispiele
- Studium und danach

Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

3D-Fernsehen



3D-Kino



Computerspiele



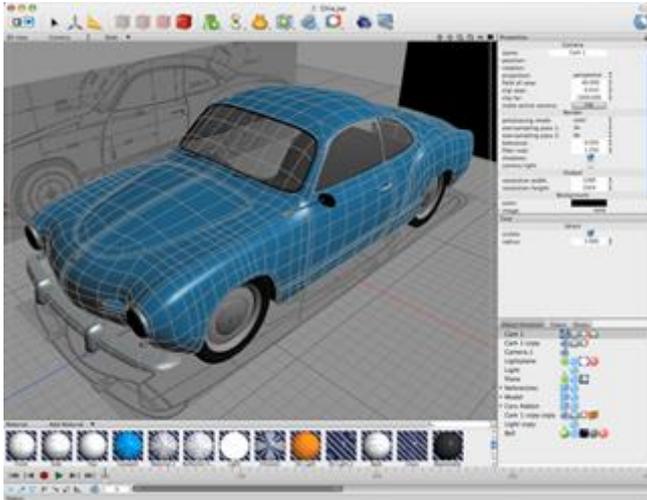
Fahrzeugnavigation

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

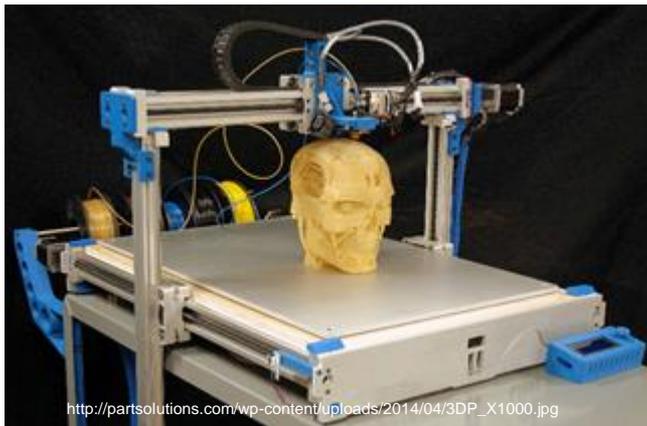
Konstruktion und Design



Medizinische Diagnostik



<http://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm416312.htm>



http://partsolutions.com/wp-content/uploads/2014/04/3DP_X1000.jpg



3D-Drucker

3D-Stadtmodelle

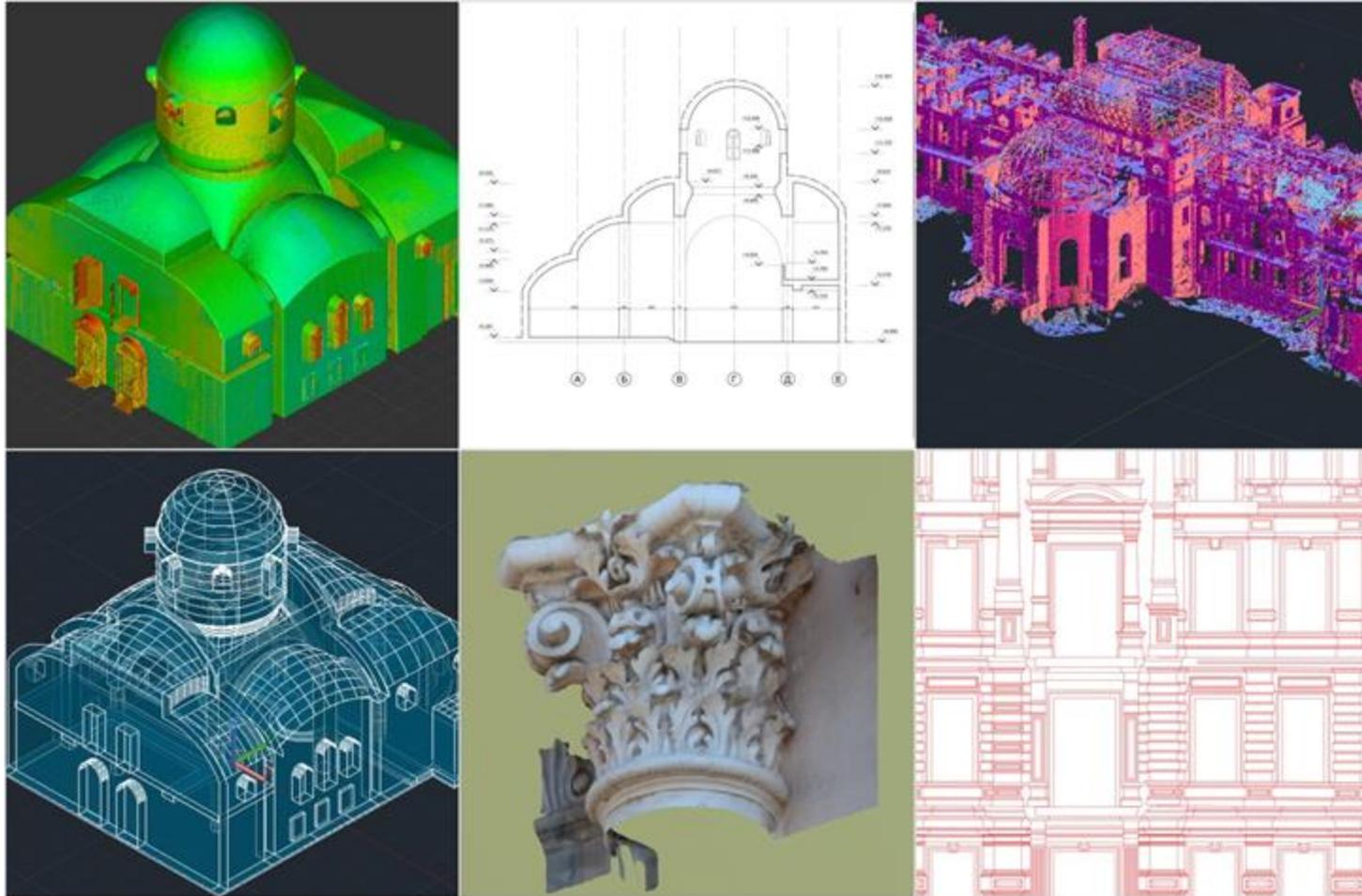
T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

Architektur und Bauwesen



Rekonstruktion von Monumenten und Skulpturen

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

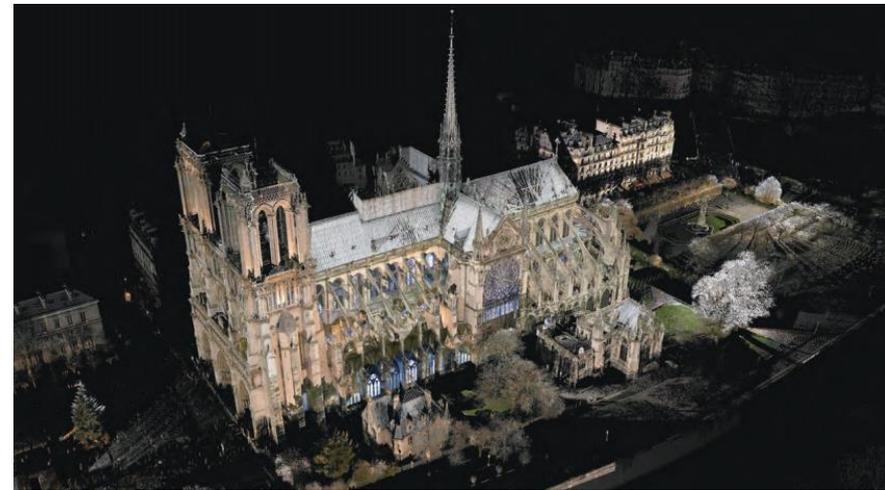
Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

Archäologie und Denkmalpflege



Wiederherstellung der Dresdner Frauenkirche



3D-Laserscanning der Notre Dame, Paris

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

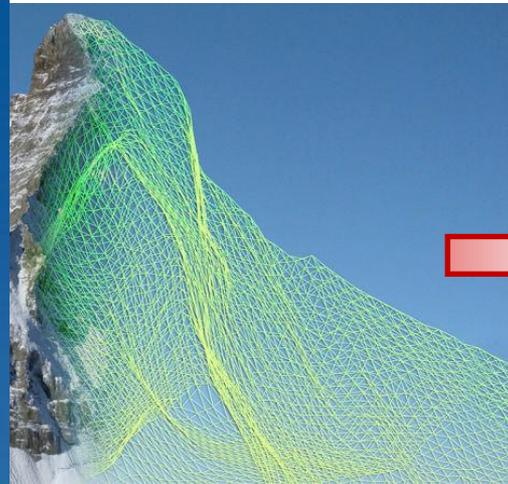


3D-Messverfahren

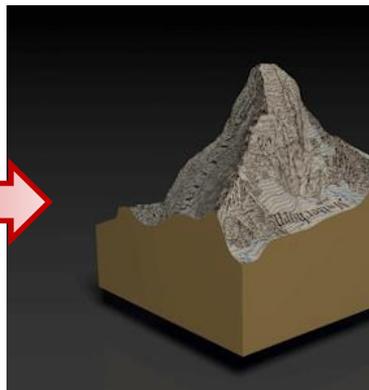
Datenprozesse



Objekt



D-Daten



3D-Modell



Reproduktion

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Messverfahren

Taktile Messverfahren

Koordinatenmessgerät



- stationär
- kleines Messvolumen
- hochgenau ($1\mu\text{m} - 10\mu\text{m}$)
- Messung mit Antastkugel
- Einzelpunkte

Messarm



- mobil
- kleines Messvolumen
- genau ($20\mu\text{m} - 100\mu\text{m}$)
- Messung mit Antastkugel
- Einzelpunkte

Laser Tracker



- mobil
- großes Messvolumen
- hochgenau ($10\mu\text{m} - 50\mu\text{m}$)
- Messung mit Reflektoren
- Einzelpunkte

T. Luhmann

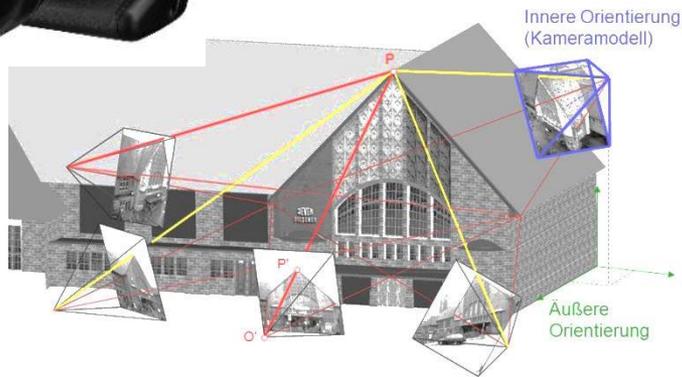
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Messverfahren

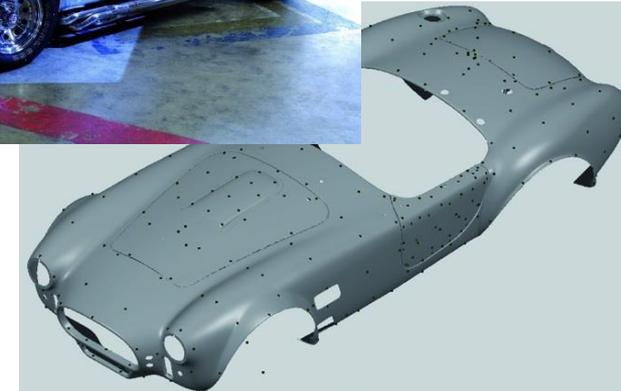
Berührungslose (optische) Messverfahren

Photogrammetrie



- beliebige Kameras
- beliebiges Messvolumen
- Bildzuordnung (matching)
- 3D-Punktberechnung (Triangulation)
- Einzelpunkte und Oberflächen

Streifenprojektion



- Projektor + Kamera(s)
- begrenztes Messvolumen
- schnelle Messung
- Phasenmessung (Interferometrie)
- Oberflächen

T. Luhmann

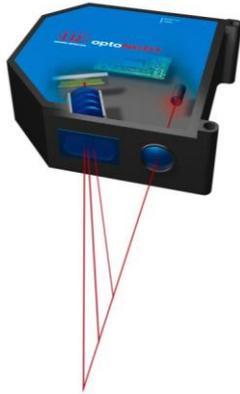
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Messverfahren

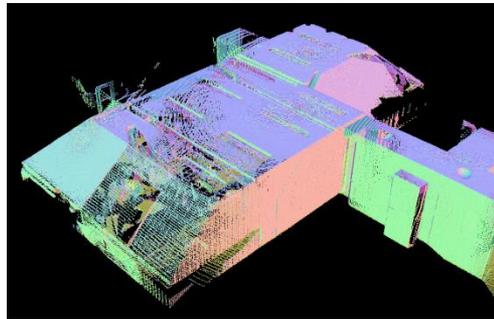
Berührungslose (optische) Messverfahren

Laser-Triangulation



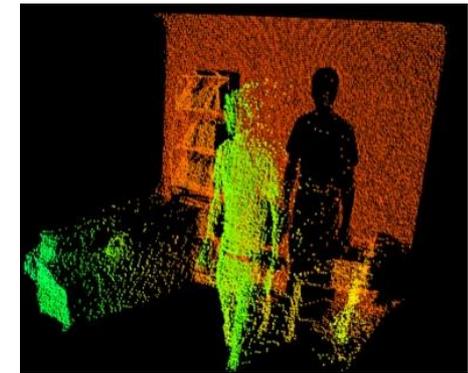
- Laser (Linie, Muster) + Kamera(s)
- Musterdetektion
- echtzeitfähig

Laser-Scanning



- Distanzmessung (Phasen, Laufzeit)
- Richtungsmessung
- für statische Objekte

Time-of-Flight Kameras



- Distanzmessung (Phasen) pro Pixel
- geringe Genauigkeit
- echtzeitfähig

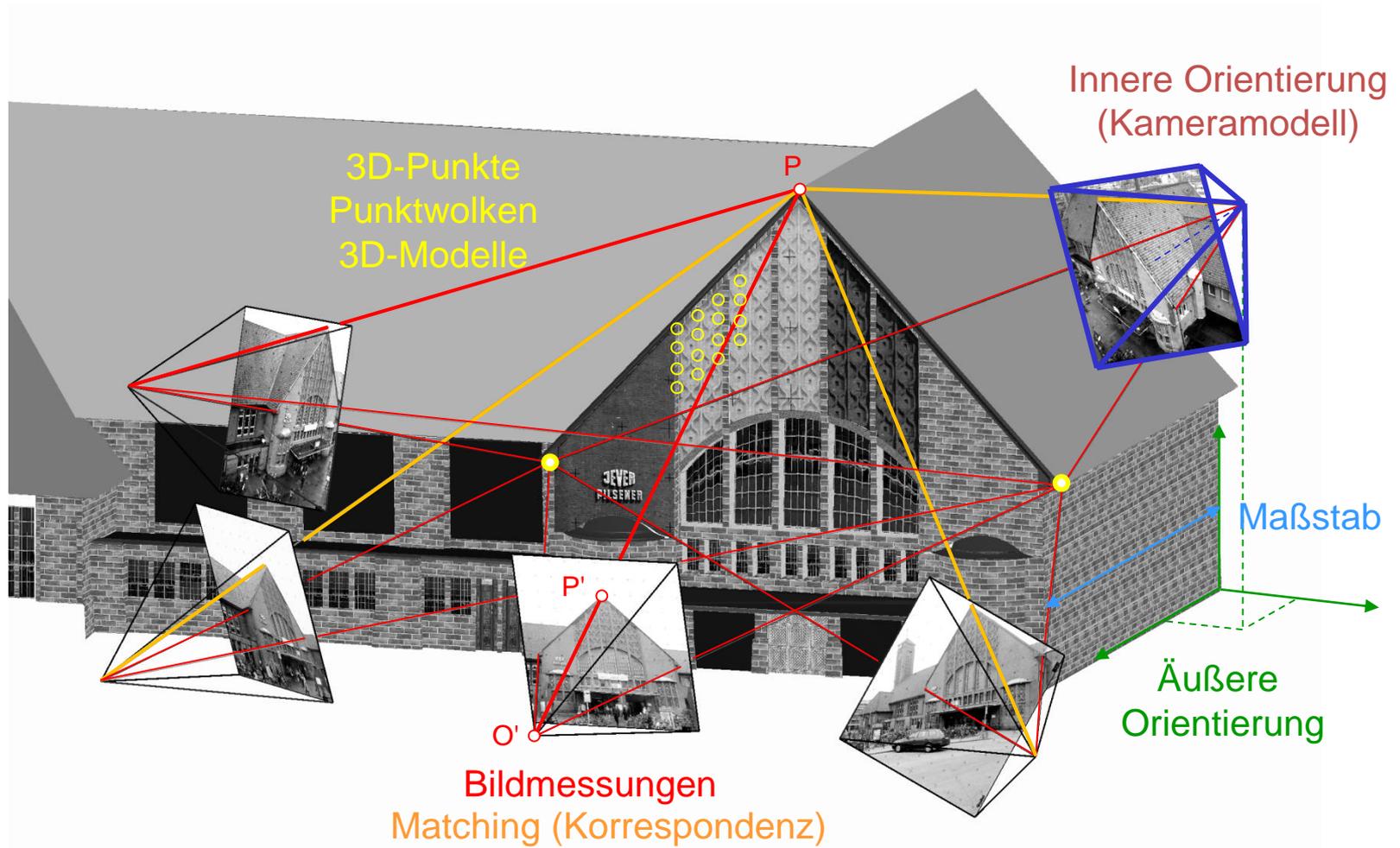
T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Messprinzip



T. Luhmann

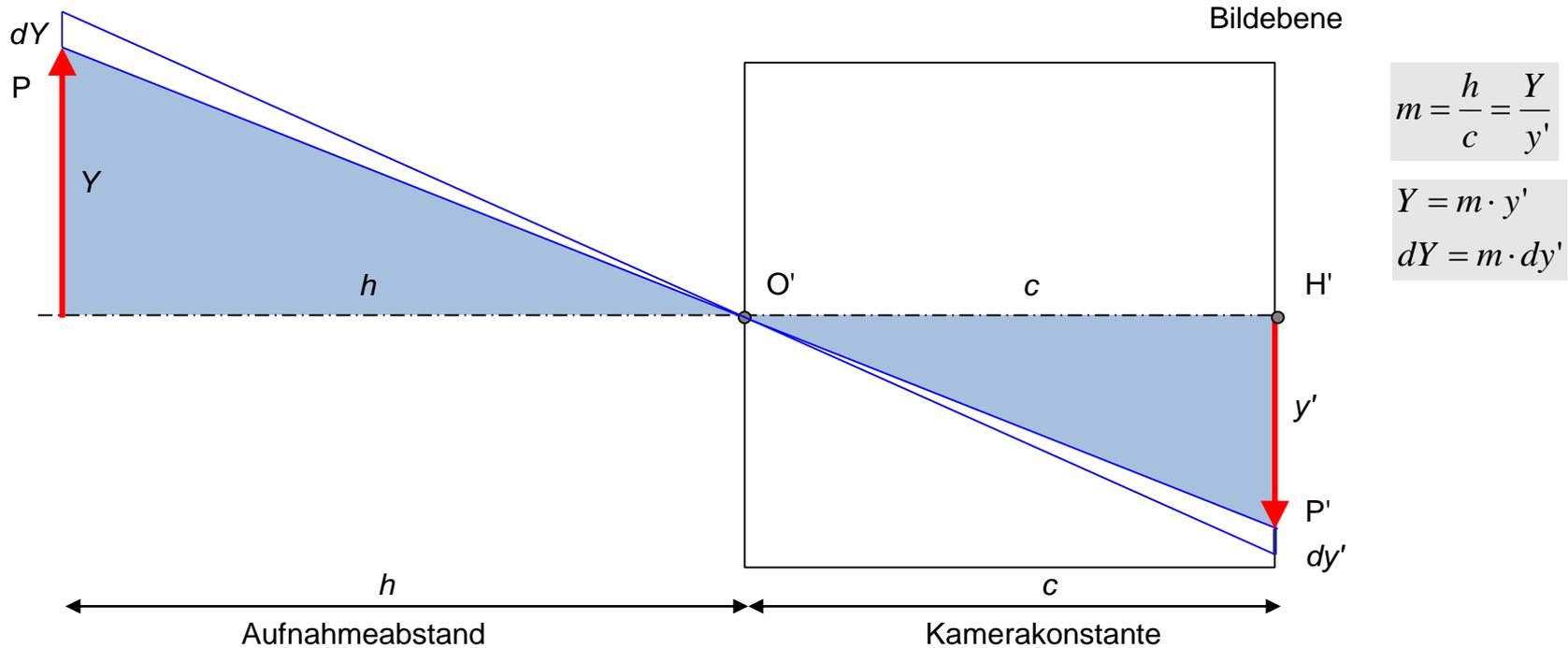
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Messsprinzip

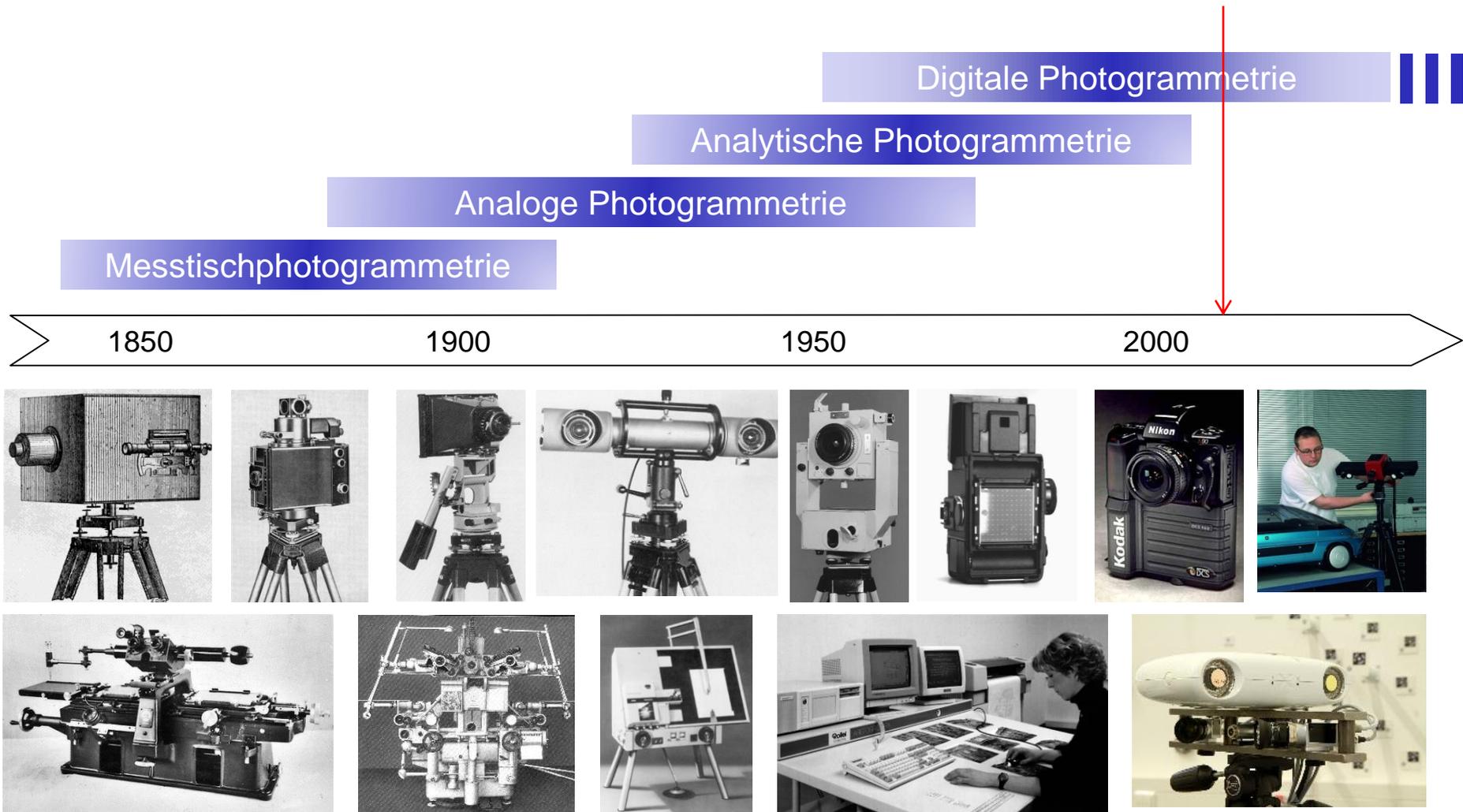
Lochkamera → Zentralprojektion



Beispiel:	Brennweite	$c = 24 \text{ mm}$	$c = 24 \text{ mm}$
	Aufnahmedistanz	$h = 20 \text{ m}$	$h = 4 \text{ m}$
	Bildmaßstab	$m = 833$	$m = 167$
	Geforderte Objektgenauigkeit	$dY = 5 \text{ mm}$	$dY = 0.1 \text{ mm}$
⇒	Zu erreichende Bildmessgenauigkeit	$dy' = 0.006 \text{ mm} = 6 \text{ } \mu\text{m}$	$dy' = 0.5 \text{ } \mu\text{m}$

Photogrammetrie

Entwicklungsphasen



Photogrammetrie

Märkte und Anwendungen

Klassische Anwendungen (Auswahl)



Topographische Anwendungen (Luftbild, UAV)



Deformationsmessungen



Denkmalpflege

Industrielle Anwendungen (Auswahl)



Automobilbau



Luft- und
Raumfahrt



Schiffbau



Robotik



Medizin

Photogrammetrie

Messaufgaben

Offline:

- 3D Punktmessungen
- 3D Profile und Oberflächen
- Form und Lage, Qualitätskontrolle
- Deformationen, Schwingungen



Quelle: GSI

Online:

- Roboterkalibrierung und -steuerung
- Kontrolle von Werkzeugmaschinen
- Inline-Messungen (100% Kontrolle)
- Steuerung autonomer Systeme
- ...



Quelle: AICON



Photogrammetrie Systeme

Punktförmig antastende Systeme



Offline Photogrammetrie



Online Bilderfassung mit
Sichtfeldprojektion



Hochgeschwindigkeits-
messung für 6DOF



Messkabine



Mehrkameraantastung
durch Vorwärtseinschneiden



Einzelkameraantastung durch
Rückwärtseinschneiden

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie Systeme

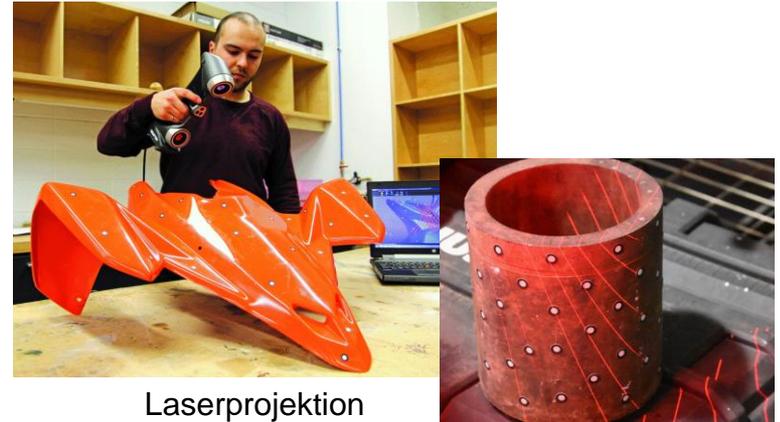
Oberflächenmesssysteme



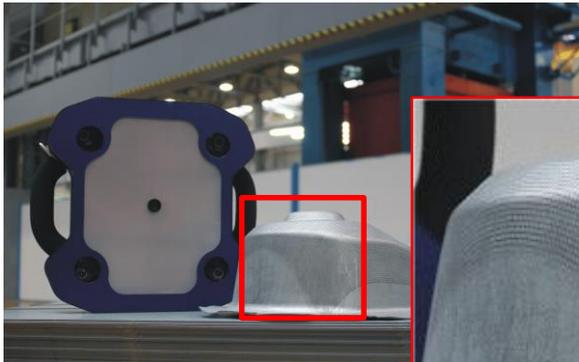
Streifenprojektion



GOM ATOS
Compact Scan



Laserprojektion
Creaform HandyScan



Vialux
AutoGrid



Digital Image Correlation (DIC)
GOM ARAMIS

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

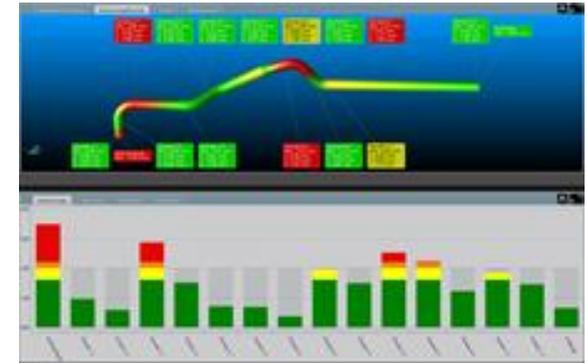
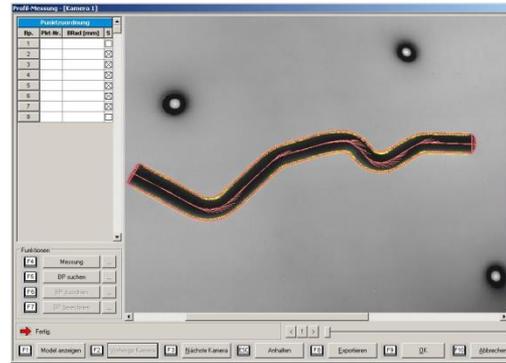
JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleh

Photogrammetrie Systeme

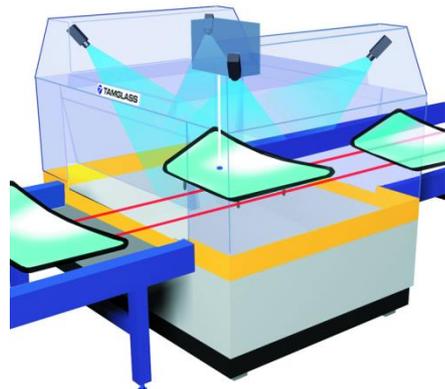
Integrierte Messsysteme



3D-Messung von Rohrleitungen



Quelle: AICON



3D-Messung von Glasscheiben



Quelle: Mapvision

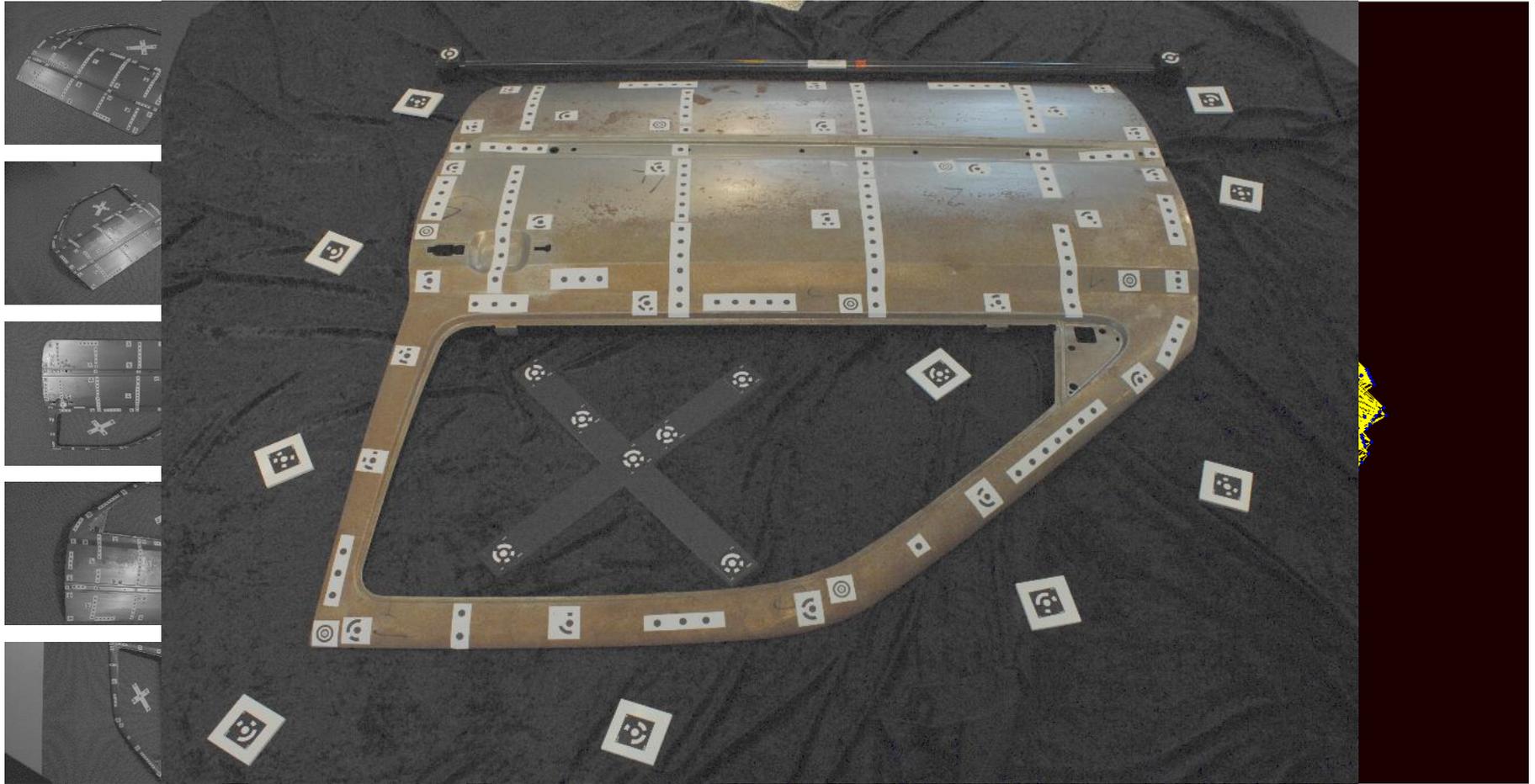
T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Prinzip

Beispiel: Vermessung einer Autotür



T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Prinzip

Beispiel: Structure-from-Motion



Objektgröße: beliebig
Messgenauigkeit: 1 Pixel (GSD)
Messzeit: einige Minuten
Auswertung: 3D-Modell
Rechenzeit: wenige Minuten bis
wenige Stunden



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Auflösung und Genauigkeit

Abschätzung:

$$s_{XYZ} = q \cdot m \cdot s_{x'y'}$$



		Beispiel Architektur	Beispiel Ingenieurbau	Beispiel Industrie
	Objektgröße	12m	100m	2m
	Bildformat	60mm	36mm	28mm
m	Bildmaßstabszahl	200	685	70
$s_{x'y'}$	Bildmessgenauigkeit	10 μ m (1 Pixel)	0.5 μ m (1/20 Pixel)	0.2 μ m (1/50 Pixel)
q	Designfaktor	1.5	2.5	0.7
s_{XYZ}	Objektgenauigkeit (RMS)	3mm	0.8mm	0.015mm

1:4.000

1:125.000

1:200.000

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

Photogrammetrie

Photogrammetrische Kameras



Digitale Luftbildkamera Leica DMC III
bis 375 Mio. Pixel



Digitale Luftbildkamera Vexcel UltraCam
bis 196 Mio. Pixel



Digitalkamera 36-50 Mio. Pixel (Nikon)



Highspeedkamera 1500 Bilder/sec bei
2000 x 1000 Pixel (PCO)



Stereokamerasystem (AXIOS 3D)



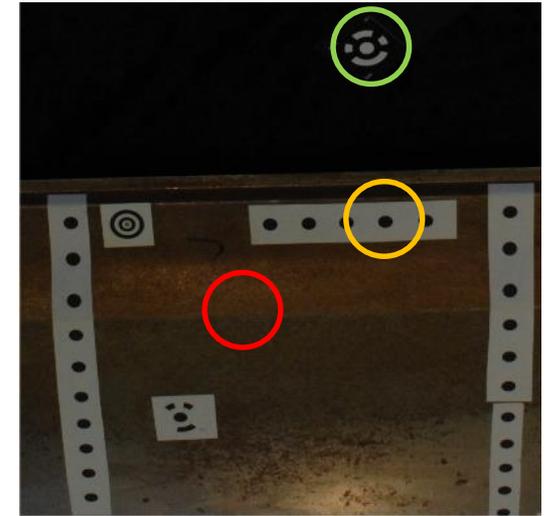
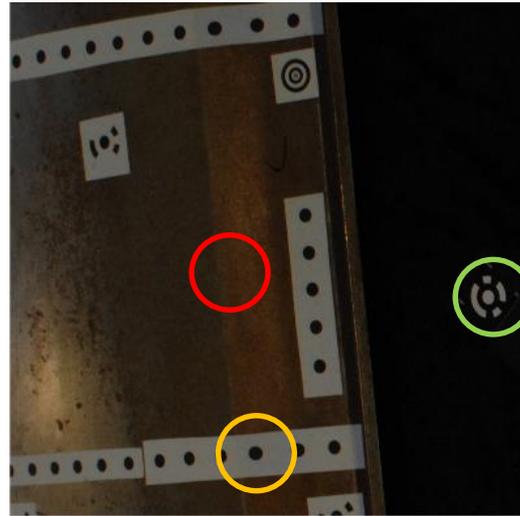
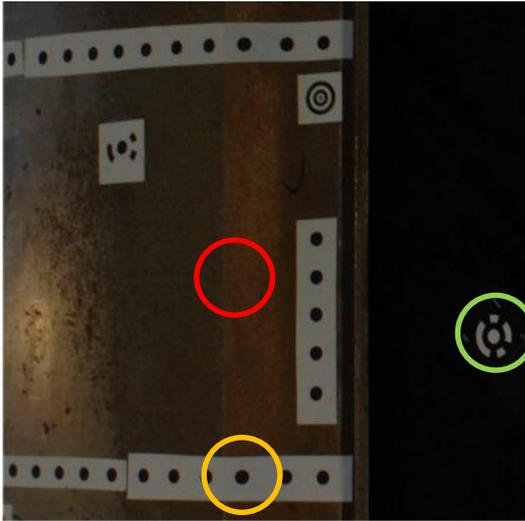
Industrie- und andere Kameras

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Emsfleth

Korrespondenzproblem

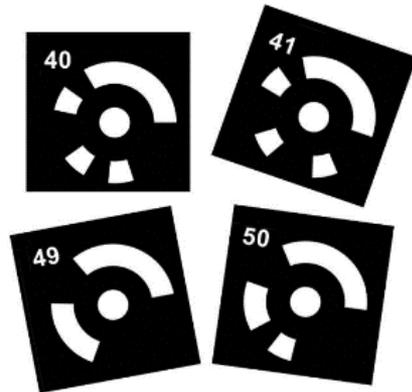
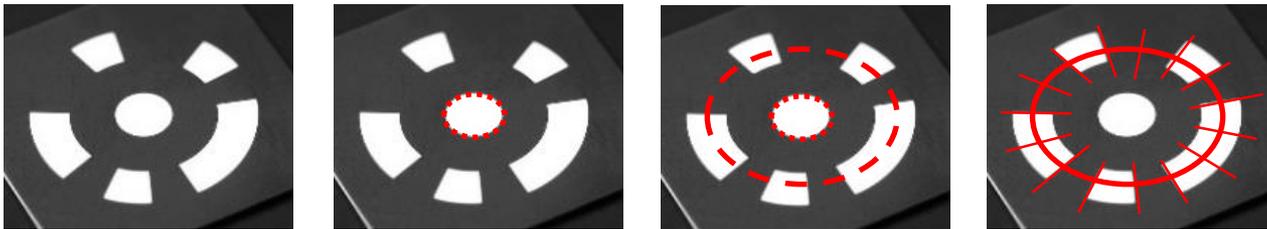


Zuordnung identischer Muster

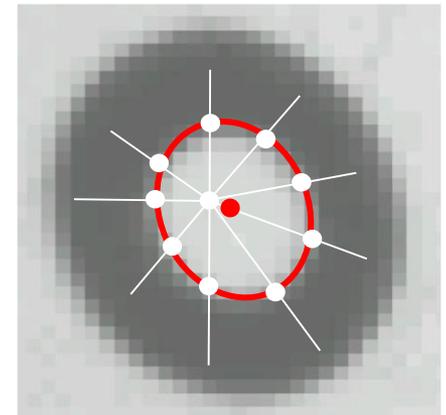
- Eindeutigkeit der Textur
- Identifizierung (Punktnummer)
- Matching

Korrespondenzproblem

Messung codierter Muster



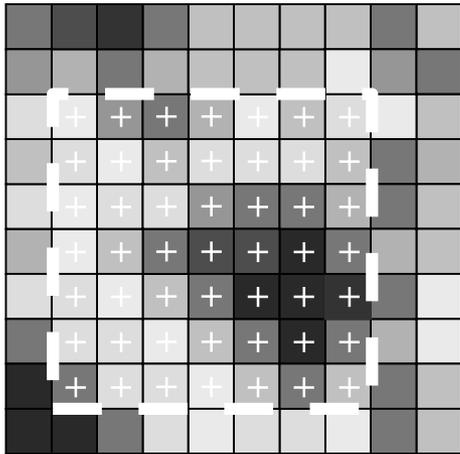
© GOM



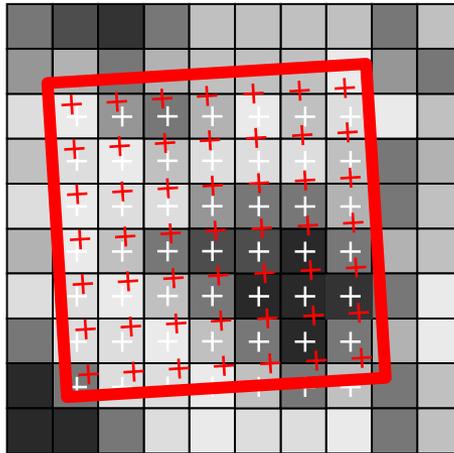
Ellipsenmittelpunkt

Korrespondenzproblem

Korrelationsverfahren

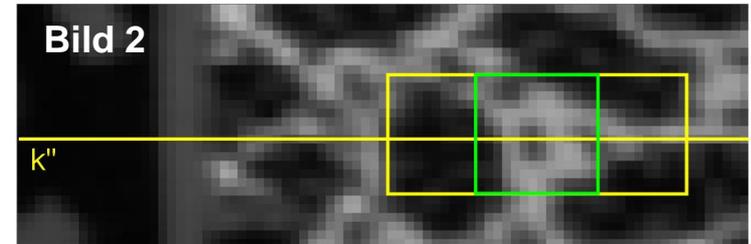
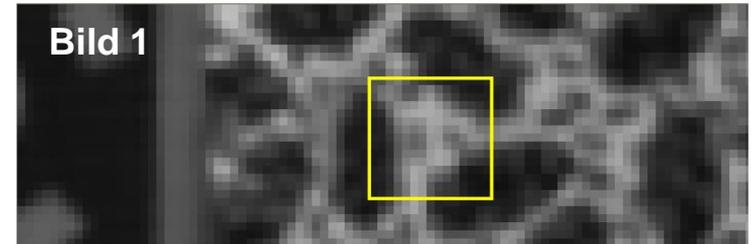


Ausgangszustand: Facette mit 7x7 Pixeln
„+“ = Stützstellen in Pixelmitte

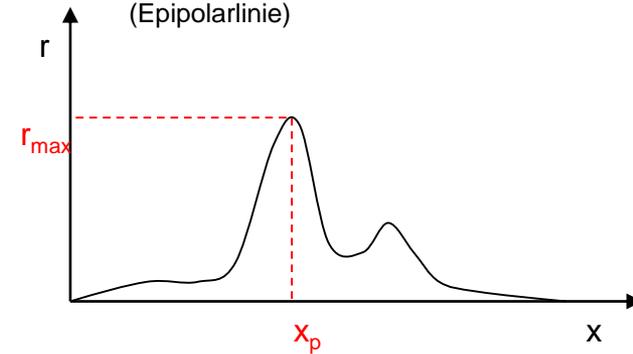


Verschobene Facette: rote „+“ Stützstellen
(treffen keine Pixelmitten)

© GOM



Korrelation einer Mustermatrix über einer Suchlinie (Epipolarlinie)



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

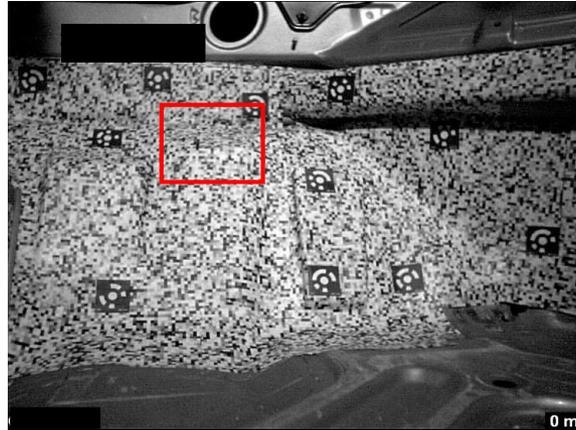
© Luhmann 2022

Photogrammetrie

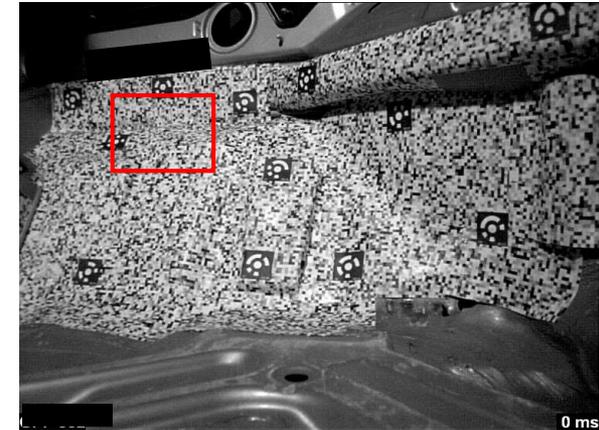
Bildauswertung

Korrespondenzproblem

Korrelationsverfahren



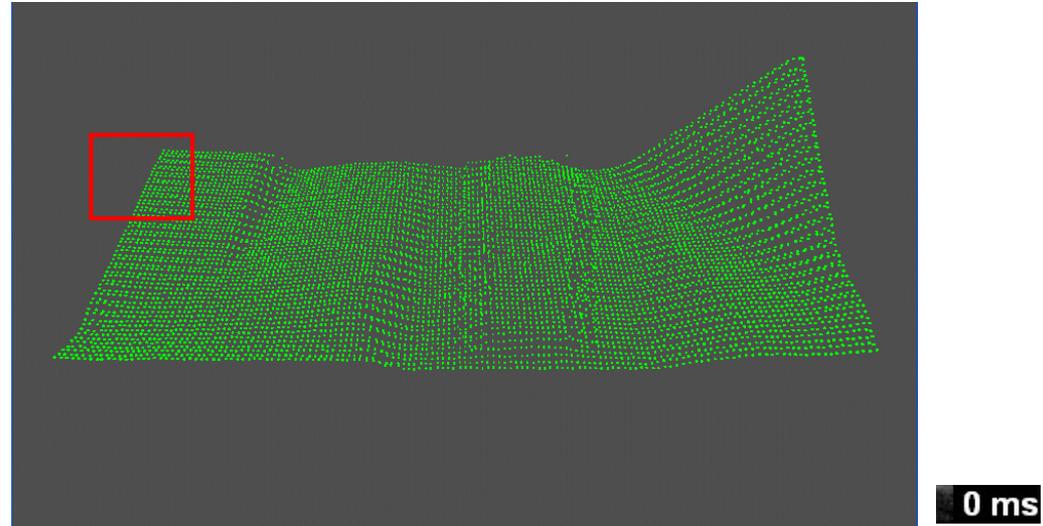
linke Kamera



rechte Kamera



4 Highspeedkameras zur Erfassung des Fußraumes



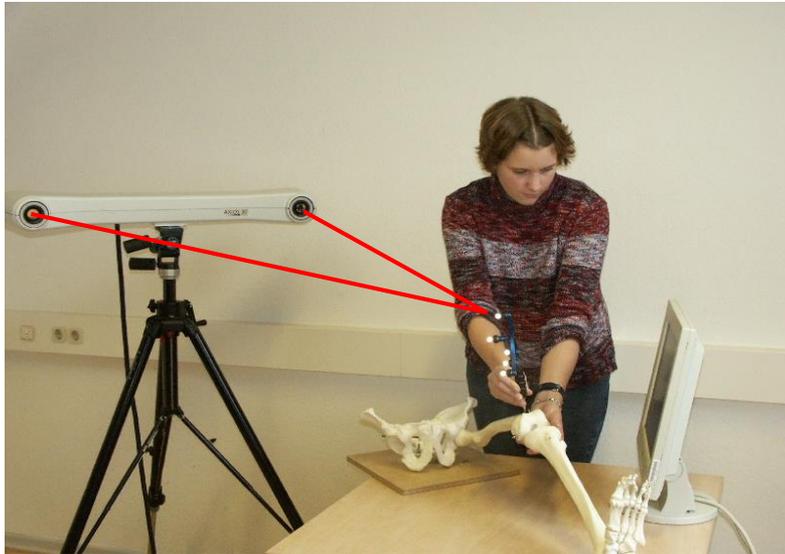
0 ms

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

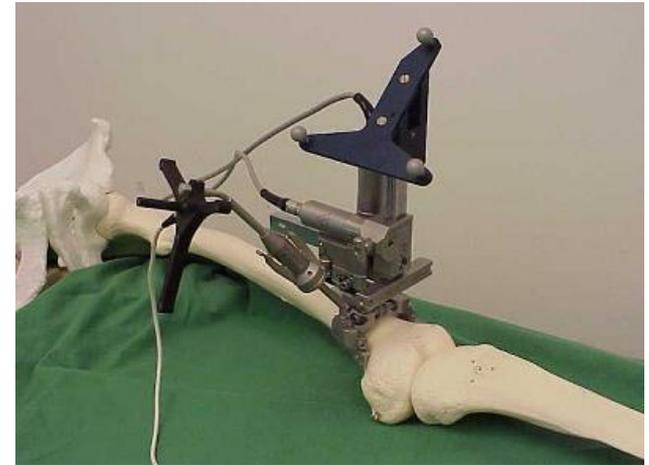
© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

Navigation für die computerunterstützte Chirurgie



Navigationssystem mit taktiler Antastung



Operationsroboter



Navigationssystem im OP

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

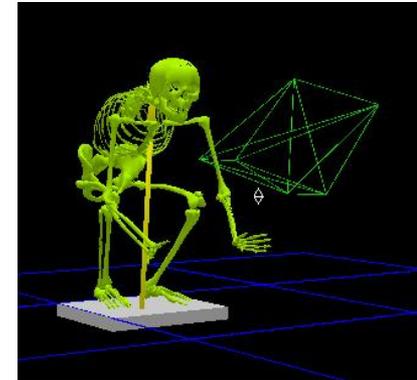
Anwendungsbeispiele

Sport, Film und Animation

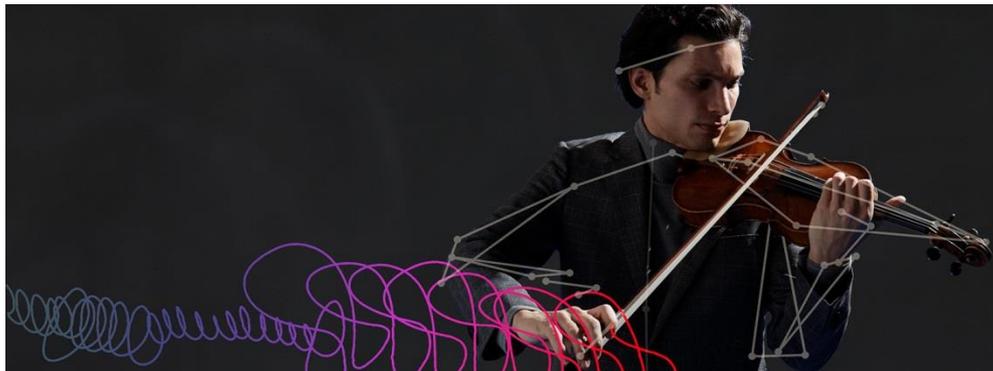
Bewegungsanalyse



Bewegungsanalyse eines Trabers (Qualisys)



Anheben eines Stuhls
(Quelle: prophysics AG)



Bewegungsanalyse eines Geigers (Qualisys)



Aufnahme einer rückenbelastenden
Bewegung mit Hilfe von Kameras und EMG
(Bildnachweis: Michael Stephan)

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

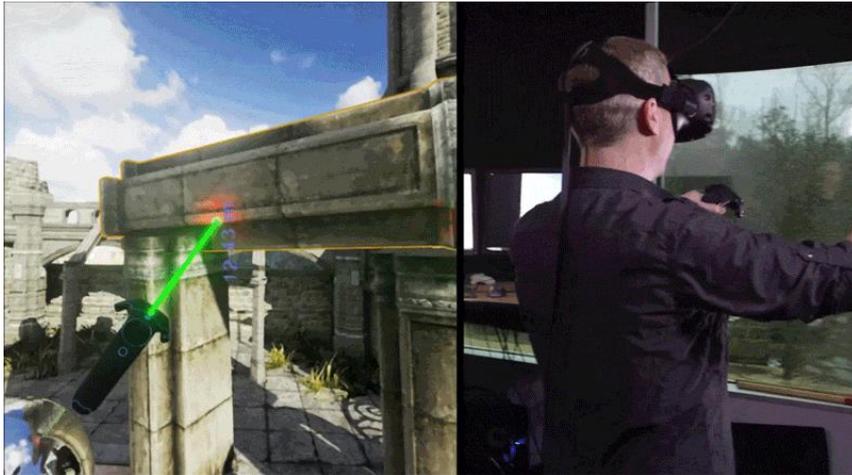
© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

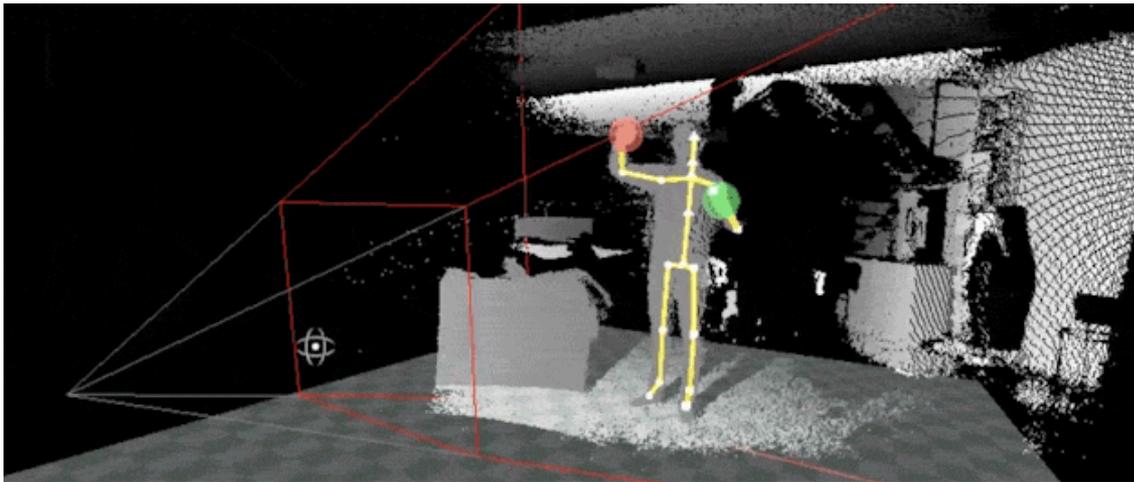
Anwendungsbeispiele

Sport, Film und Animation

Gestenerkennung



Gestensteuerung eines Computerspiels
(<http://kotaku.com/>)



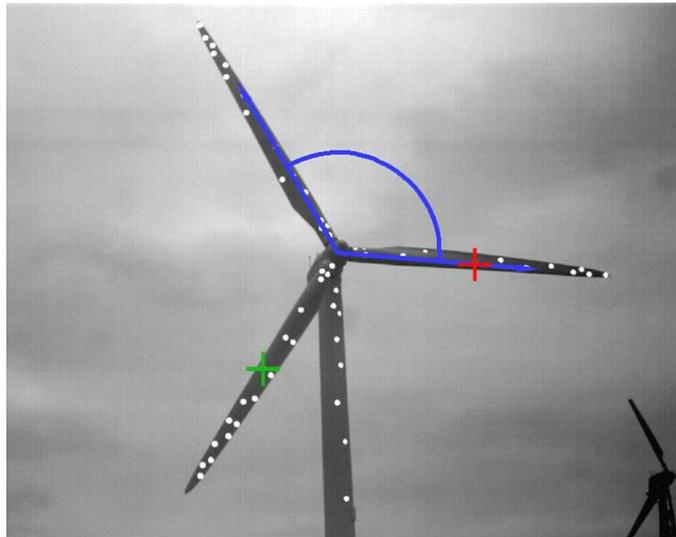
Gestenerkennung mit Kinect
(www.engadget.com)

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

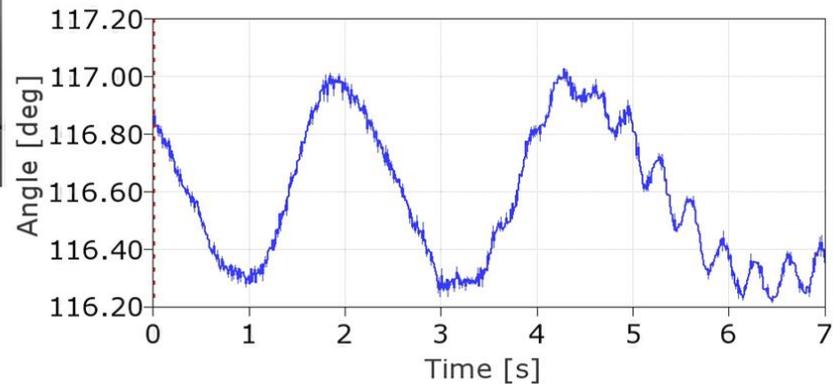
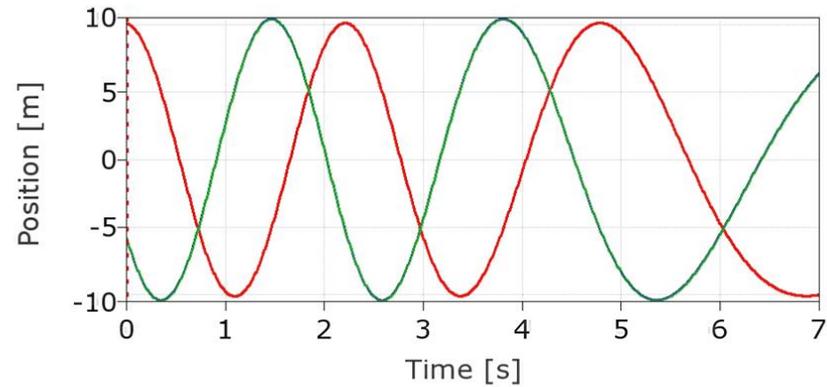
Dynamische Vermessung einer Windkraftanlage

Dynamic 3D Analysis



Wind Turbine Measurement

Diameter: 40 m
Hub Height: 40 m



© GOM

Anwendungsbeispiele

Industrie und Ingenieurwesen

Crash-Vermessung

Außenkamera



Einschlag auf Windschutzscheibe (Porsche)



Innenkamera



[Euro NCAP 2011]

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

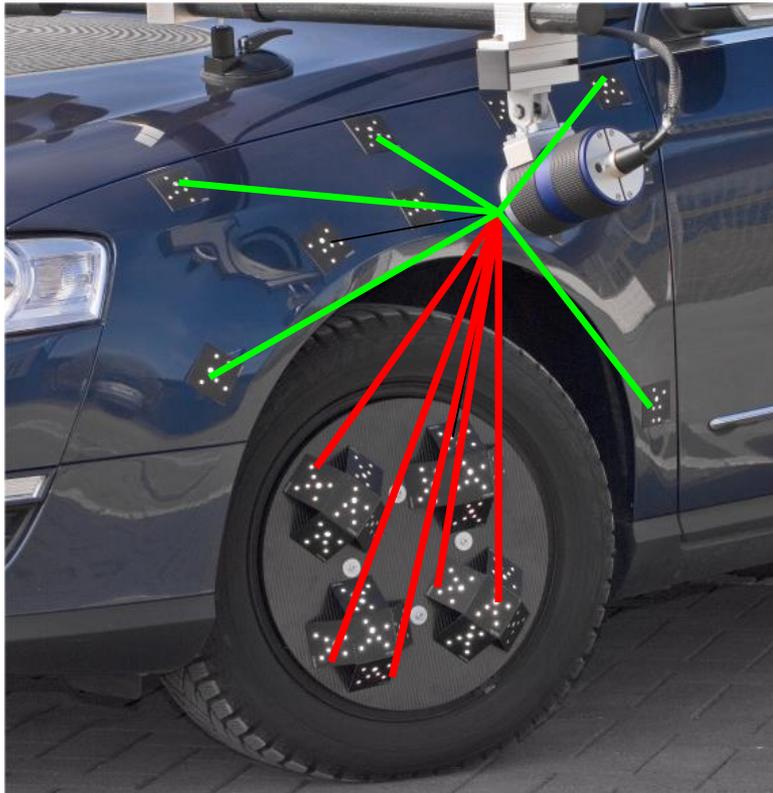
JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

34

Anwendungsbeispiele

Industrie und Ingenieurwesen

Dynamische Radvermessung



6DOF-Messung der Radbewegung mit 500 Hz

Genauigkeit ca. 0.1 mm



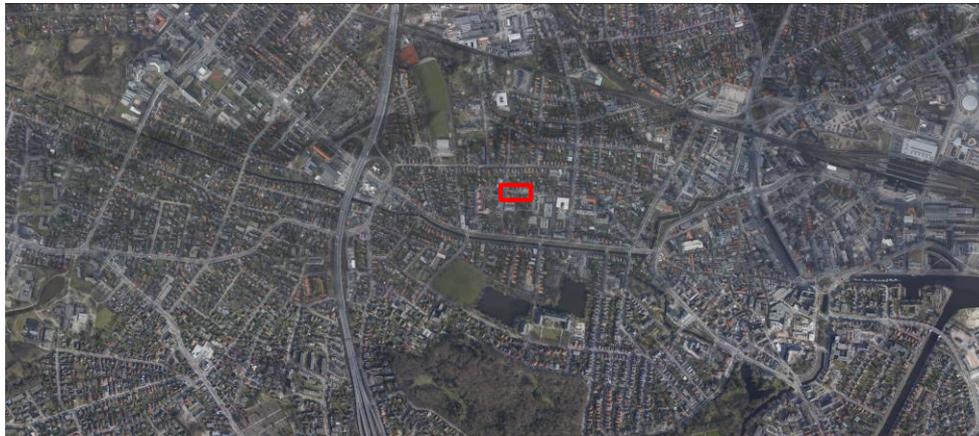
WheelWatch (AICON)

Slalomfahrt (AICON)

Anwendungsbeispiele

Geoinformation

Stadtmodelle und Geoinformationssysteme



Digitale Luftbilder
Auflösung ca. bis 6cm



Mobile Mapping System mit Laserscanner

T. Luhmann

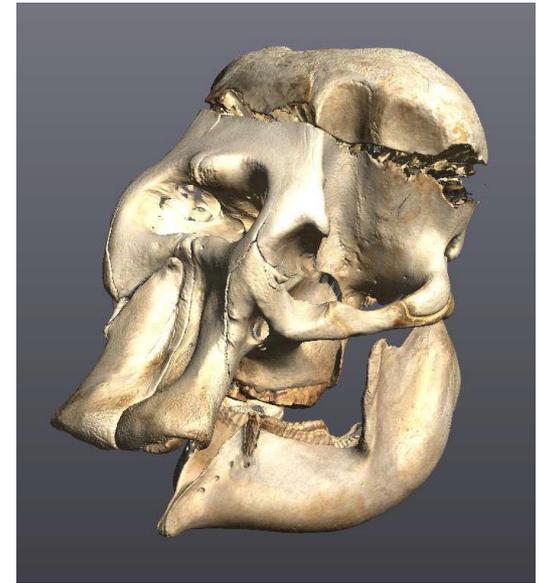
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Erfassung des Goethe-Elefantenschädels



Goethe-Elefant im
Otto-Neumuseum Kassel



3D-Modelle einzelner Schädelteile

Gesamtmodell

T. Luhmann

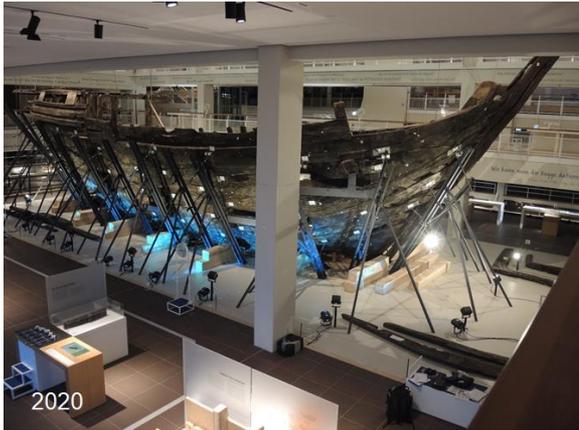
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Anwendungsbeispiele

Kulturerbe und Denkmalpflege

Monitoring der Bremer Kogge



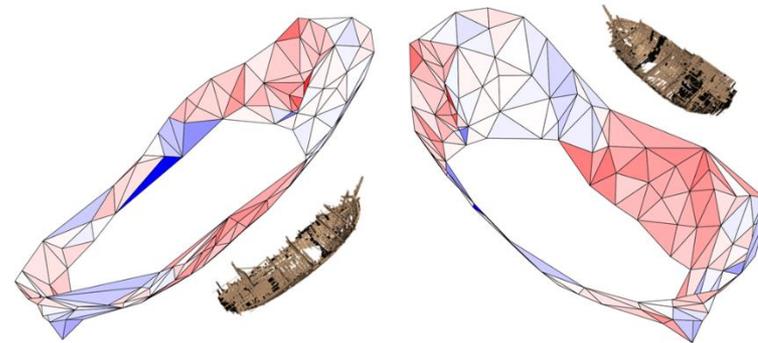
Kogge im Deutschen Schifffahrtsmuseum



Netzmessung mit Lasertracker: RMS = 0,05mm



Photogrammetrische Zielmarken



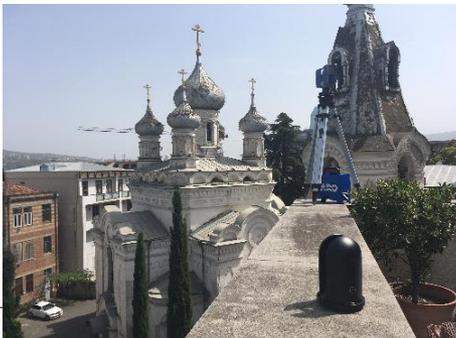
Flächenhafte Deformationsanalyse

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Modellierung historischer Kirchenbauwerke in Georgien



Kloster Lurdji, Tiflis, Georgien

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Anwendungsbeispiele

Studentische Arbeiten

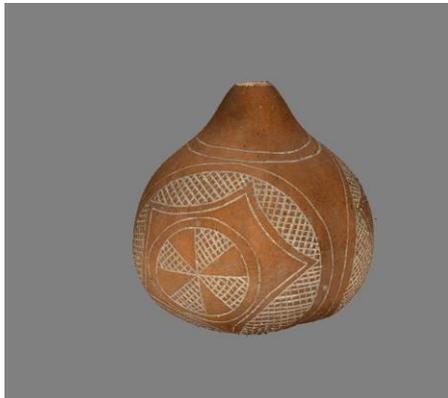
3D-Modellierung des Waisenstifts Varel



3D-Erfassung historischer Flugzeuge (Kiew)



3D-Erfassung von Museumsobjekten



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Studium und danach

Inhalte

Bachelor of Science

Angewandte Geodäsie

Geoinformatik

Wirtschaftsingenieur Geoinformation

- Mathematik
- Sensorik
- Programmieren
- Auswertetechnik
- Photogrammetrie
- Digitale Bildverarbeitung
- Computergrafik
- Ingenieurgeodäsie
- Geoinformationssysteme
- Fernerkundung
- ...

Bachelor-Arbeit

Master of Science

Geoinformationswissenschaften

- Auswertetechnik
- Photogrammetrische Informationsverarb.
- Digitale Bildverarbeitung
- Masterprojekt
- Forschungsseminar
- Künstliche Intelligenz
- Data Science
- Fernerkundung
- ...

Master-Arbeit

... und dann?

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Studium und danach

Inhalte

Industrie

- Systemhersteller
- Messdienstleister
- Vermessungsbüros
- Industrie
- Medizin
- Bauwesen
- Energiewirtschaft
- ...



Öffentlicher Dienst

- Hochschulen, Universitäten
- Forschungseinrichtungen
- Ämter für Geoinformation
- Umwelt- und Planungsämter
- ...



Promotion

T. Luhmann

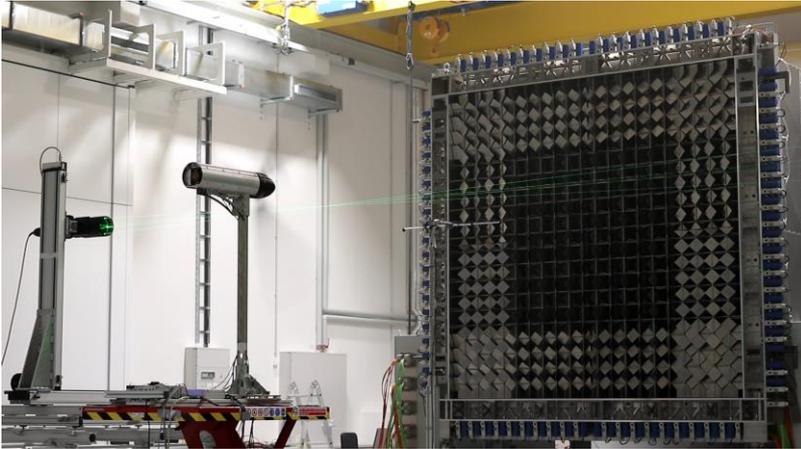
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Studium und danach

Aktuelle Forschungsthemen

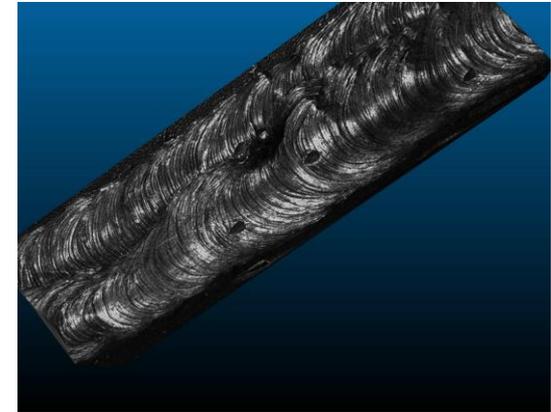
Windenergie



Simulation



Unterwasserphotogrammetrie



T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

Vielen Dank



Virtuelle Rekonstruktion der Kölner Synagoge © Stadt Köln



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022