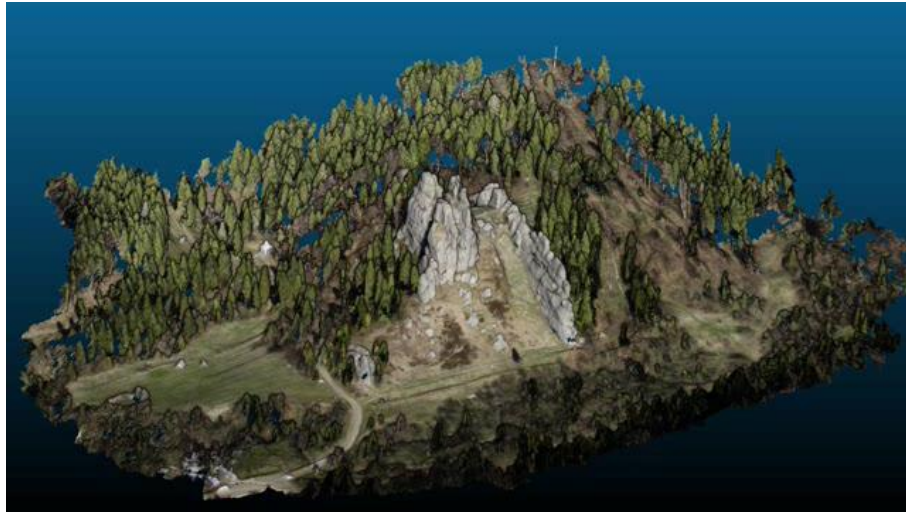


Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik



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

© Luhmann 2022

Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

Konstruktion und Design



Medizinische Diagnostik



3D-Drucker

3D-Stadtmodelle

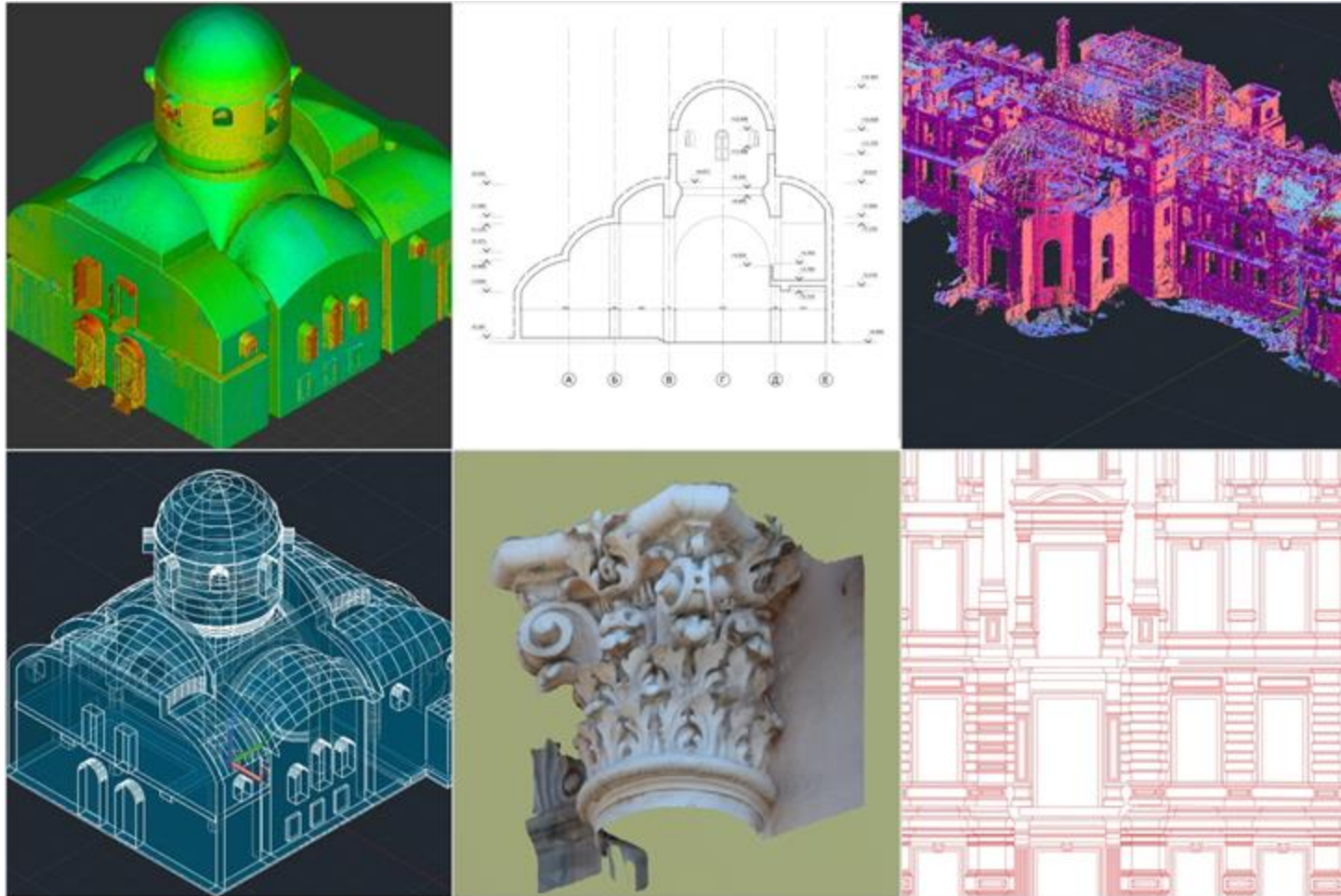
T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Einführung

Dreidimensionale Informationen im Alltag

Architektur und Bauwesen



Rekonstruktion von Monumenten und Skulpturen

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

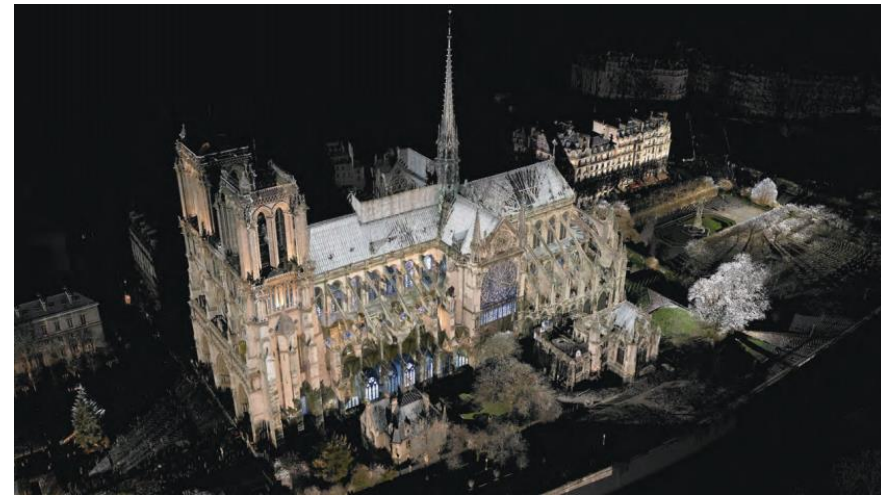
Einführung

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

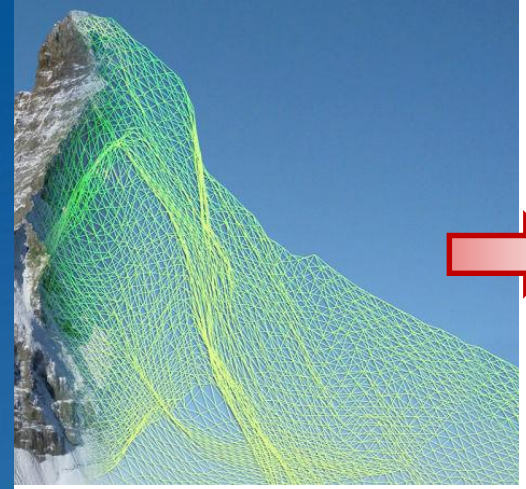
Datenprozesse



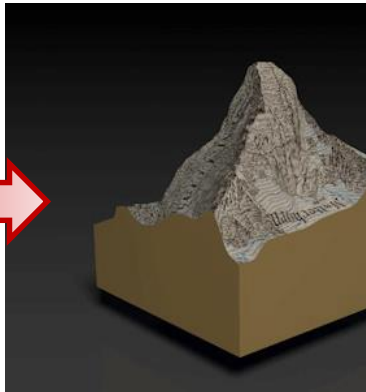
Objekt



Digitalisierung



D-Daten



3D-Modell



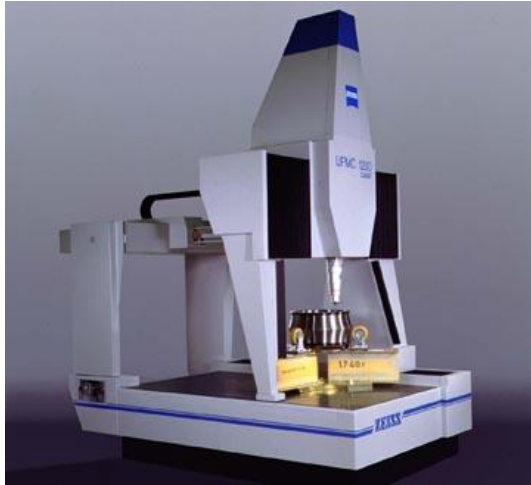
Reproduktion



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

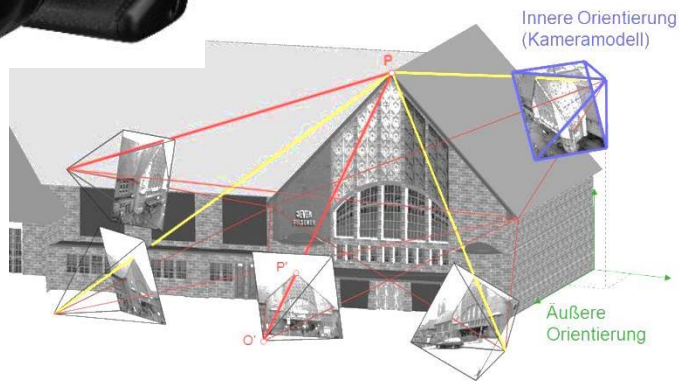
© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

3D-Messverfahren

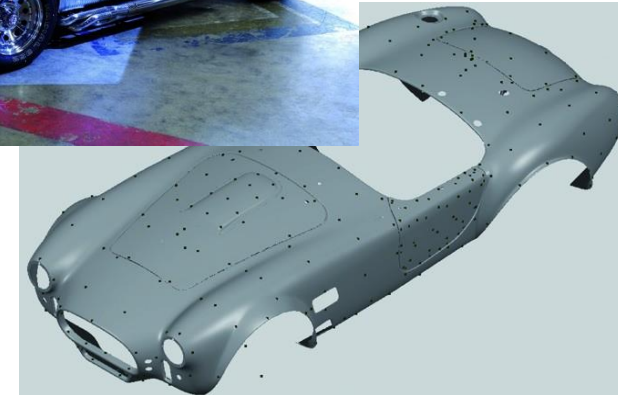
Berührungslose (optische) Messverfahren

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

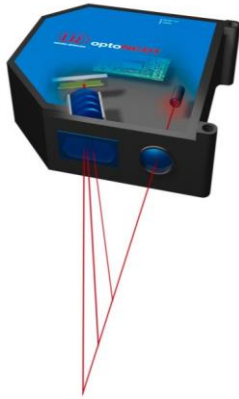
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Messverfahren

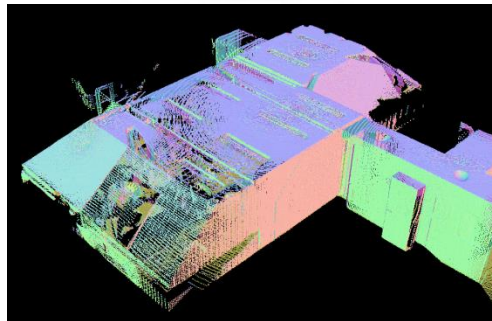
Berührungslose (optische) Messverfahren

Laser-Triangulation



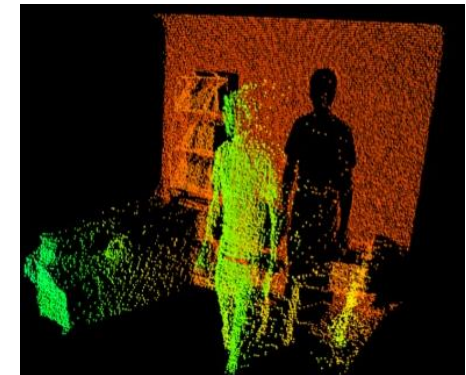
- Laser (Linie, Muster) + Kamera(s)
- Musterdetektion
- echtzeitfähig

Laser-Scanning



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

Time-of-Flight Kameras



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

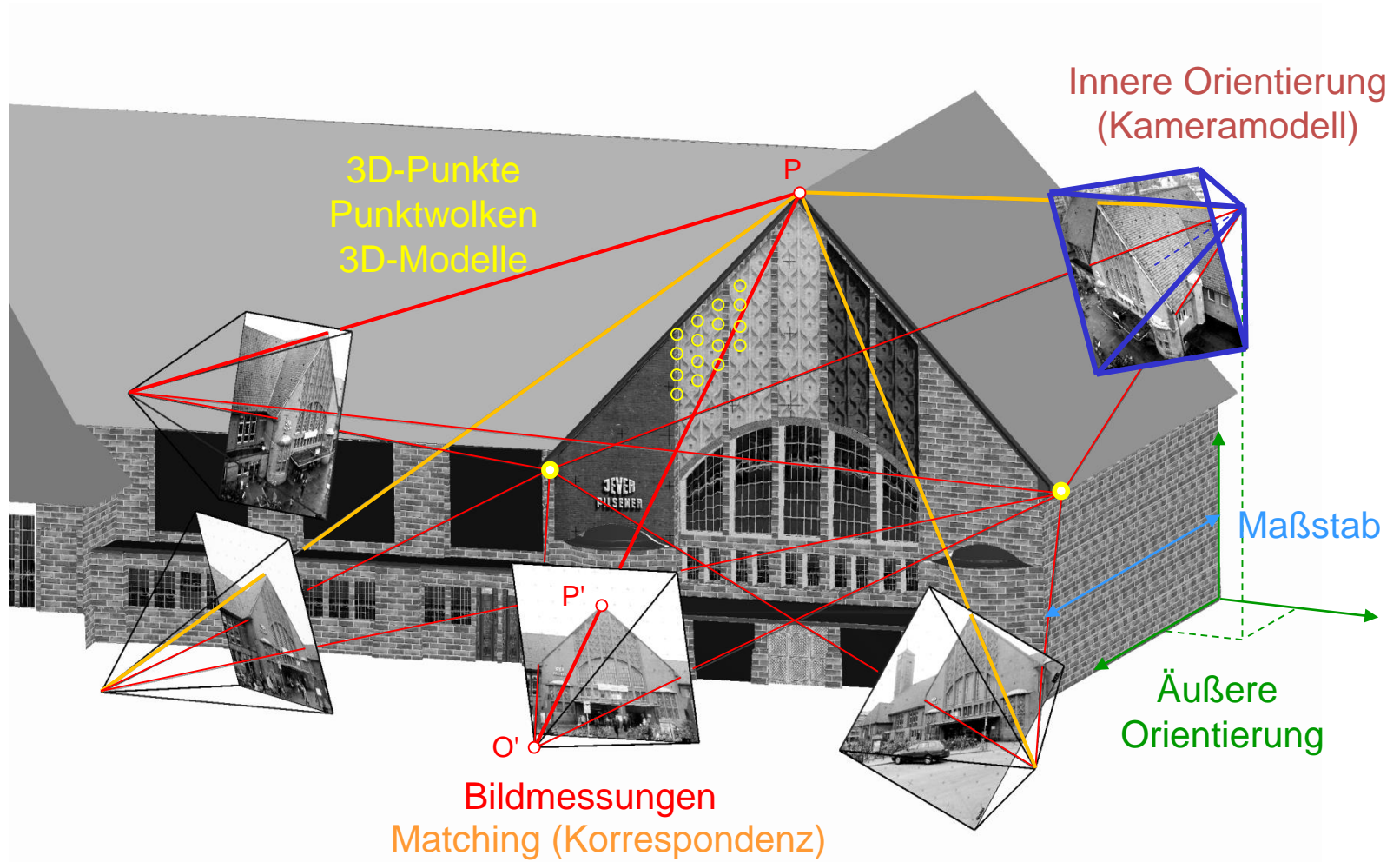
T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Messprinzip



T. Luhmann

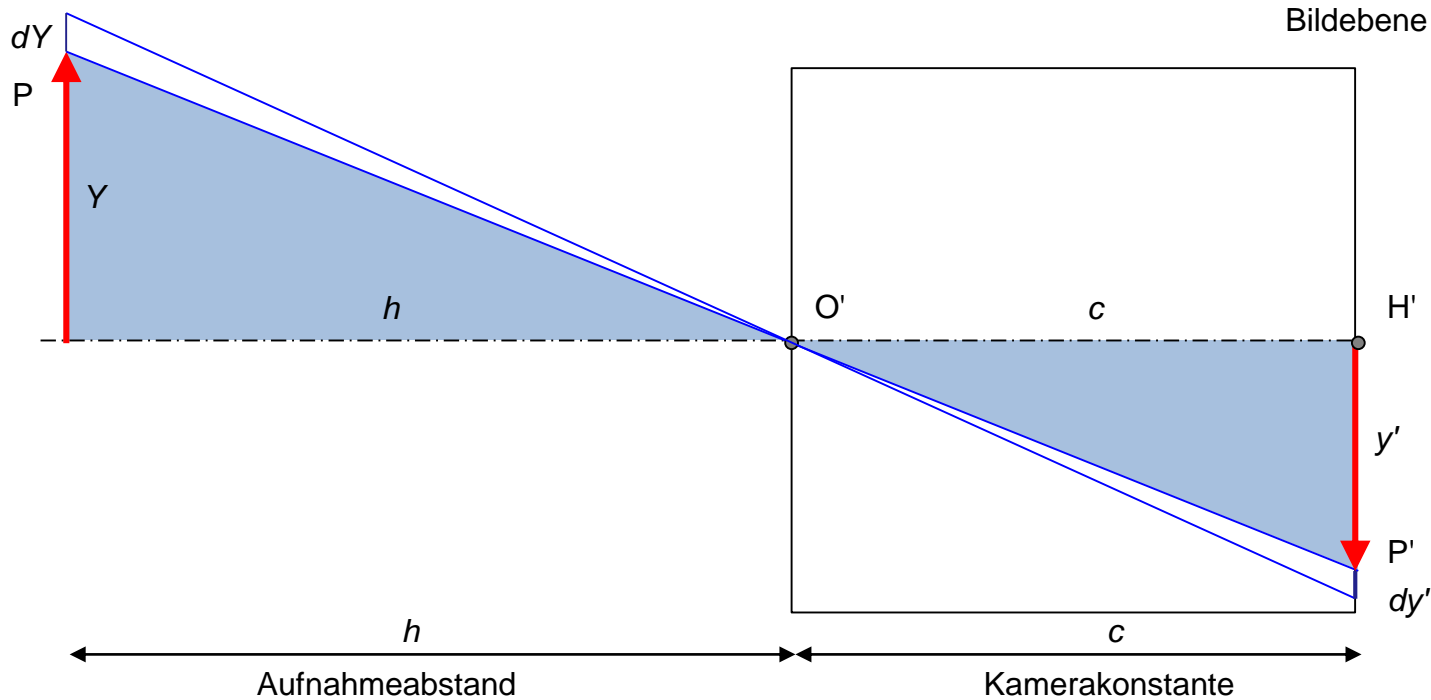
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Photogrammetrisches Messprinzip

Lochkamera → Zentralprojektion



$$m = \frac{h}{c} = \frac{Y}{y'}$$

$$Y = m \cdot y'$$

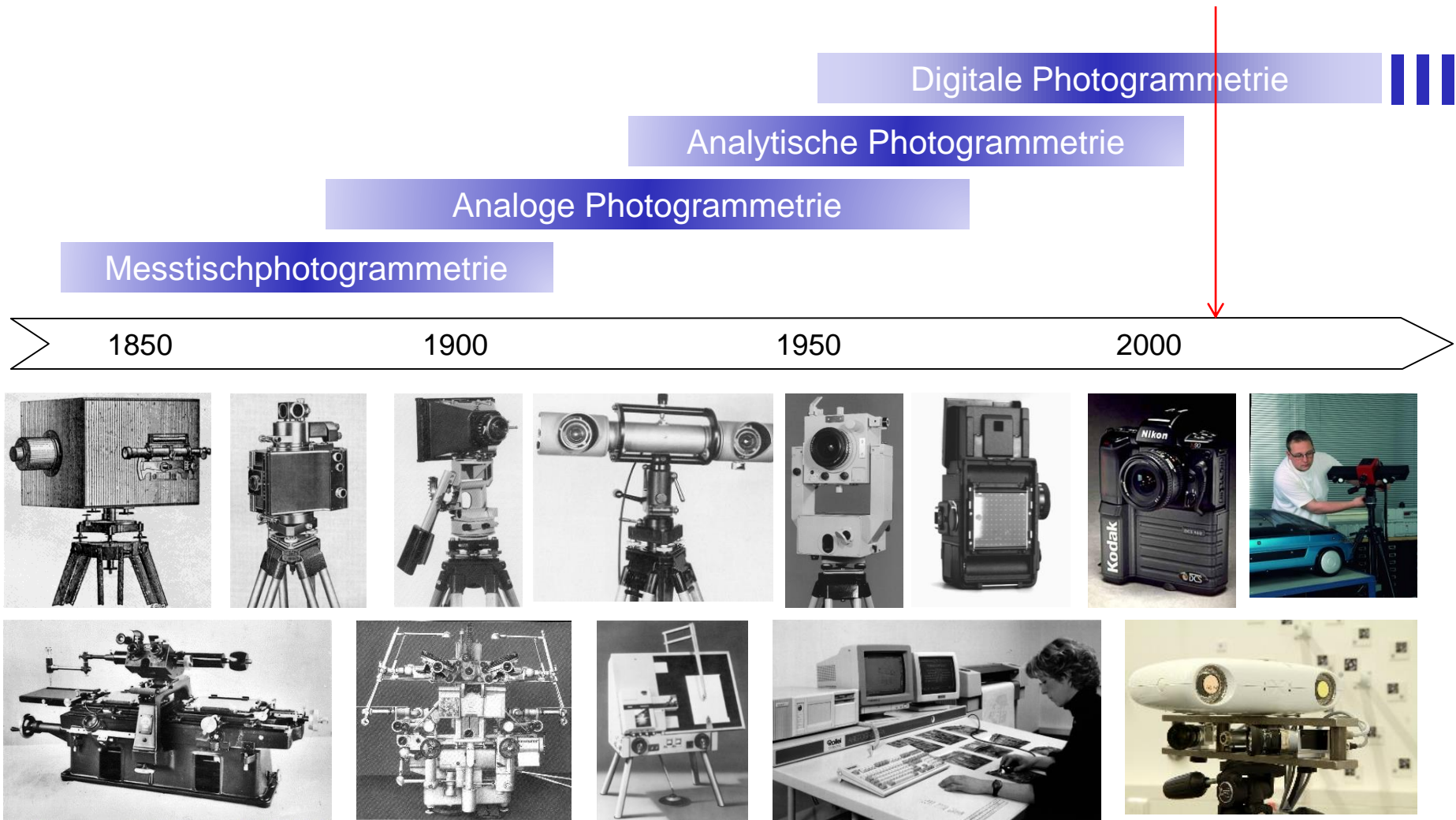
$$dY = m \cdot dy'$$

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	$dy' = 0.006 \text{ mm} = 6 \text{ }\mu\text{m}$	$dy' = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

Photogrammetrie

Entwicklungsphasen



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie

Märkte und Anwendungen

Klassische Anwendungen (Auswahl)



Topographische Anwendungen (Luftbild, UAV)



Deformationsmessungen

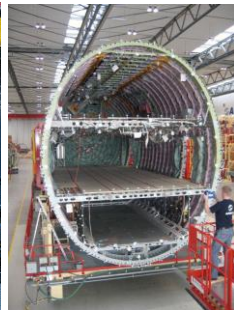


Denkmalpflege

Industrielle Anwendungen (Auswahl)



Automobilbau



Luft- und
Raumfahrt



Schiffbau



Robotik



Medizin

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

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



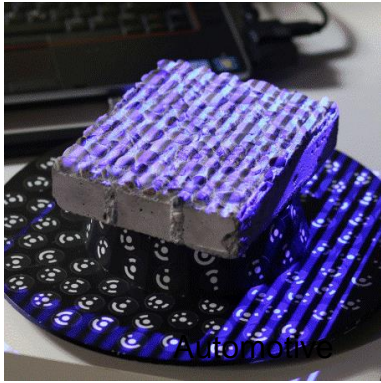
Einzelkameraantastung durch
Rückwärtseinschneiden

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Photogrammetrie Systeme

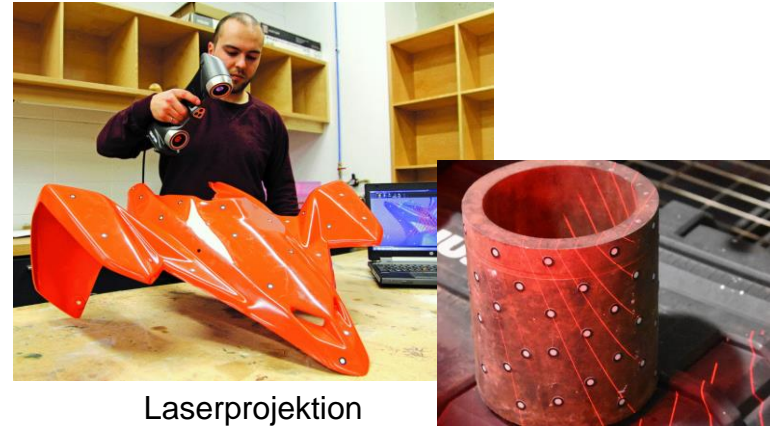
Oberflächenmesssysteme



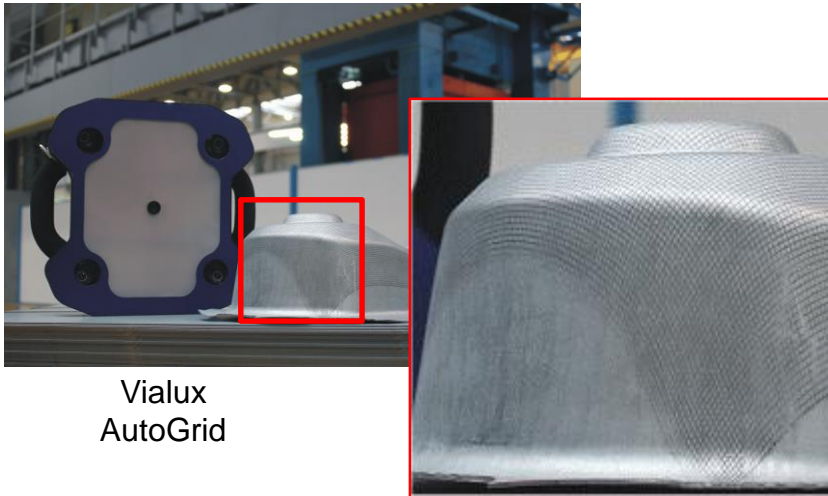
Streifenprojektion



GOM ATOS
Compact Scan



Laserprojektion
Creaform HandyScan



Vialux
AutoGrid



Digital Image Correlation (DIC)
GOM ARAMIS

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

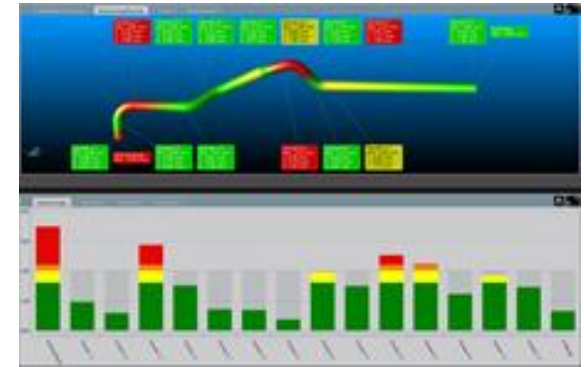
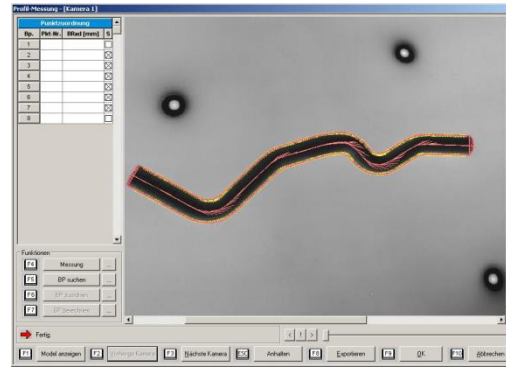
JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

Photogrammetrie Systeme

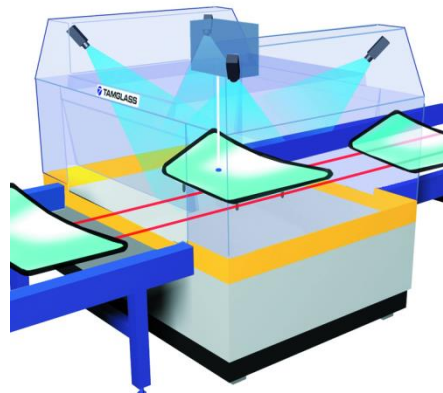
Integrierte Messsysteme



3D-Messung von Rohrleitungen



Quelle: AICON



3D-Messung von Glasscheiben



Quelle: Mapvision

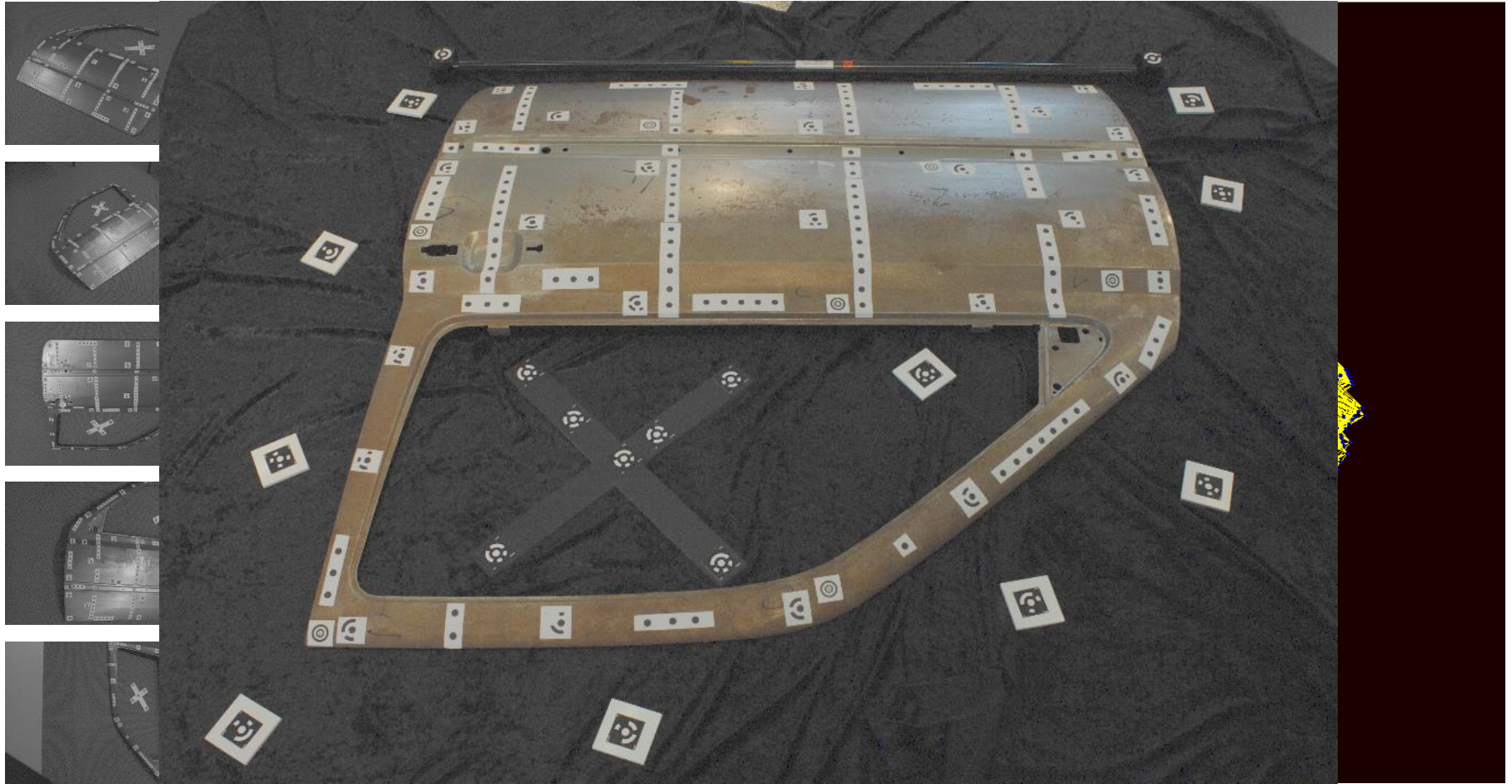
T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© 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)



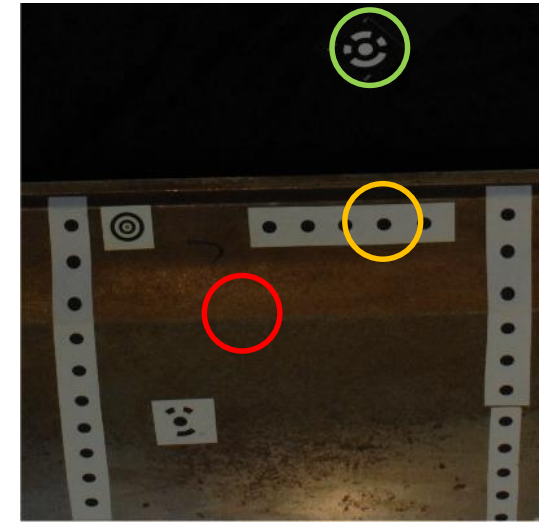
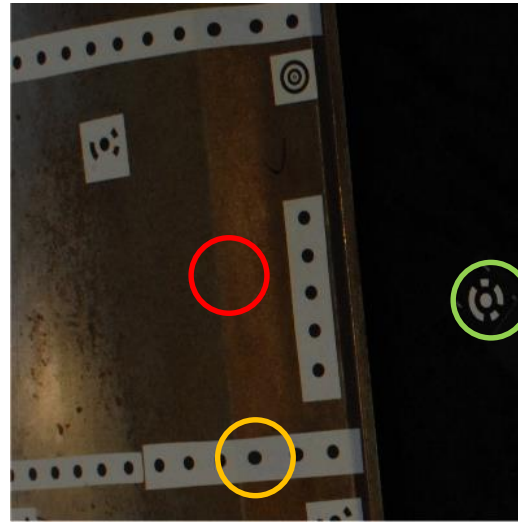
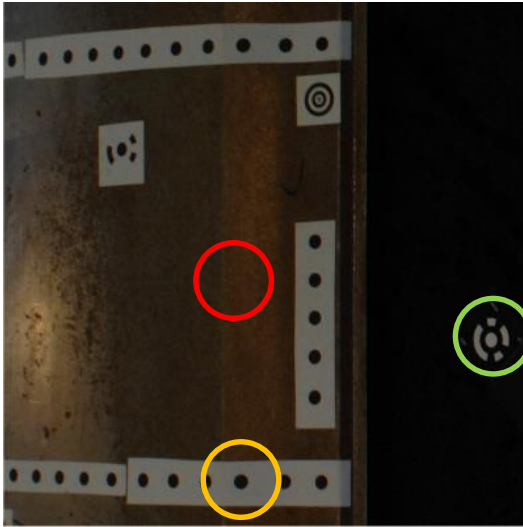
Industrie- und andere Kameras

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

Korrespondenzproblem

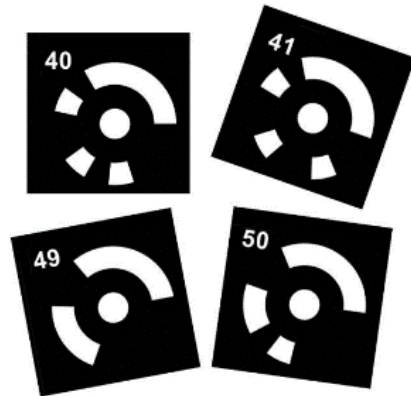
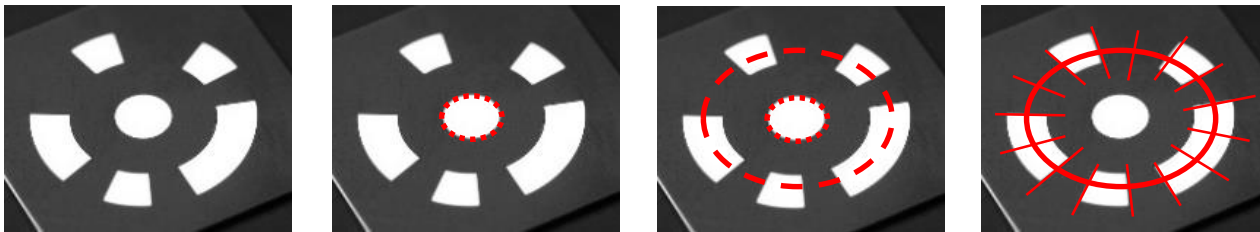


Zuordnung identischer Muster

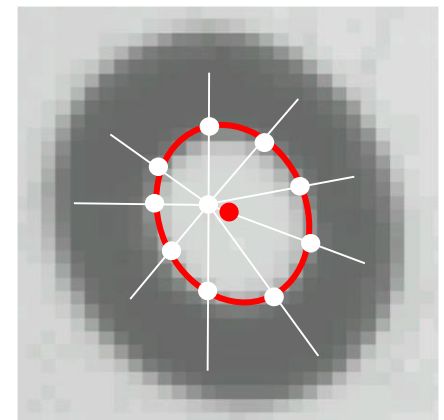
- Eindeutigkeit der Textur
- Identifizierung (Punktnummer)
- Matching

Korrespondenzproblem

Messung codierter Muster



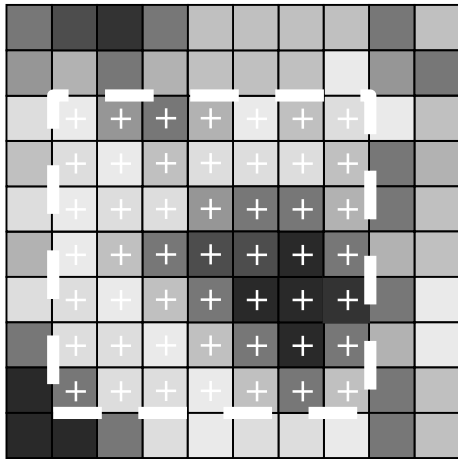
© GOM



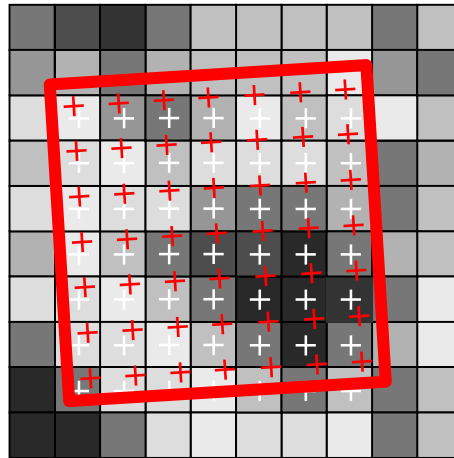
Ellipsenmittelpunkt

Korrespondenzproblem

Korrelationsverfahren

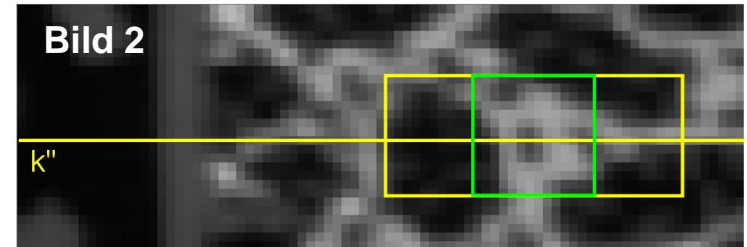
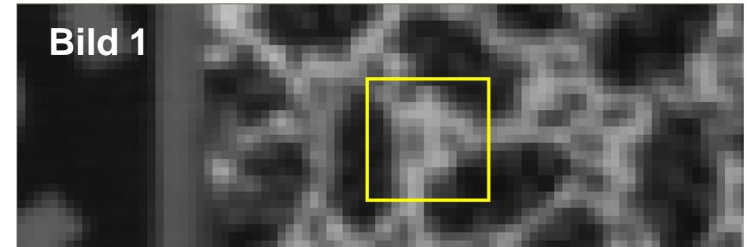


Ausgangszustand: Facette mit 7x7 Pixeln
„+“ = Stützstellen in Pixelmitte

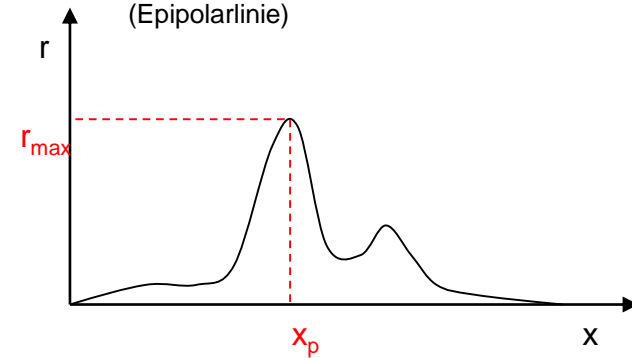


Verschobene Facette: rote „+“
Stützstellen
(treffen keine Pixelmitten)

© GOM



Korrelation einer Mustermatrix über einer Suchlinie
(Epipolarlinie)



T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

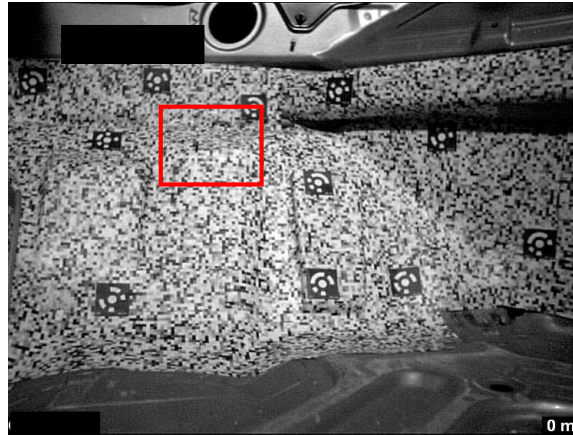
© Luhmann 2022

Photogrammetrie

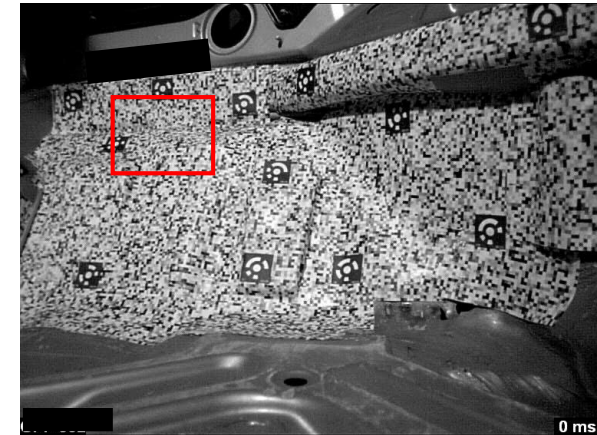
Bildauswertung

Korrespondenzproblem

Korrelationsverfahren



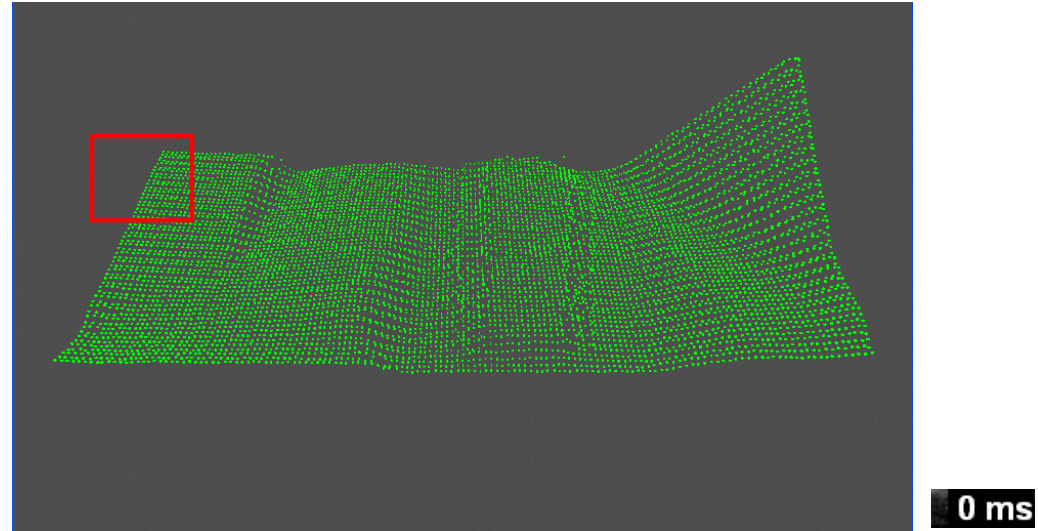
linke Kamera



rechte Kamera



4 Highspeedkameras zur Erfassung des Fußraumes



0 ms

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

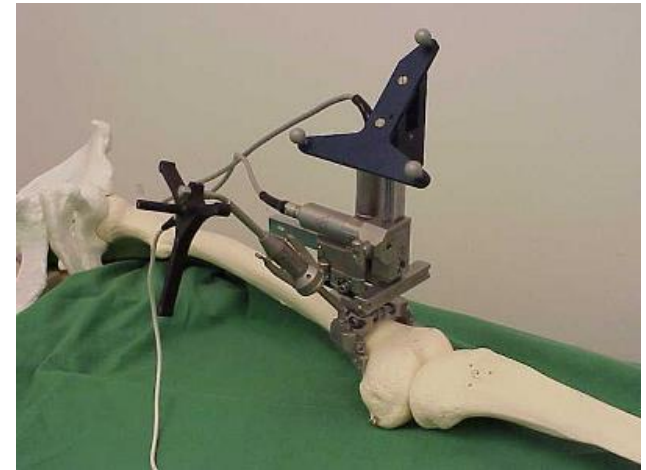
© Luhmann 2022

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

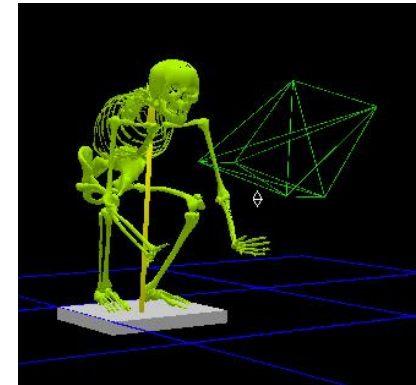
Anwendungsbeispiele

Sport, Film und Animation

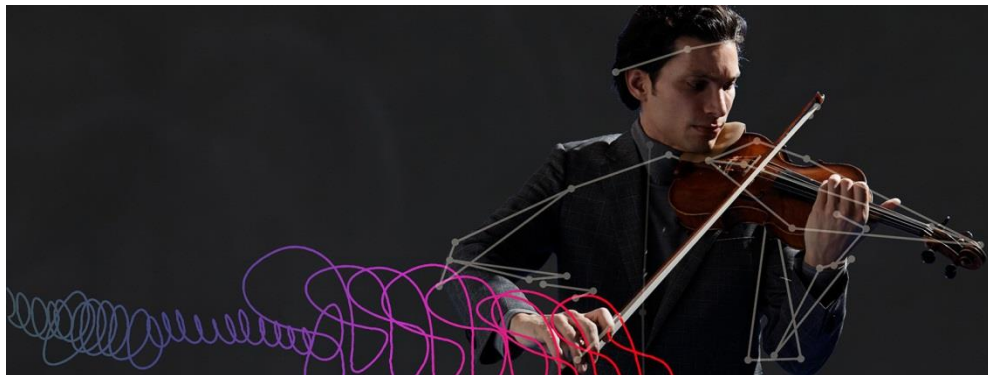
Bewegungsanalyse



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

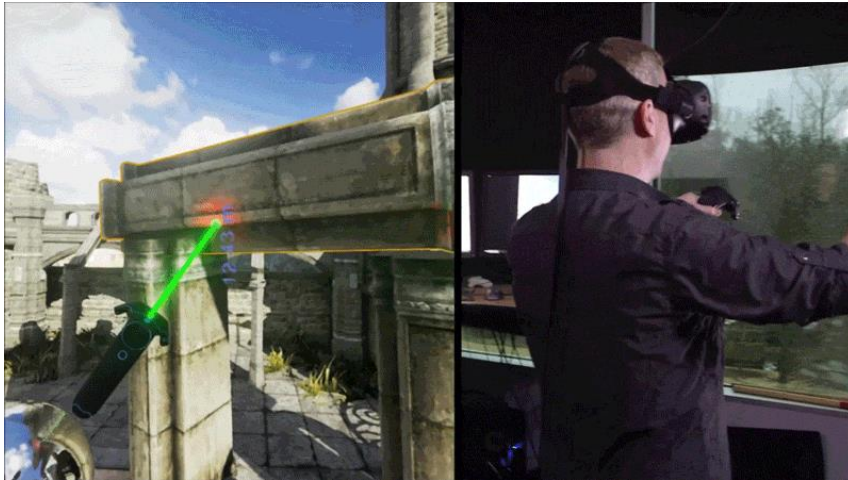
© Luhmann 2022

JADE HOCHSCHULE
Wilhelmshaven Oldenburg Etsfleth

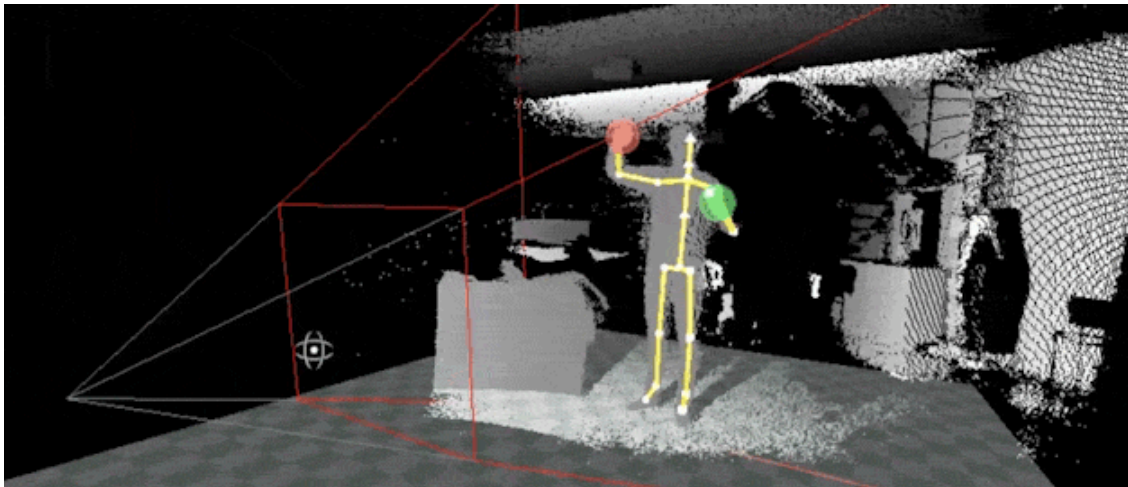
Anwendungsbeispiele

Sport, Film und Animation

Gestenerkennung



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



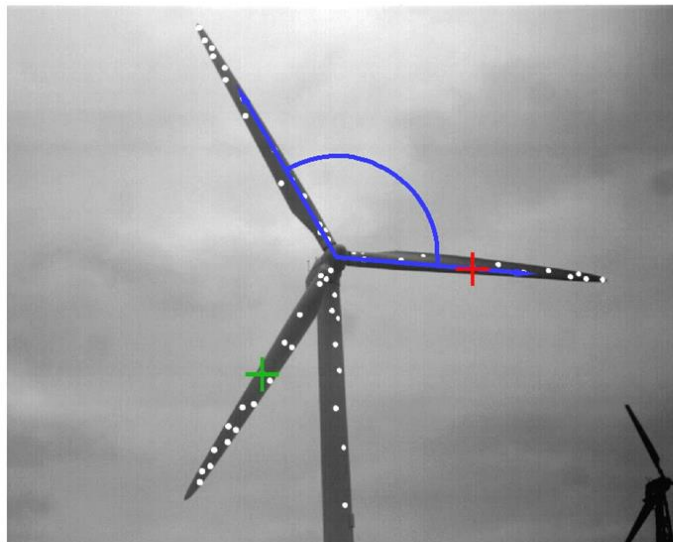
Gestenerkennung mit Kinect
(www.engadget.com)

T. Luhmann
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

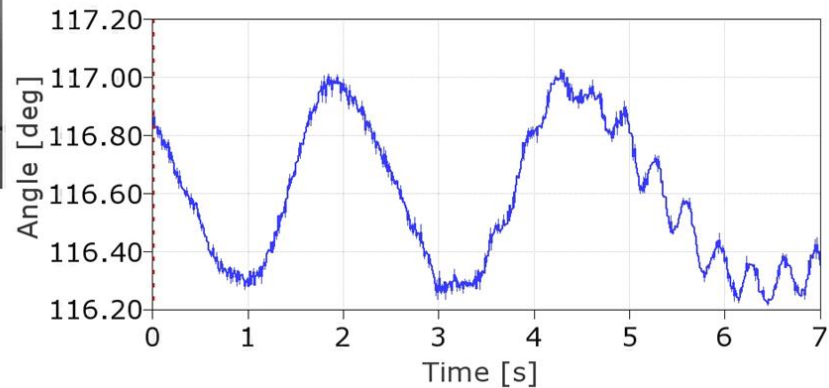
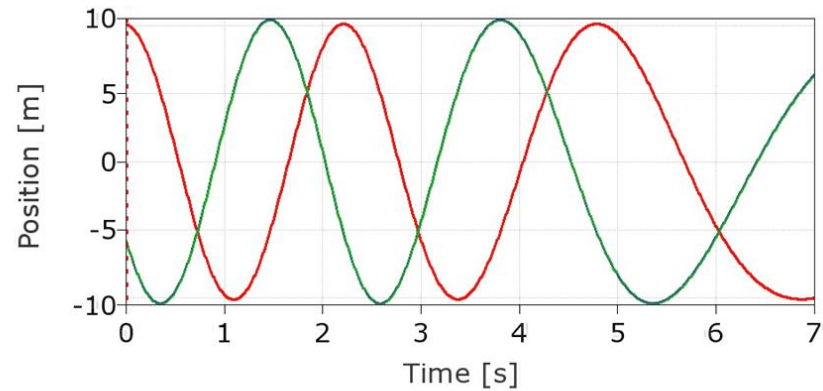
Dynamische Vermessung einer Windkraftanlage

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

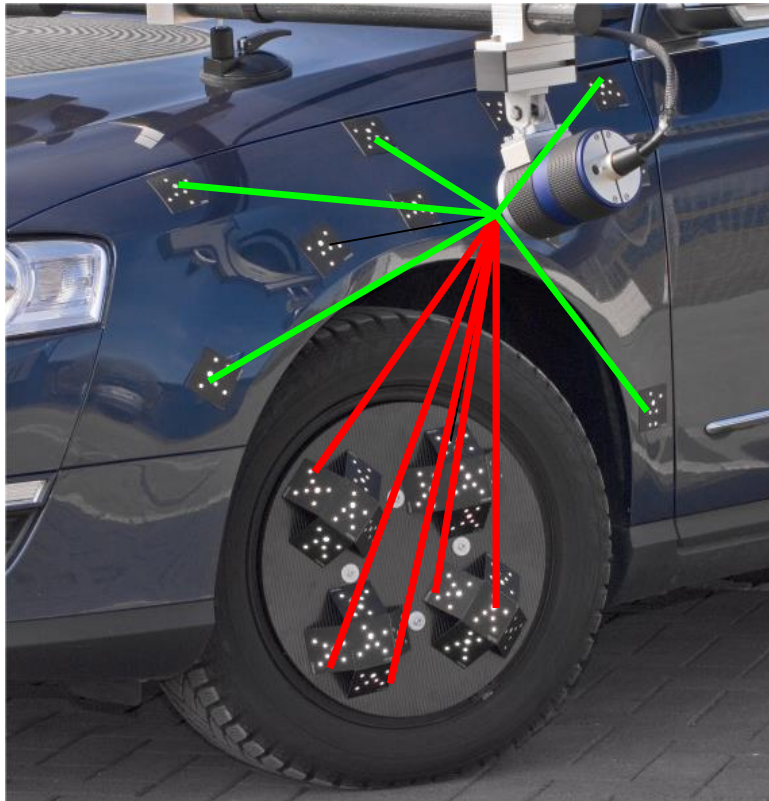
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Anwendungsbeispiele

Industrie und Ingenieurwesen

Dynamische Radvermessung



6DOF-Messung der Radbewegung mit 500 Hz

Genauigkeit ca. 0.1 mm



WheelWatch (AICON)

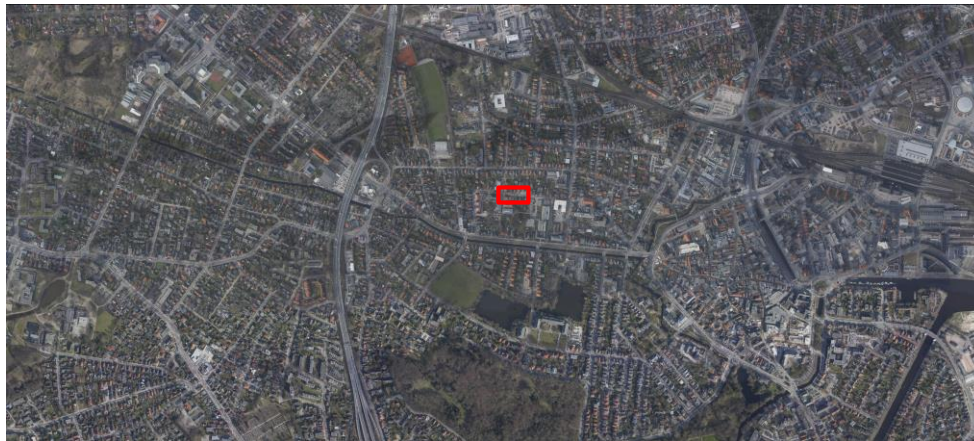
Slalomfahrt (AICON)

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Stadtmodelle und Geoinformationssysteme



Digitale Luftbilder
Auflösung ca. bis 6cm



Mobile Mapping System mit Laserscanner

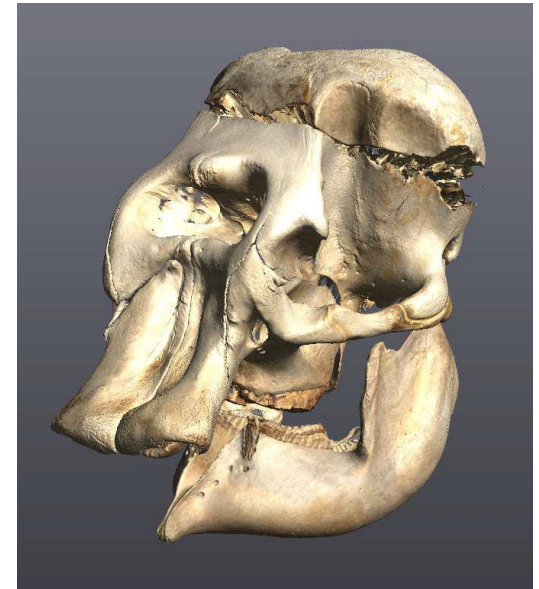
3D-Erfassung des Goethe-Elefantenschädels



Goethe-Elefant im
Otto-Neumuseum Kassel



3D-Modelle einzelner Schädelteile



Gesamtmodell

T. Luhmann

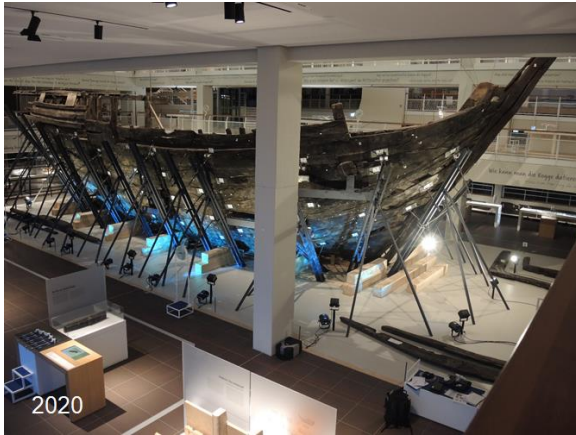
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Anwendungsbeispiele

Kulturerbe und Denkmalpflege

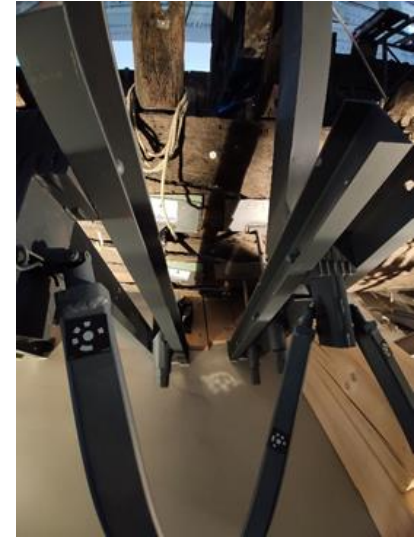
Monitoring der Bremer Kogge



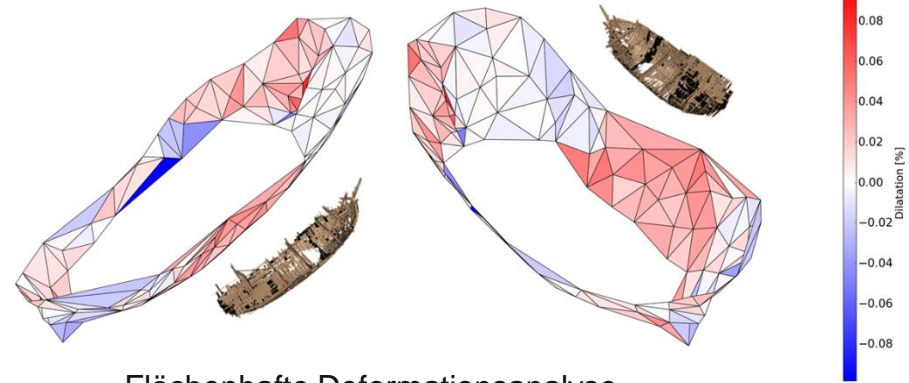
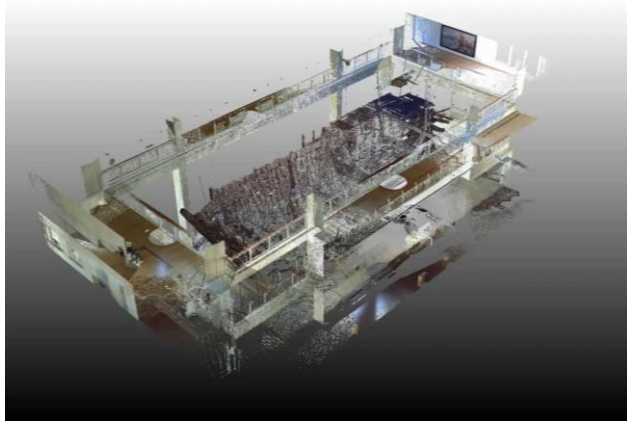
Kogge im Deutschen Schifffahrtsmuseum



Netzmessung mit Lasertracker: RMS = 0,05mm



Photogrammetrische Zielmarken



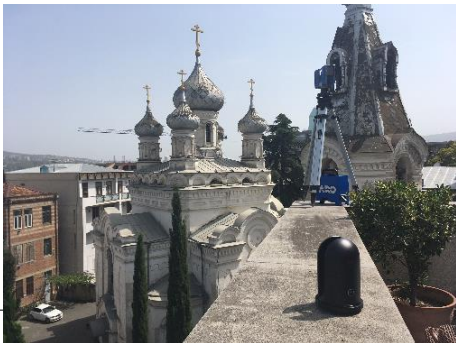
Flächenhafte Deformationsanalyse

T. Luhmann

Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

3D-Modellierung historischer Kirchenbauwerke in Georgien



Kloster Lurdji, Tiflis, Georgien

T. Luhmann

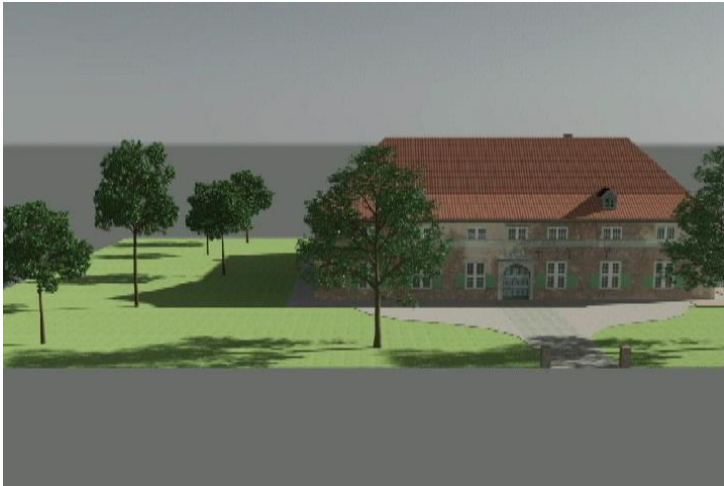
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© 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

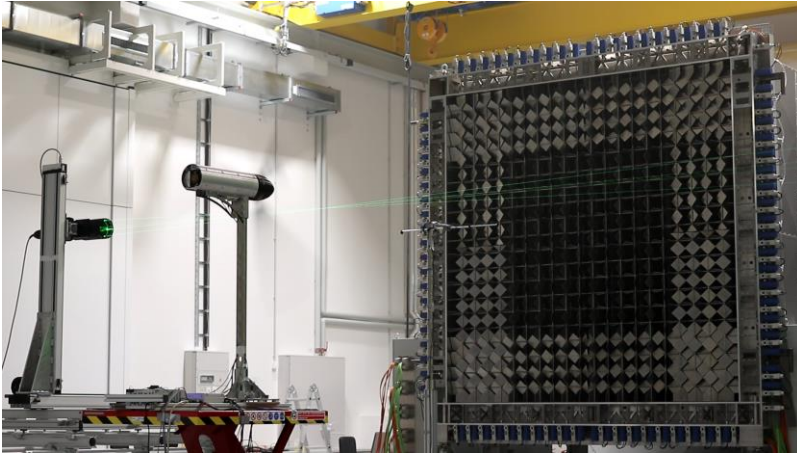
Photogrammetrie und optische 3D-Messtechnik

© Luhmann 2022

Studium und danach

Aktuelle Forschungsthemen

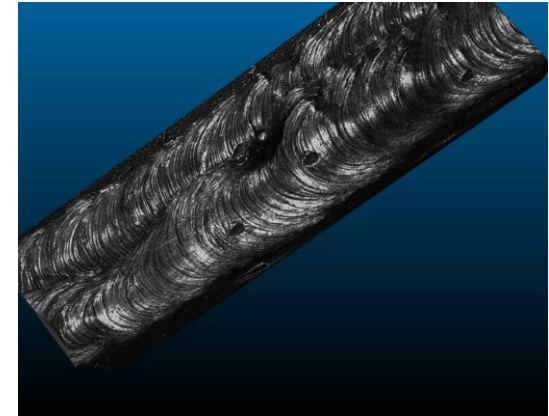
Windenergie



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