

# Digitale Objekterfassung

## *Digital object acquisition/ digital object recording*

Modul 3 / WS 1. Fachsemester

Prof. Dr. Mona Hess und Dipl.-Ing. Maria Chizhova

Kontakt: [Mona.Hess@uni-bamberg.de](mailto:Mona.Hess@uni-bamberg.de)

Twitter: @Mona3Dimaging

# Information zum Modul 3 Digitale Objekterfassung

Kursdozentin: Prof. Dr. Mona Hess, Dipl.-Ing. Maria Chizhova, Dr. John Hindmarch

**Flexnow: dieser Kurs besteht aus drei Elementen plus Leistungsnachweis !  
Insgesamt 10 ECTS.**

Veranstaltungszeiten des Kurses während des Semesters:

1. Vorlesung, 2 SWS, ECTS-Credits: 3 , obligatorische Lehrveranstaltung, Zeit und Ort: Di 9:00 - 11:00, ZW6/00.15, CIP Pool
2. Seminar, 2 SWS, ECTS-Credits: 2, obligatorische Lehrveranstaltung, Zeit und Ort: Di 12:00 - 14:00, ZW6/00.15; Bemerkung zu Zeit und Ort: ZW6/0.15 CIP Pool
3. Anwendungswoche Digitale Objekterfassung 2 SWS, ECTS-Credits: 5, obligatorische Lehrveranstaltung, Zeit und Ort: n.V.;
4. Prüfung/Leistungsnachweise: 20% Zwischenprüfung (07.01.2020 – 30 Minuten), 80% Portfolio Abgabe VC

# Denkmalpfleger im Erweiterungsbereich Digitale Objekterfassung (M-DDT-GL-3) und (M-EB-DDT-GL-3)

- WS2019-20: Digitale Denkmaltechnologien, Modul 03 Digitale Objekterfassung (M-DDT-GL-3) und (M-EB-DDT-GL-3)

## Erweiterungsbereich

Zeit und Ort: Vorlesung Di 9:00 - 11:00, Übung Di 11:00 - 13:00,  
ZW6/00.15

- Anwendungswoche 11.-14.Februar 2020, Ort nach Vereinbarung
- Für den Erweiterungsbereich M.A. Denkmalpflege: Das Modul kann entweder nur aus Teil 1 (Vorlesung und Seminar) bestehen, dann 5 ECTS, oder in Kombination mit Teil 2 (Anwendungswoche), dann 10 ECTS. Um Teil 2 belegen zu können ist Teil 1 Voraussetzung. Prüfungsleistung Teil 1: Klausur, Teil 2: Portfolio (Objekterfassung)

# Lernziele / Kompetenzerwerb in diesem Modul

## Lernziele/Kompetenzerwerb:

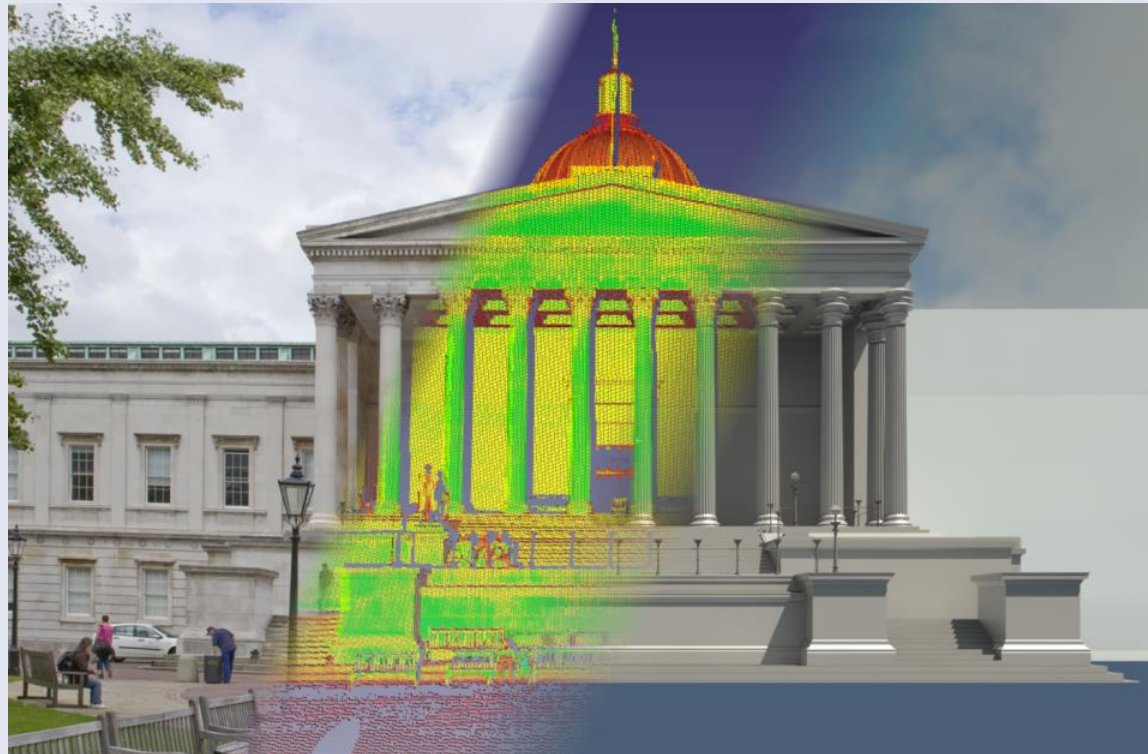
Die Studierenden erhalten eine theoretische und praktische Einführung in die Möglichkeiten und Methoden der digitalen Objekterfassung. Die Ziele der Objekterfassung in der Denkmalpflege werden erläutert, Erfassungsinhalte und Erfassungstiefen vergleichend dargestellt.

## Inhalte:

- Physikalische Grundlagen der optischen Messverfahren
- Theoretische und praktische Einführung in 3D optische Messverfahren und deren Nachbearbeitung und Auswertung (beispielsweise Photogrammetrie/ SfM, 3D strukturiertes Licht und 3D Laserscanning)
- Anwendungsbeispiele für Nahbereichsvermessung, terrestrische Vermessung/ Gebäudevermessung und Fernerkundung  
Räumliche Messverfahren in Kombination und Korrelation mit anderen Messmethoden

# Überblick zur Vorlesung und Übung

Nr	Datum	Vorlesung
1	15.10.2019	Einführung in die Digitale Objekterfassung, Technische Demonstration GEOSlam ab 12:30
2	22.10.2019	Bildgebende Verfahren
3	29.10.2019	Nahbereichsphotogrammetrie
4	05.11.2019	Terrestrische Photogrammetrie, SfM
5	12.11.2019	Luftbildphotogrammetrie, Fernerkundung
6	19.11.2019	Strukturierte Belichtung, Fokussierungs- und Schattierungsverfahren
7	26.11.2019	Einführung in Vermessung
8	03.12.2019	3D Laserscanning (terrestrisch und airborne)
9	10.12.2019	
10	17.12.2019	Interferometrie
13	07.01.2020	<b>Zwischenevaluation/ Prüfung</b>
12	14.01.2020	Mobile Mapping and SLAM
14	21.01.2020	Data Fusion und Export
15	28.01.2020	Qualitätskontrolle
15	04.02.2020	Letzte Veranstaltung: Ausblick auf die Anwendungswoche, Vorbereitung auf die Formalen Aspekte des Portfolios, und Evaluierung



## Heute: Einführung Digitale Objekterfassung

Von 3DIMPact (3D imaging, metrology and photogrammetry research group, University College London)

# Einführung in die Digitale Objekterfassung und die bildgebenden Verfahren

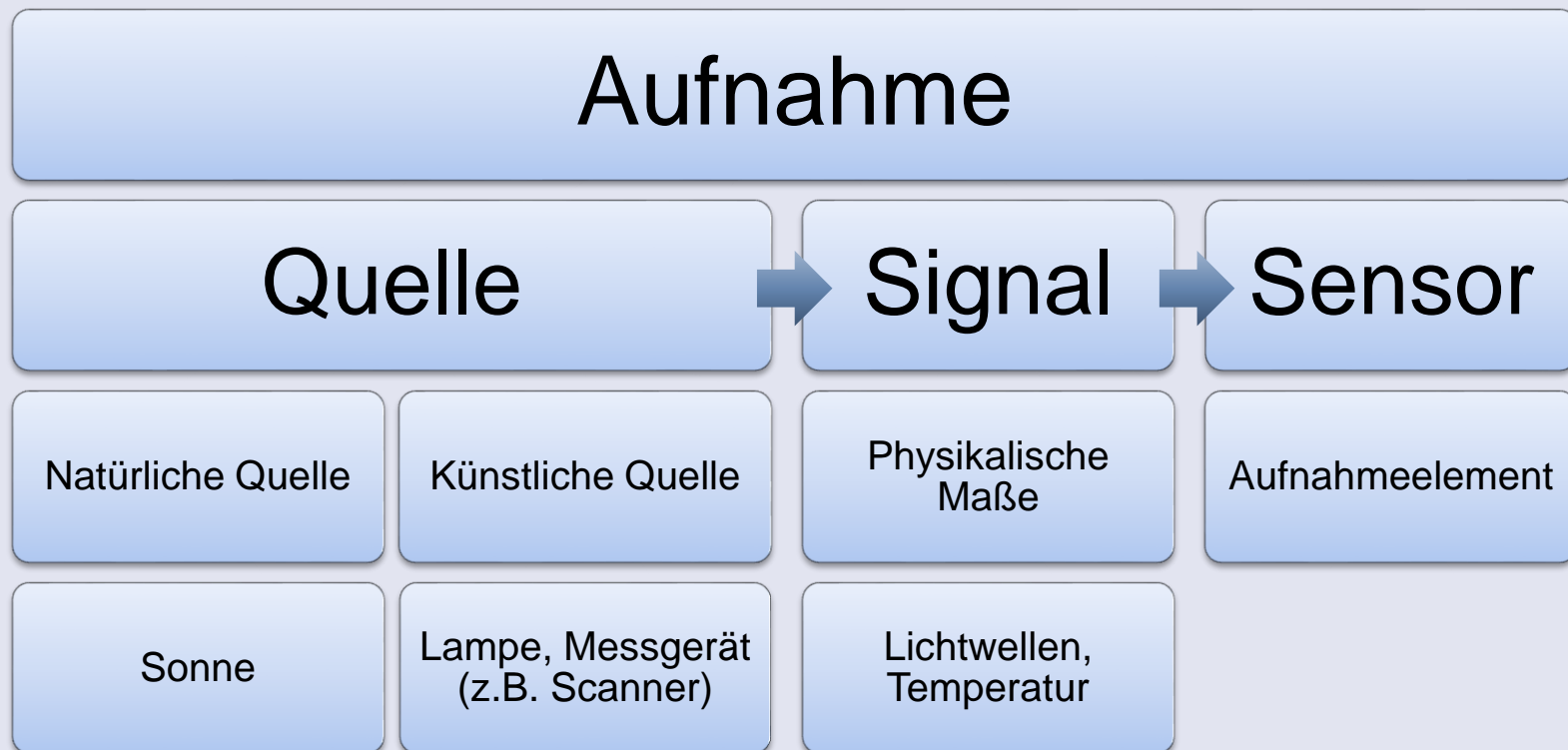
- Grundlagen
- Digitale Objekterfassung von 1D zu 3D
- Überblick der Klassifizierung von Optischen Messverfahren
- Anwendungen von optischen Messverfahren
- Fallstudien in der Denkmalpflege

# Grundlagen



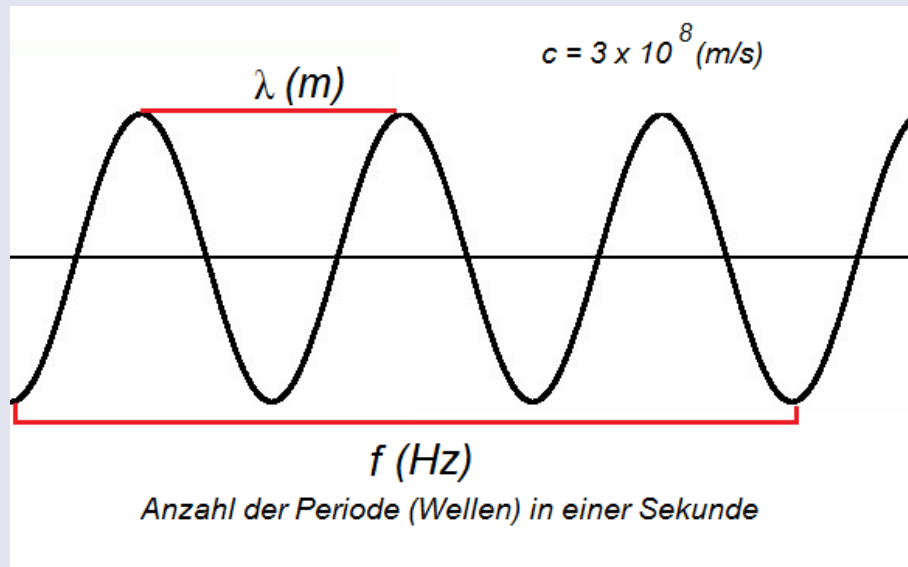
# Aufnahme und ihre Komponente

**Aufnahme/Erfassung** - Aufzeichnung eines Bildes, einer Begebenheit, eines akustischen oder sonstiger Ereignisse auf ein entsprechendes Trägermedium (Vorgang)



# Licht: elektromagnetische Strahlung

Licht = Signal → Informationen über Objekt



## Parameter

- Wellenlänge  $\lambda$  m
- Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \times 10^8$  m/s
- Frequenz der Welle  $f$  Hz

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

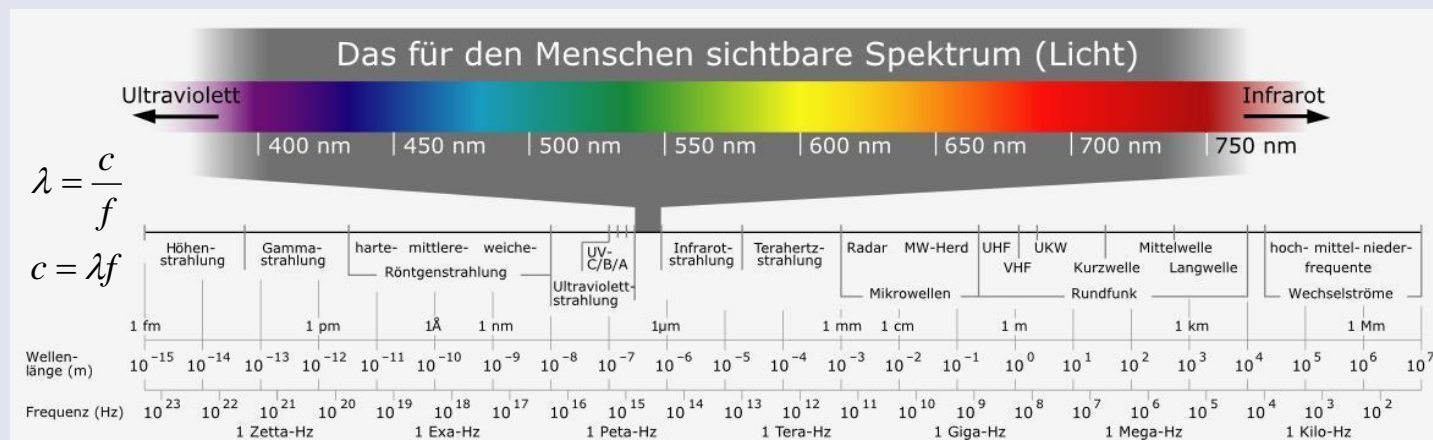
$$c = \lambda f$$

# Einheiten

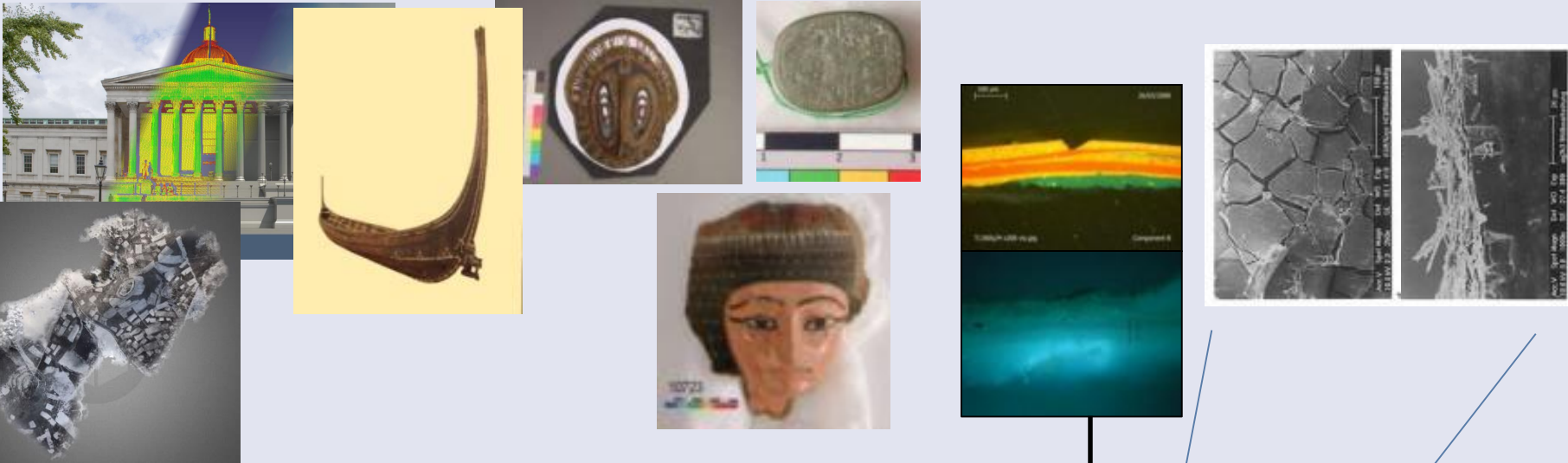
- m = Meter =  $10^0$
- cm = Zentimeter =  $10^{-2}$
- mm = Millimeter =  $10^{-3}$  = **0,1cm**
- $\mu\text{m}$  = Mikrometer =  $10^{-6}$  = **0,001mm = 1/1000mm**
  - Beispiel = 10  $\mu\text{m}$  Dicke eines menschlichen Haares
- nm = Nanometer =  $10^{-9}$
- pm = Pikometer =  $10^{-12}$

# Physikalische Grundlagen: Elektromagnetische Strahlung

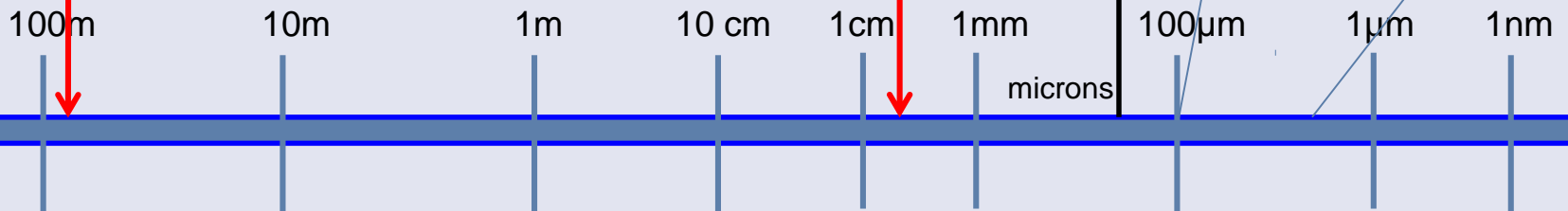
Strahlung	Wellenlänge	Sensoren	Anwendungen
Röntgen	10 pm – 1 nm	Röntgengerät	Medizinische Diagnostik, Materialprüfung
Ultraviolett (schwach)	200 nm – 380 nm		Fernerkundung, UV-Reflektographie
Sichtbares Licht	380 nm – 780 nm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung,
Nahes Infrarot 1	780 nm – 1.1 µm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung, IR-Reflektographie
Nahes Infrarot 2	1.1 µm – 2.5 µm		Fernerkundung
Mittleres Infrarot	2.5 µm – 50 µm	Thermalkamera	Thermographie, Materialprüfung, Bauwesen, Fernerkundung
Mikrowellen	1 cm – 10 cm	Radarantenne	Radargrammetrie, Fernerkundung



# Reale Objekte, die erfasst werden können



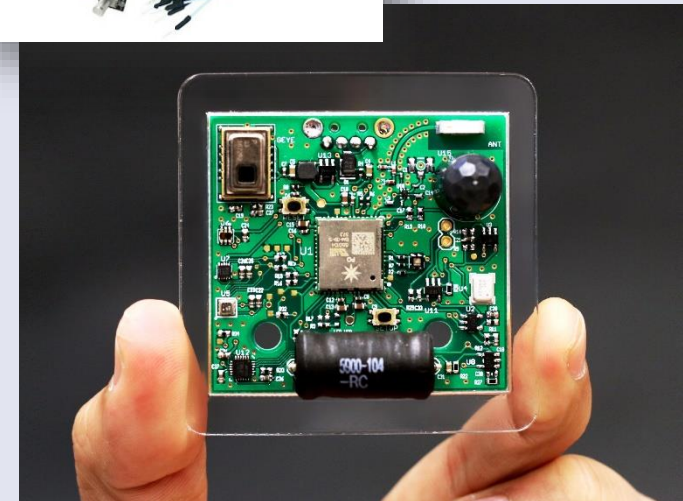
Objekterfassung



Menschliches Haar

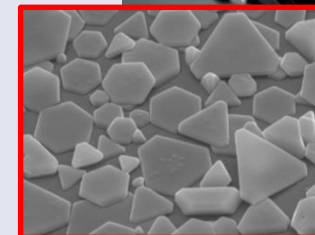
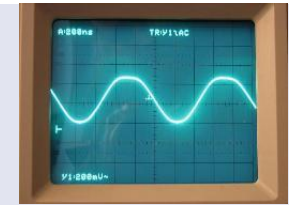
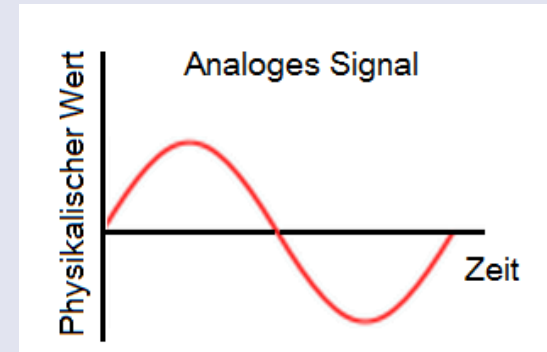
# Sensor

- Element zur Aufnahme elektromagnetischer oder anderer Signale
- Dient zur
  - Messung physikalischer Größe
  - Konvertierung dieser Größe in Signal für weitere Auslese und Prozessieren
- Sensoren:
  - Analog
  - Digital
- Kalibrierung – Rückführung der Sensorparameter relativ zu den Referenzgrößen



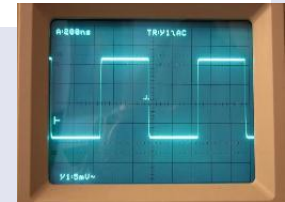
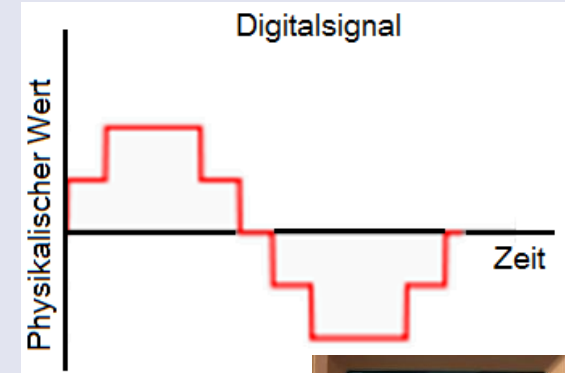
# Analoge Sensoren

- Analoge Sensoren:  
Generieren ein kontinuierliches – analoges Signal
- In Photogrammetrie und Photographie:
  - Anwendung der „Analogkamera“
  - physikalischem/chemischem Aufnahmeprinzip
  - „nicht digital“/„nicht elektronisch“
  - Sensor:
    - fotografischen Film – Folie mit Fotoemulsion (dünne lichtempfindliche Schicht)
    - Fotoplatten (aus Metall oder Glas mit Fotoemulsion)



# Digitale Sensoren

- Digitale Sensoren:  
Generieren ein Digitalsignal in Form eines diskreten gestuften Wertvorrates
- Digitale Bildsensoren:  
sind „elektronisch“ 😊
- Klassifikation
  - Im Sichtbaren Bereich & Infrarot
    - CCD (Charge-Coupled Device)
    - CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)
  - Lasersensoren (400 – ca 1400 nm)
  - Nanosensoren
  - Röntgensensoren





# Physikalische Grundlagen: Einteilung der Sensoren

Strahlung	Wellenlänge	Sensoren	Anwendungen
Röntgen	10 pm – 1 nm	Röntgengerät	Medizinische Diagnostik, Materialprüfung
Ultraviolett (schwach)	200 nm – 380 nm		Fernerkundung, UV-Reflektographie
Sichtbares Licht	380 nm – 780 nm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung,
Nahes Infrarot 1	780 nm – 1.1 µm	CCD, CMOS, Film	Photogrammetrie, Fernerkundung, IR-Reflektographie
Nahes Infrarot 2	1.1 µm – 2.5 µm		Fernerkundung
Mittleres Infrarot	2.5 µm – 50 µm	Thermalkamera	Thermographie, Materialprüfung, Bauwesen, Fernerkundung
Mikrowellen	1 cm – 10 cm	Radarantenne	Radargrammetrie, Fernerkundung



# Dimensionen

# Die Formen erfasster Informationen: 1D, 2D, 3D



1D



2D



3D

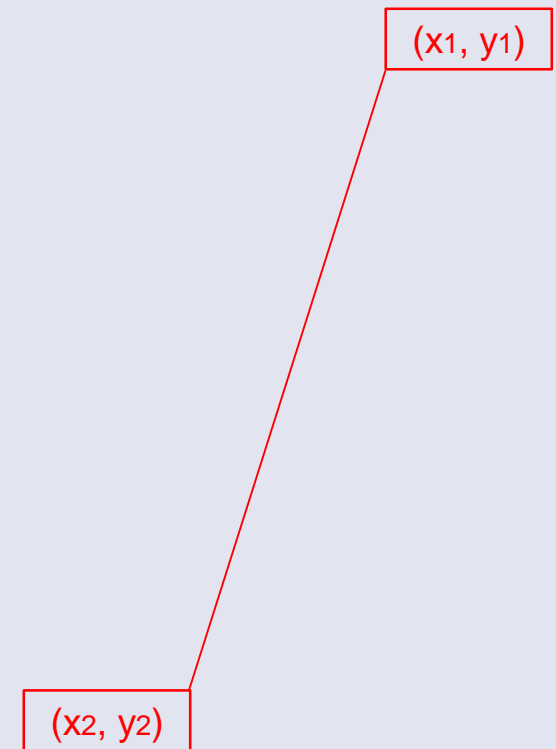
# 1D

- Einzelne Messgrößen
- Output: 1 Messwert
- Beispiel:
  - Druckmessung – 20 bar
  - Längemessung – 2m
  - Graustufenwert des Pixels - 136
- Technisch angesehen: 1D Vektor  
(z.B.: [Abstand])



## 2D

- 2 Parameter bzw. 2 Komponente eines Parameters
- Beispiel:
  - 2D Koordinaten (x,y)
  - Zeit/Frequenz
  - usw.
- Beschreibt öfters planare/ebene Objekte und Informationen im 2D-Raum (z.B. Bild, Zeichnung)
- 2D Vektor: [Länge, Höhe], [Koordinate X, Koordinate Y]

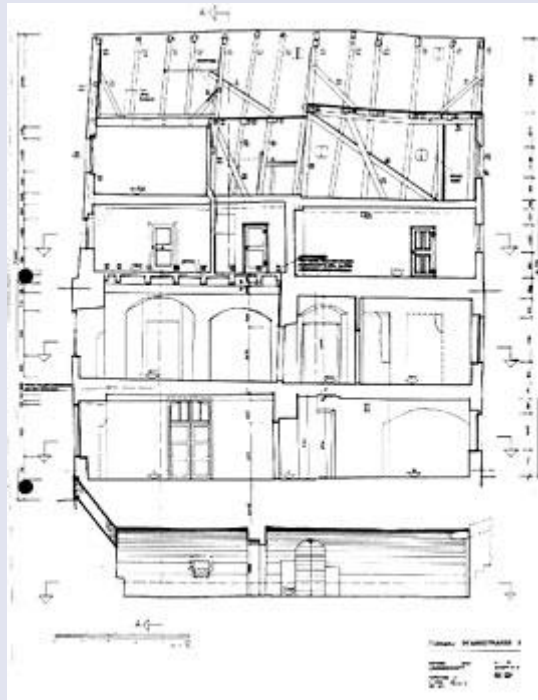


# 2D Plan: Photogrammetrie Meydenbauer Archiv 1885



[http://www.bldam-brandenburg.de/messbildarchiv/messbildarchiv\\_c/geschichte-des-messbildarchivs.html](http://www.bldam-brandenburg.de/messbildarchiv/messbildarchiv_c/geschichte-des-messbildarchivs.html)

# Verformungsgerechtes Aufmass und Bauforschung



# Orthofotografie/ Plangrundlage: 2D Fassadenplan Beispiel / CAD

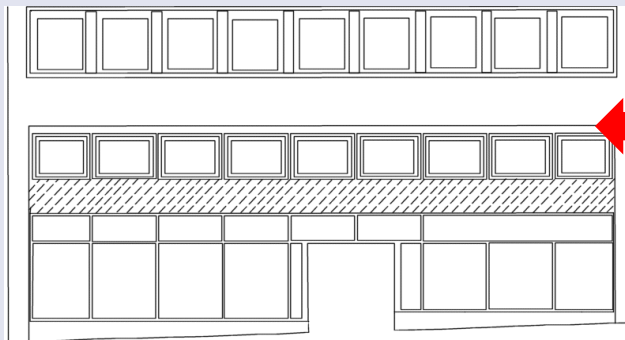


Originalbild

Umbildung  
→  
Entzerrung



Entzerrtes Bild



Aus Entzerrung abgeleiteter Fassade



Entzerrung mit überlagerter Zeichnung

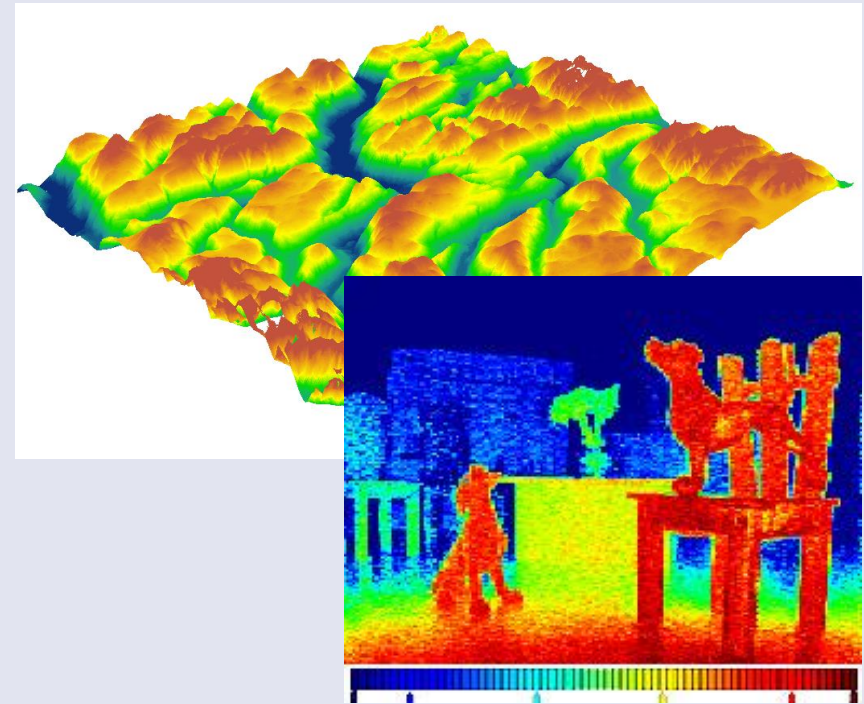


# Panorama-Fotografie



## 2.5D (Pseudo 3D)

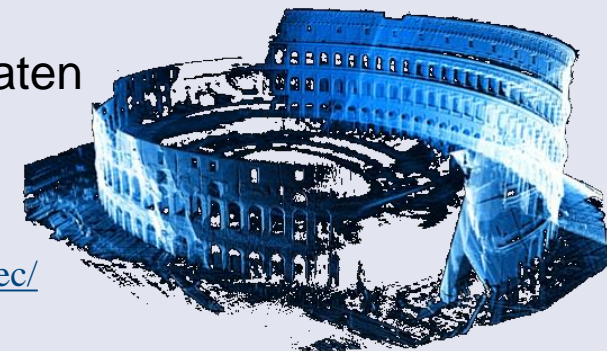
- 2D + 1 Abstand zum Sensor/Aussichtspunkt
- Funktion von XY Koordinaten
- Beispiele:
  - DEM Digital Elevation Model
  - Range Image



2.5D = Koordinaten (X,Y) + Abstand (extra gespeichert)

# 3D

- 3 Parameter bzw. 3 Komponente eines Parameters
- Beispiel:
  - 3D Koordinaten (x,y,z)
  - Farbwerte des Pixels (R,G,B)
- Beschreibt öfters räumliche Objekte und Informationen in 3D (z.B. Volumenkörper)
- 3D Vektor: [Länge, Breite, Höhe], [X,Y,Z]
- Formen der 3D Informationen:
  - Mengen von 3D Punkten mit X,Y,Z-Koordinaten
  - Volumenkörper
  - Oberflächen
  - 3D Modelle



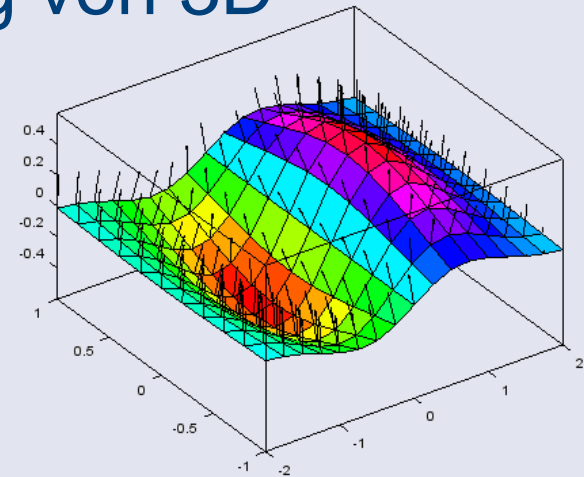
<https://www.kpbs.org/news/2015/dec/14/time-scanners-colosseum/>

## 3D Digital Imaging (Abbildung):

- 3D-Messungen
  - Koordinatensatz  $(x,y,z)$  auf einer Fläche
  - jede Koordinate hat eine Unsicherheit (Abweichung von einem wahren Wert).
- Digital
  - Verarbeitung,
  - Interpretation,
  - Speicherung,
  - Übermittlung,
  - Übertragung
- Bild: als 2D-Array angeordnet
- Modell: Oberflächendarstellung
- Aussehen: Reflexionseigenschaften
- Virtualisierung: Eintrittspunkt der Realität in die virtuelle Welt
- 3D Digital Imaging: kein Stereoviewing, ist metrisch

# Datentypen für die Generierung von 3D Informationen

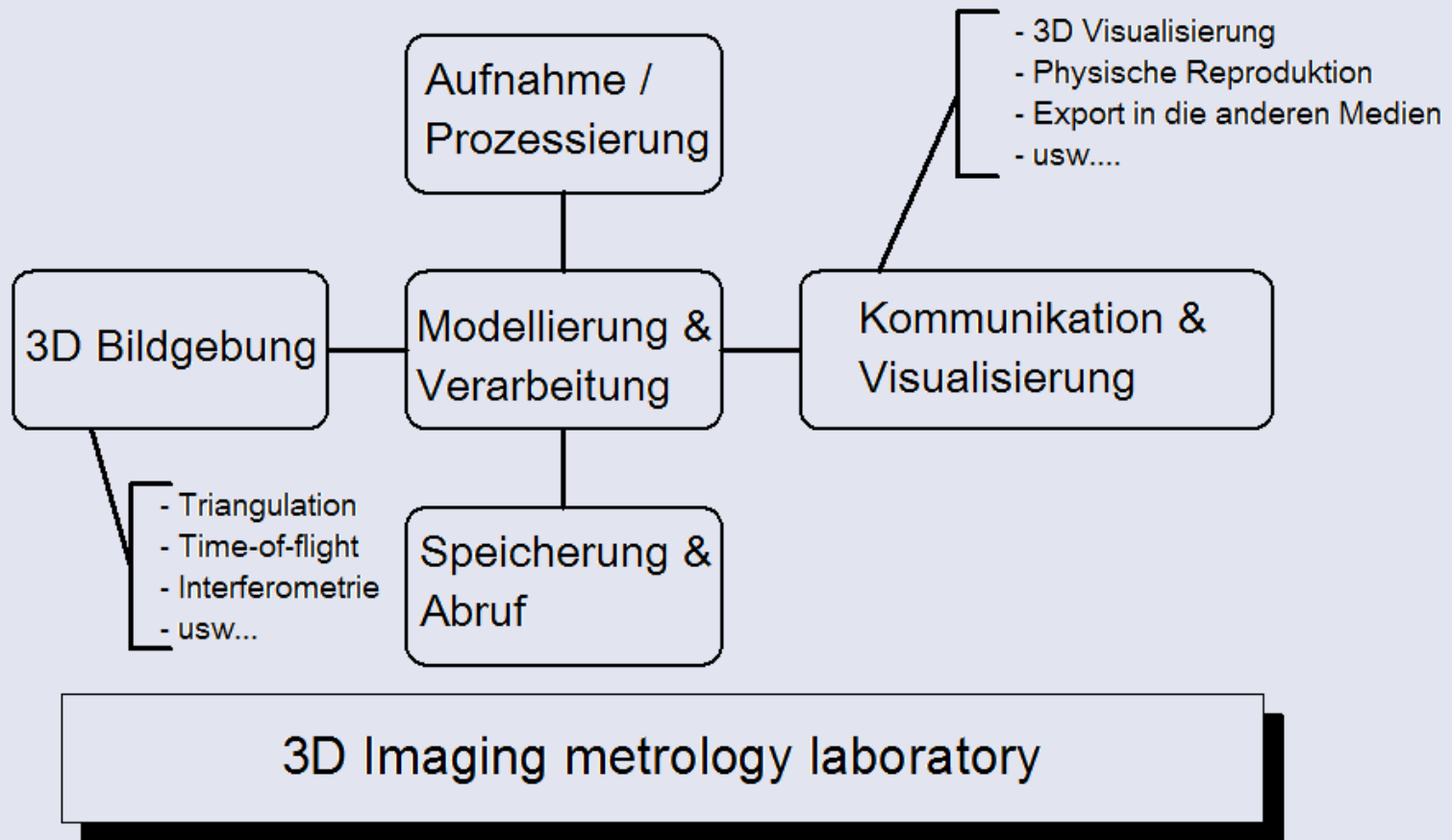
- Koordinate im Raum XYZ
- Farbinformation RGB
- Oberflächennormalen



1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	Y	Z	R	G	B	Nx	Ny	Nz
-331.307251	-299.935699	-80.195625	73	50	33	-0.118710	0.026869	0.992565
-331.308777	-300.034088	-80.190849	69	50	33	-0.126527	0.056180	0.990371
-331.311218	-300.152771	-80.183632	66	50	32	-0.089399	0.042501	0.995089
-331.312775	-300.274506	-80.180893	67	48	33	-0.057157	0.010259	0.998312
-331.313538	-300.395660	-80.181236	62	46	37	-0.086468	0.006351	0.996234

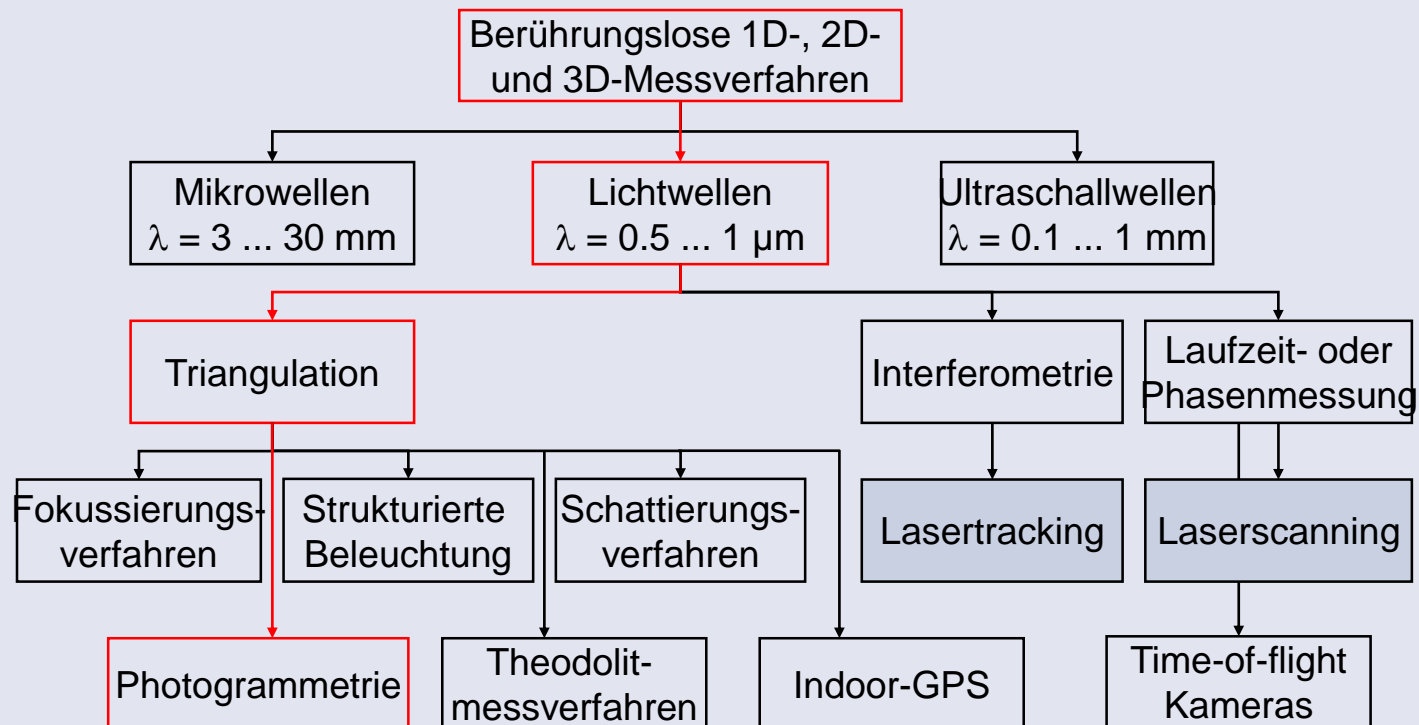
Beispiel Arius3D laser scanner

# 3D Medienmodell



# Klassifikation von optischen Messverfahren

# Klassifikation von optischen Messverfahren



Referenz:

Luhmann, T. *Nahbereichsphotogrammetrie*, 04. Auflage, neu bearb. erw.; Wichmann, H: Berlin, 2017.  
 T. Luhmann „Close range Photogrammetry and 3D Imaging“ (2017)

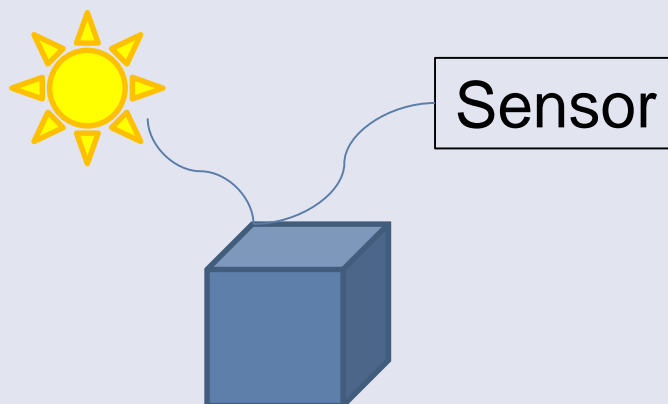
messverf1.ppt



# Lichtmessungen

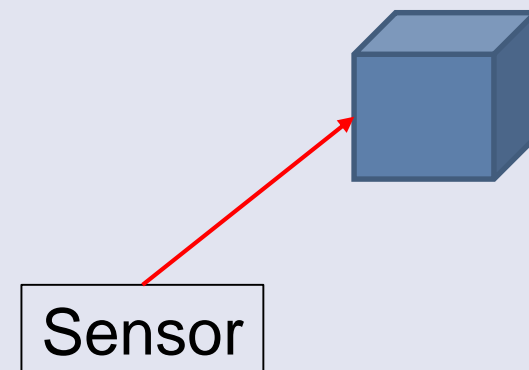
## Passiv

- Unstrukturierte Lichtquellen (z.B. Sonnenlicht)
- Beobachtet wird das vom Objekt reflektierte Licht

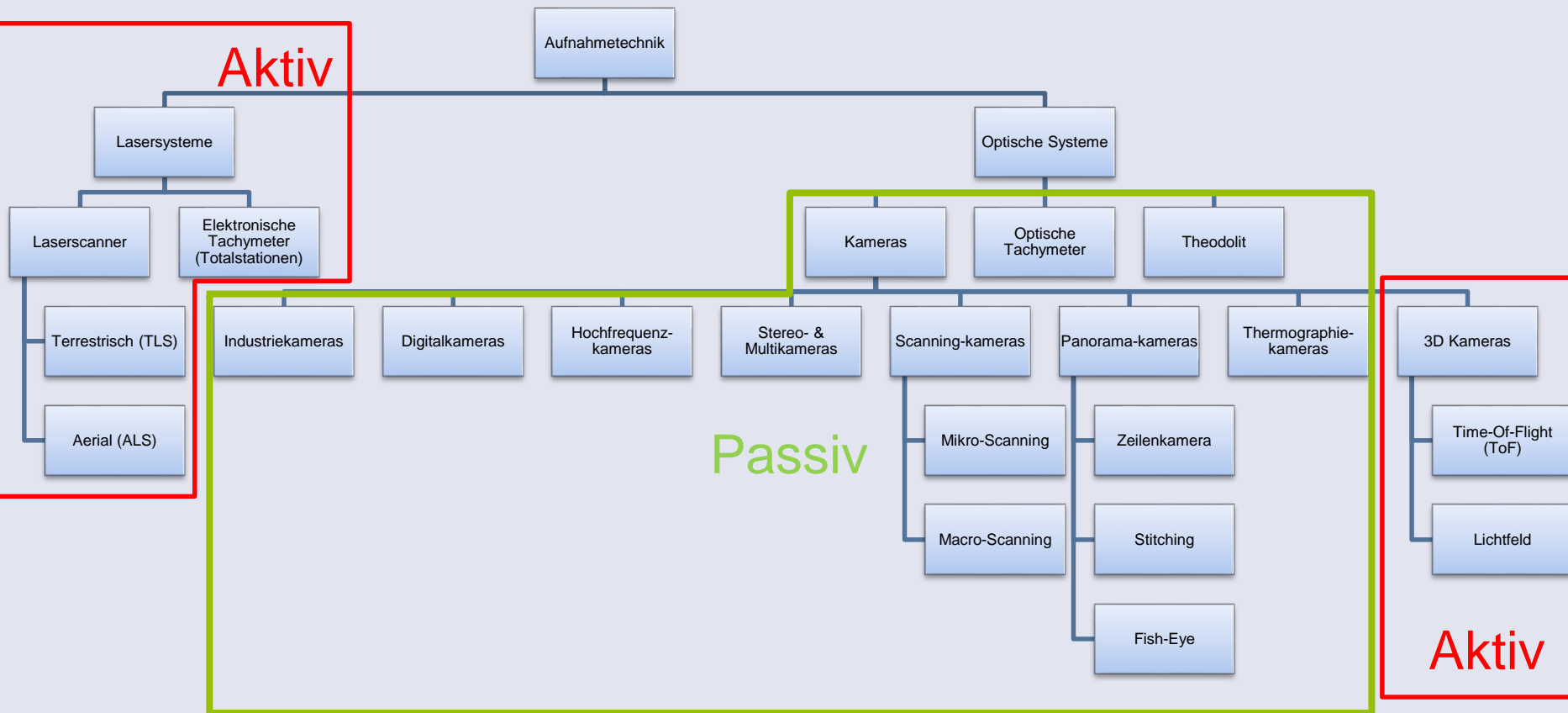


## Aktiv

- Strukturierte Lichtquelle (mit vordefinierten Parametern, z.B. ein Laserstrahl)
- Signal wird zum Objekt geschickt



# Aufnahmesysteme



# Industrie- & Digitalkameras (2D, 3D)

- Industriekameras:
  - alle Digitalkameras
  - einfacher Aufbau: Objektiv, Bildsensor, Elektronikkomponente
  - häufig für technische Messungen angewendet
- Digitalkameras:
  - kompakt (häufig für mobile Systeme)
  - low-cost
  - mittlerweile hochauflösend
  - Für Spezialisten und „Laien“



Referenz: T. Luhmann „Close range Photogrammetry and 3D Imaging“ (2017)

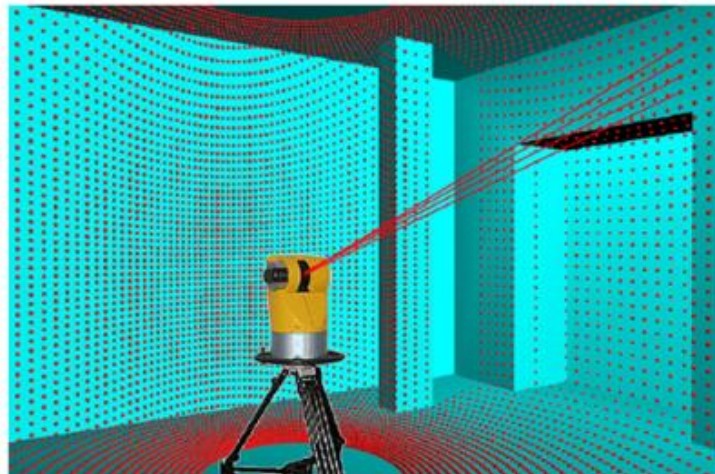
## Tachymeter und Theodolit (2D, 3D)

- Theodolit
  - Horizontalrichtungen
  - Vertikalwinkel
- Tachymeter:
  - Horizontalrichtungen
  - Vertikalwinkel
  - Distanz zum Objekt



# Laserscanning (3D)

- Erfassung:
  - mehrerer Entfernungen
  - Intensität
  - Farbe
- Intensitätsbilder
- Abstandsbilder
- Reale Farbbilder



# Optische Messverfahren

## Laser Scanner



© Riegl

© Leica

## Laser Tracker



© Leica

## Totalstationen



© Leica



© SICK

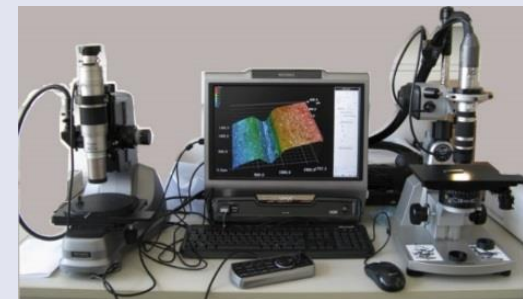


© Faro



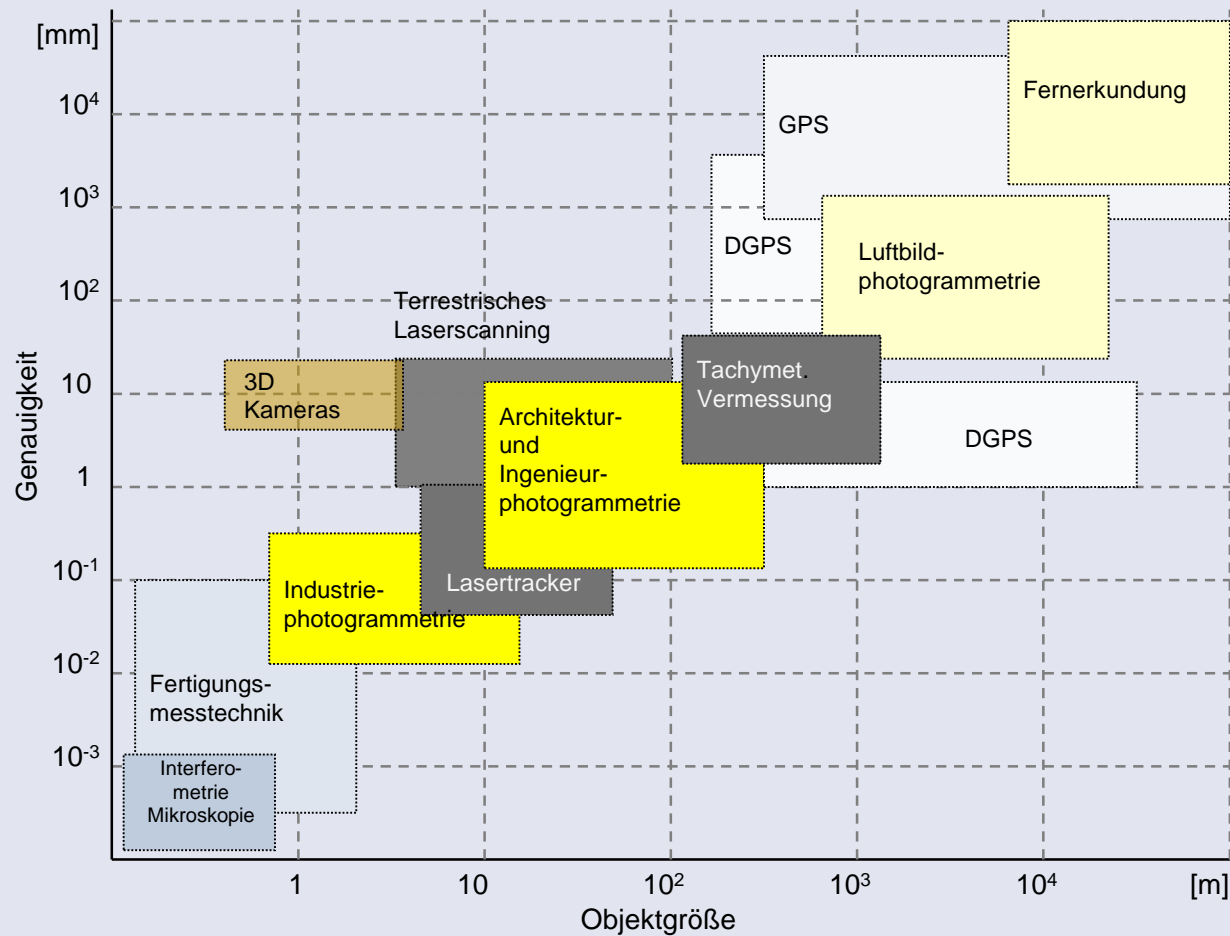
© API

## Sonstige Verfahren



Konfokales Mikroskop © Innovent

# Genauigkeit von 3D-Messverfahren



messverf1.ppt

Referenz: T. Luhmann „Close range Photogrammetry and 3D Imaging“ (2017)

## Entwicklung in der Sensortechnik

- Verschmelzung von Totalstation (Tachymeter) und Laser scanner
- Verkleinerung der Sensoren mit konsumerfreundlichen Preisen und automatisierter Datennachbearbeitung

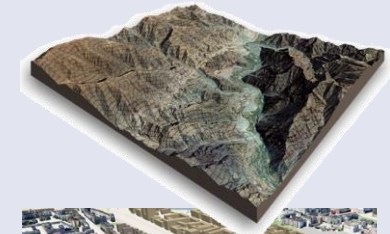
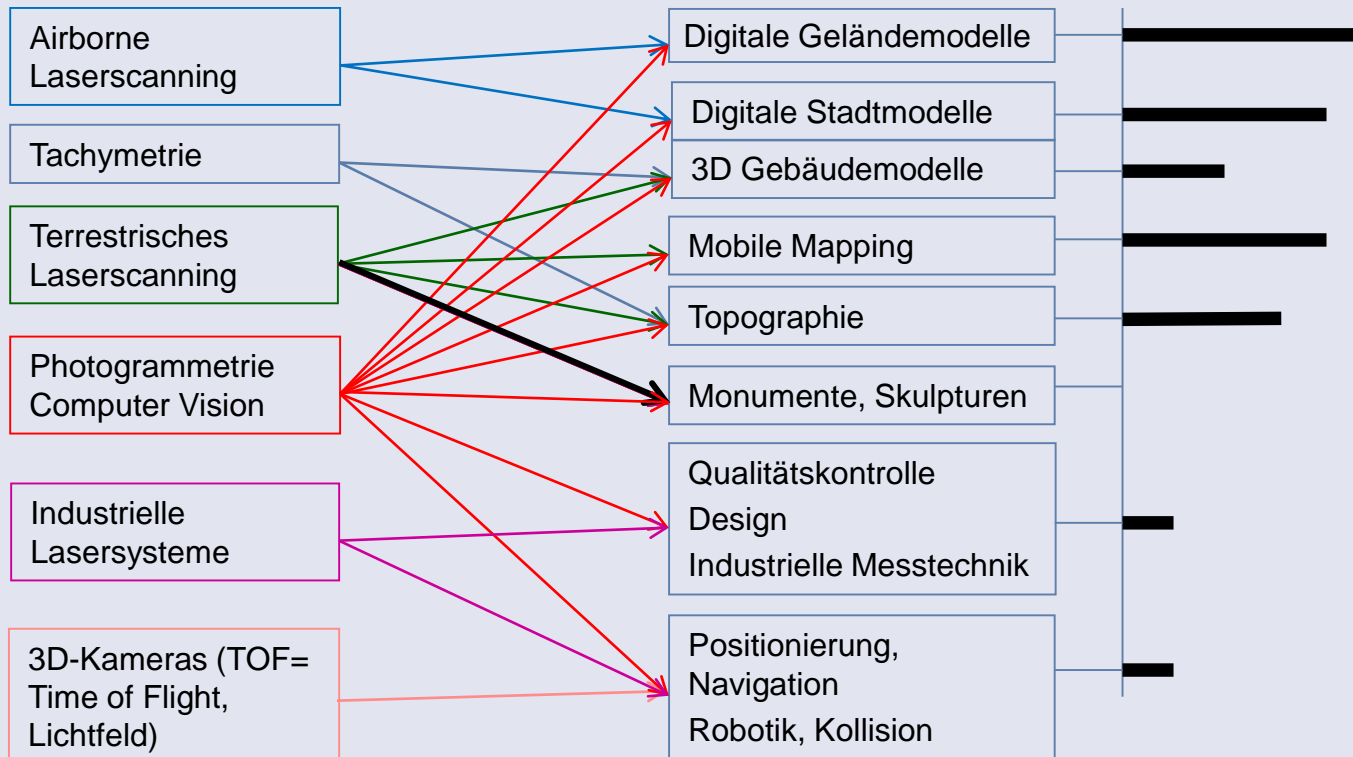




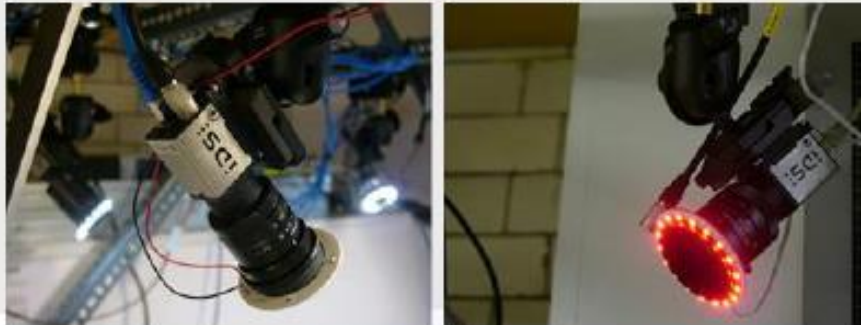
## Technologien

## Anwendungen

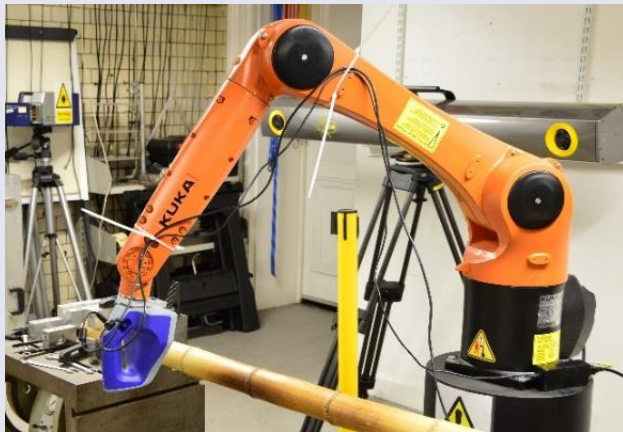
## Objektgröße



# Entwicklung in der Sensortechnik



- Machine vision Cameras : Industry 4.0
- Robotisch gesteuerte Oberflächenaufnahme
- SLAM
- Drohnen



# Und... kinderleicht

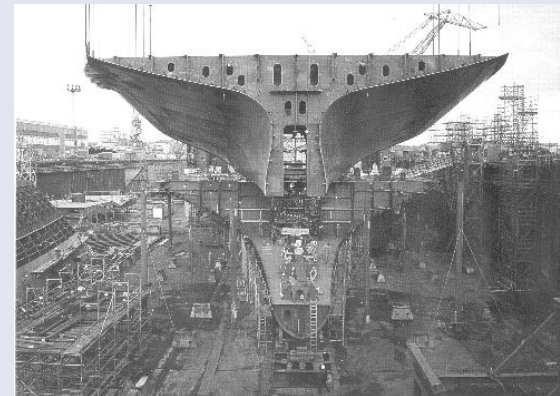


# Anwendungsbeispiele

# Anwendungen in der Messtechnik



Automobilbau



Schiffbau



Flugzeugbau

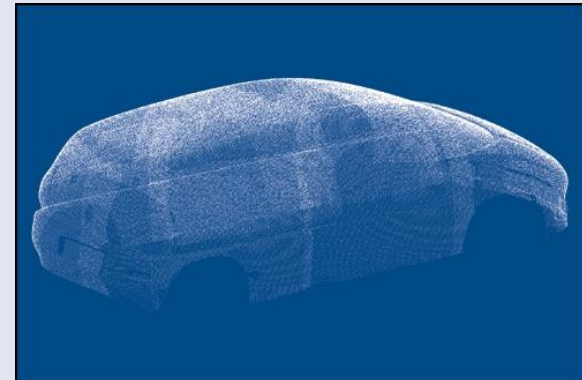


Unfallvermessung / Forensik

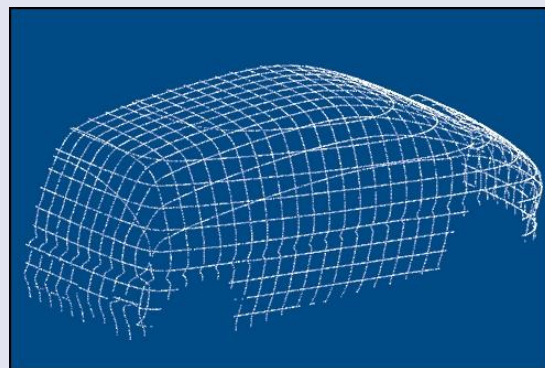
# Anwendungen im Design



Oberflächenmesssystem (GOM)



3D-Punktwolke

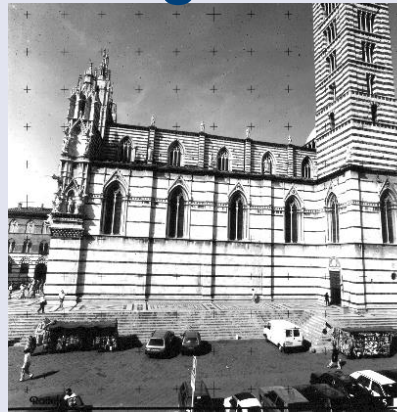


Oberflächenvermaschung  
Oberflächenrückführung / reverse engineering

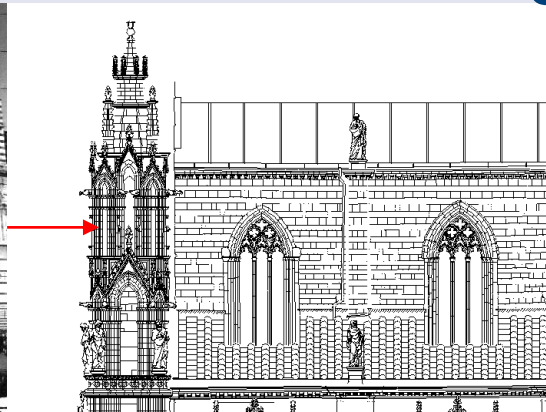


Schattiertes Modell

# Anwendungen in der Dokumentation von Kulturerbe, bzw. Konservierung und der Restaurierung



Messbild Dom von Siena



Strichauswertung



Mosaik Graf-Anton-Günter



Bildausschnitt

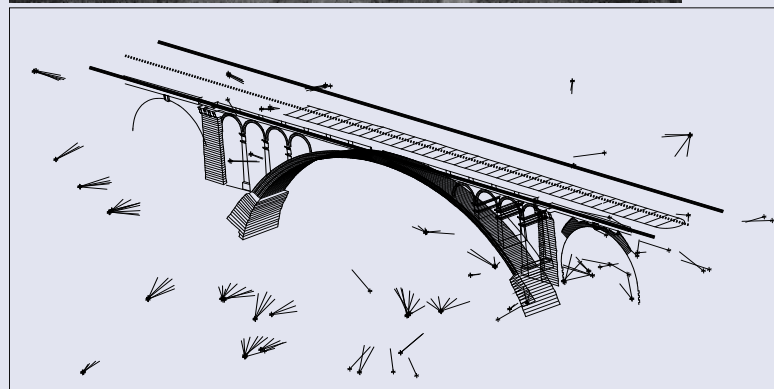
# Anwendungen im Ingenieurbau



Anbringung der Passpunkte



Pont Adolphe,  
Luxembourg



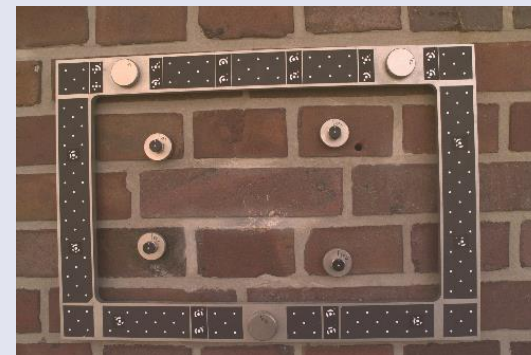
3D-CAD-Modell



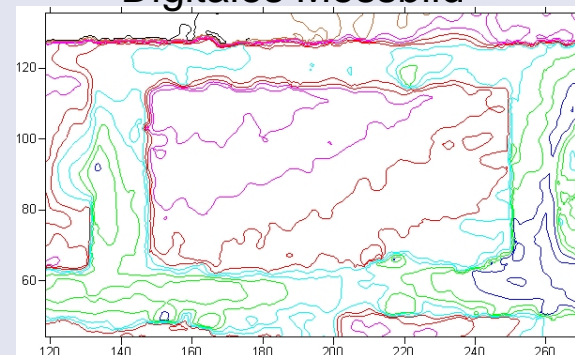
# Anwendungen in der Materialprüfung



Johanniskirche Lüneburg

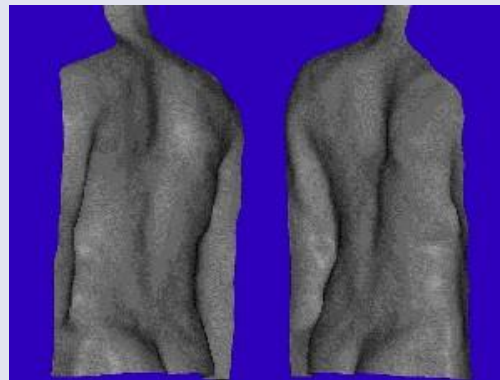


Digitales Messbild

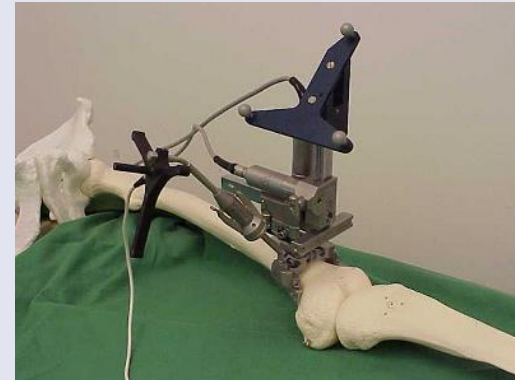


3D-Oberflächenmodell

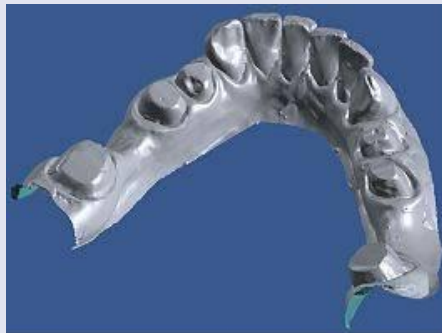
# Anwendungen in der Medizin



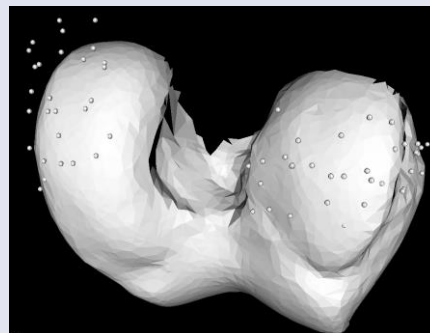
Rückenvermessung



Operationsroboter



Kiefervermessung

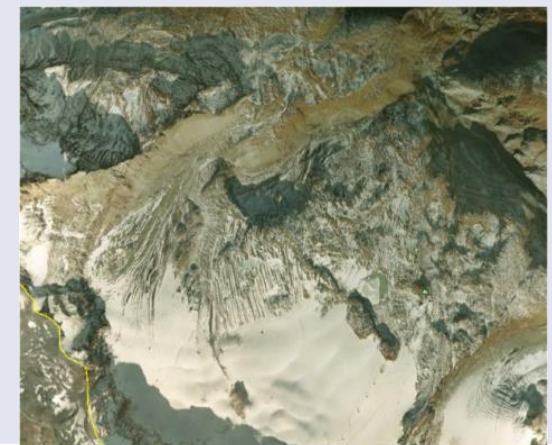


Computertomographie



Navigationssystem im OP

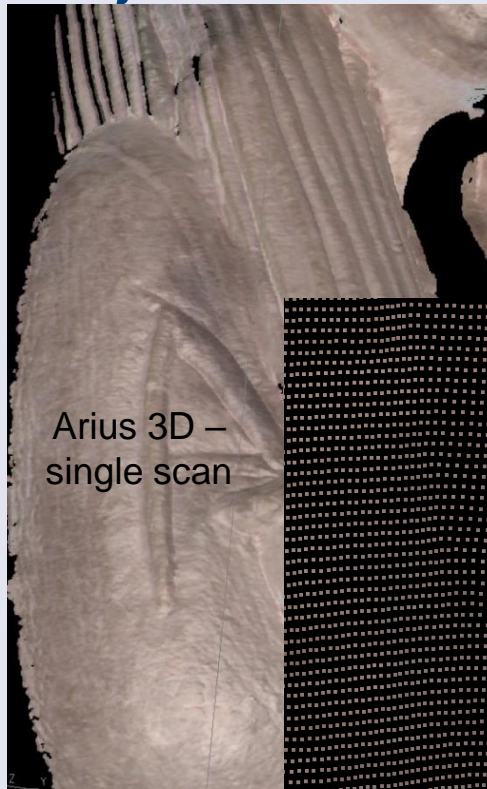
# Bildmaßstab



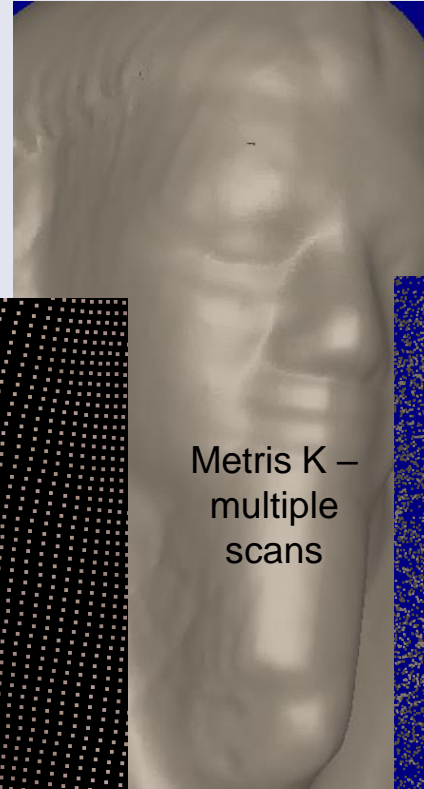
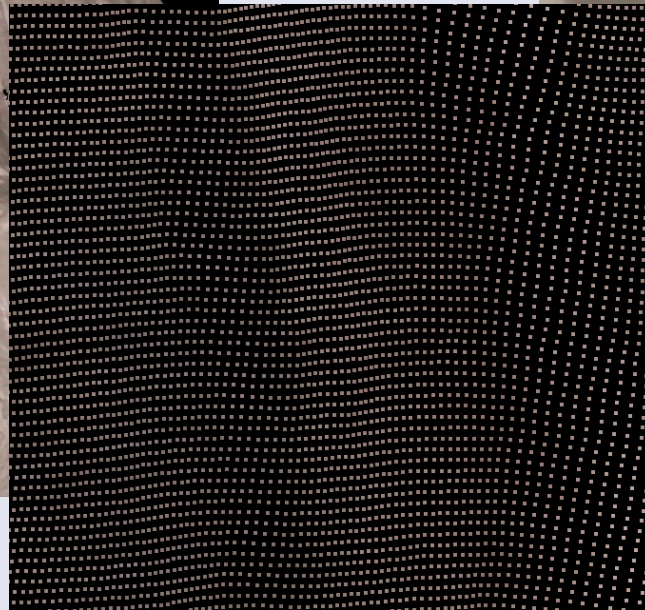
Näherungsweise gleicher Bildmaßstab im ganzen Bild

Ungleiche Bildmaßstäbe im ganzen Bild

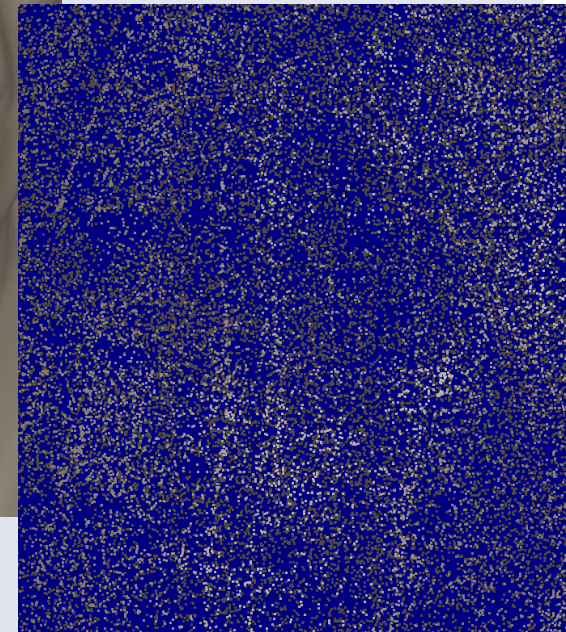
# 3D Punktwolke Nahbereich scanning: selbes Objekt, unterschiedliche Sensoren



Arius 3D –  
single scan

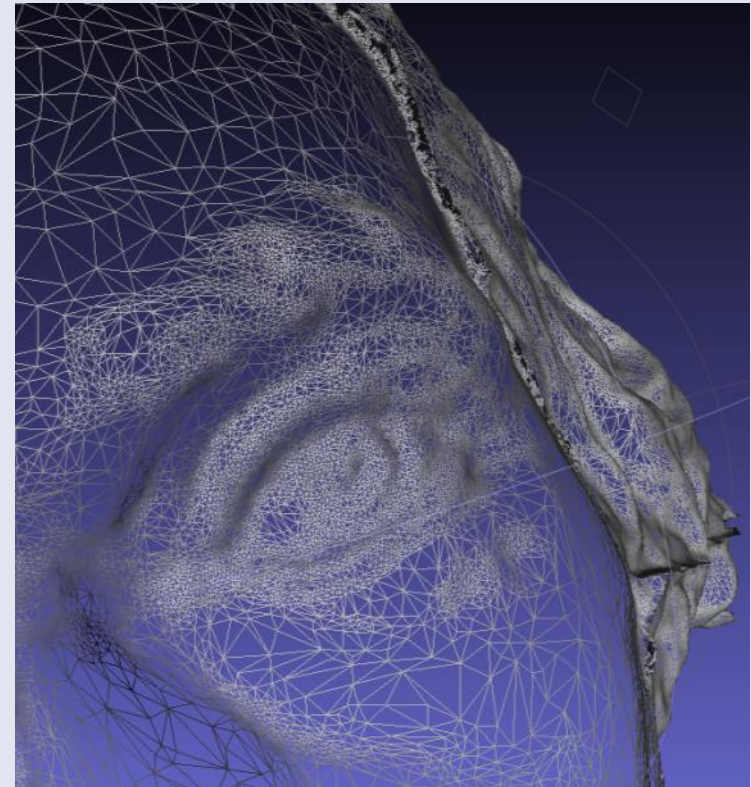
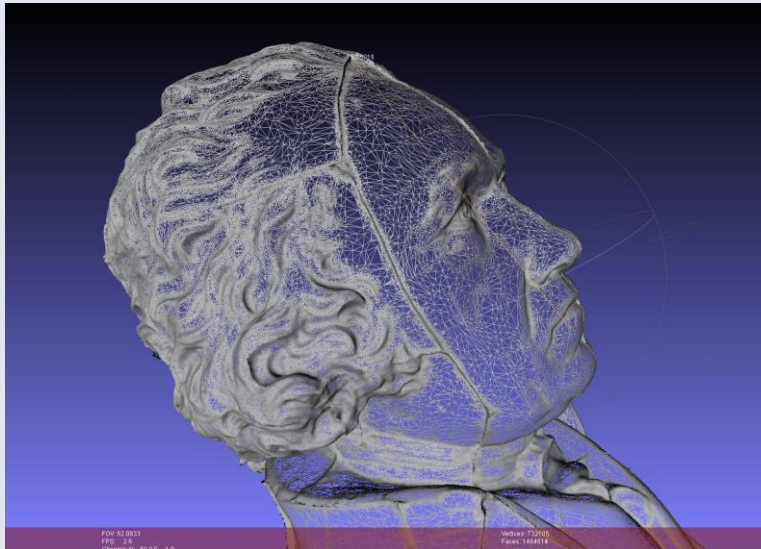


Metris K –  
multiple  
scans



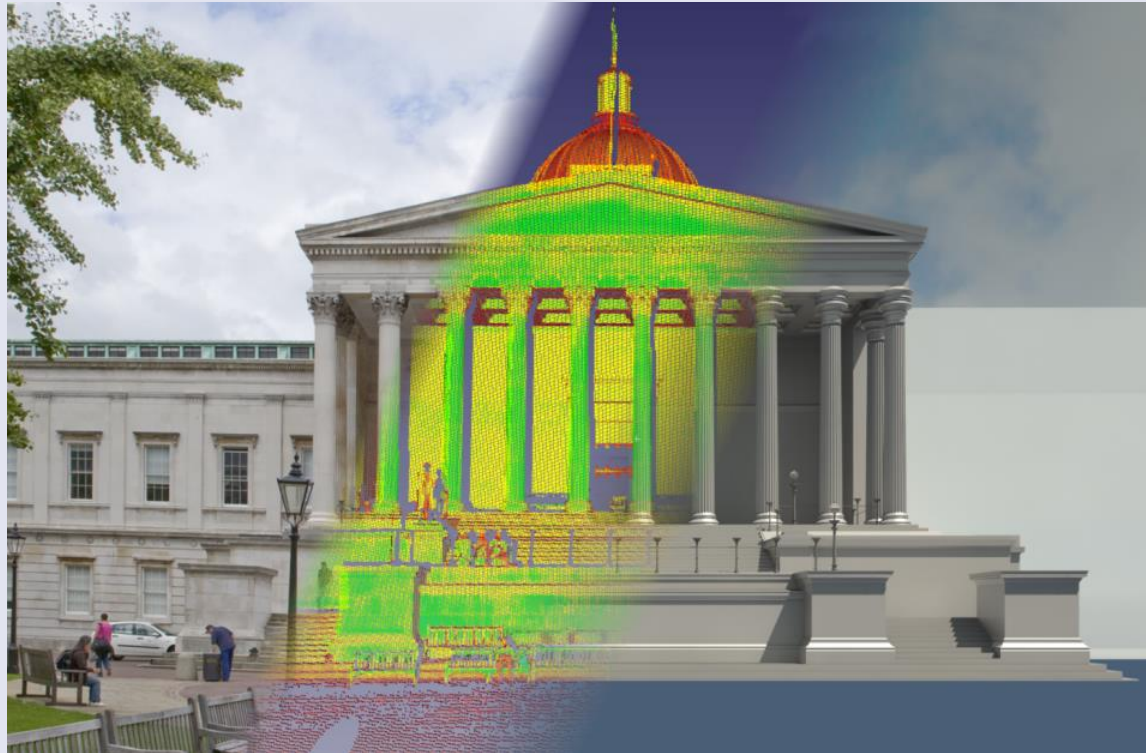
# 3D vermaschte Punktwolke = Polygonales Oberflächenmodell

- TIN, Triangular Irregular Network
- Mesh



# Fallstudie Denkmalgebäude - 3D Punktwolke : Terrestrisches Laserscanning





## Heute: Einführung Digitale Objekterfassung

Orthofoto → 3D laser scan mit Intensitätswerten → 3D Modell nachmodelliert

Von 3DIMPact (3D imaging, metrology and photogrammetry research group, University College London)

# Anwendungen: unterschiedliche Aufgabenstellungen

- *Visuelle Kommunikation*
  - *Oberflächenauflösung (Details)*
  - *Vollständigkeit (Oberflächenaufnahme von allen Seiten)*
  - *Textur und Farbe / Reflektion*
- *Überwachung & Inspektion (technisch)*
  - *Metrisch genaue Extraktion von geometrischen Formen*
  - *Ausreichend Informationen (N tests – Abweichungen)*
  - *Oberflächen und Kanten*



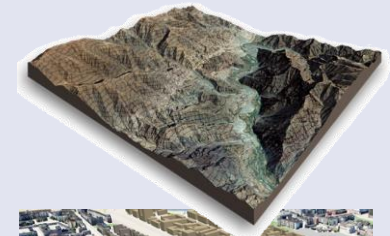
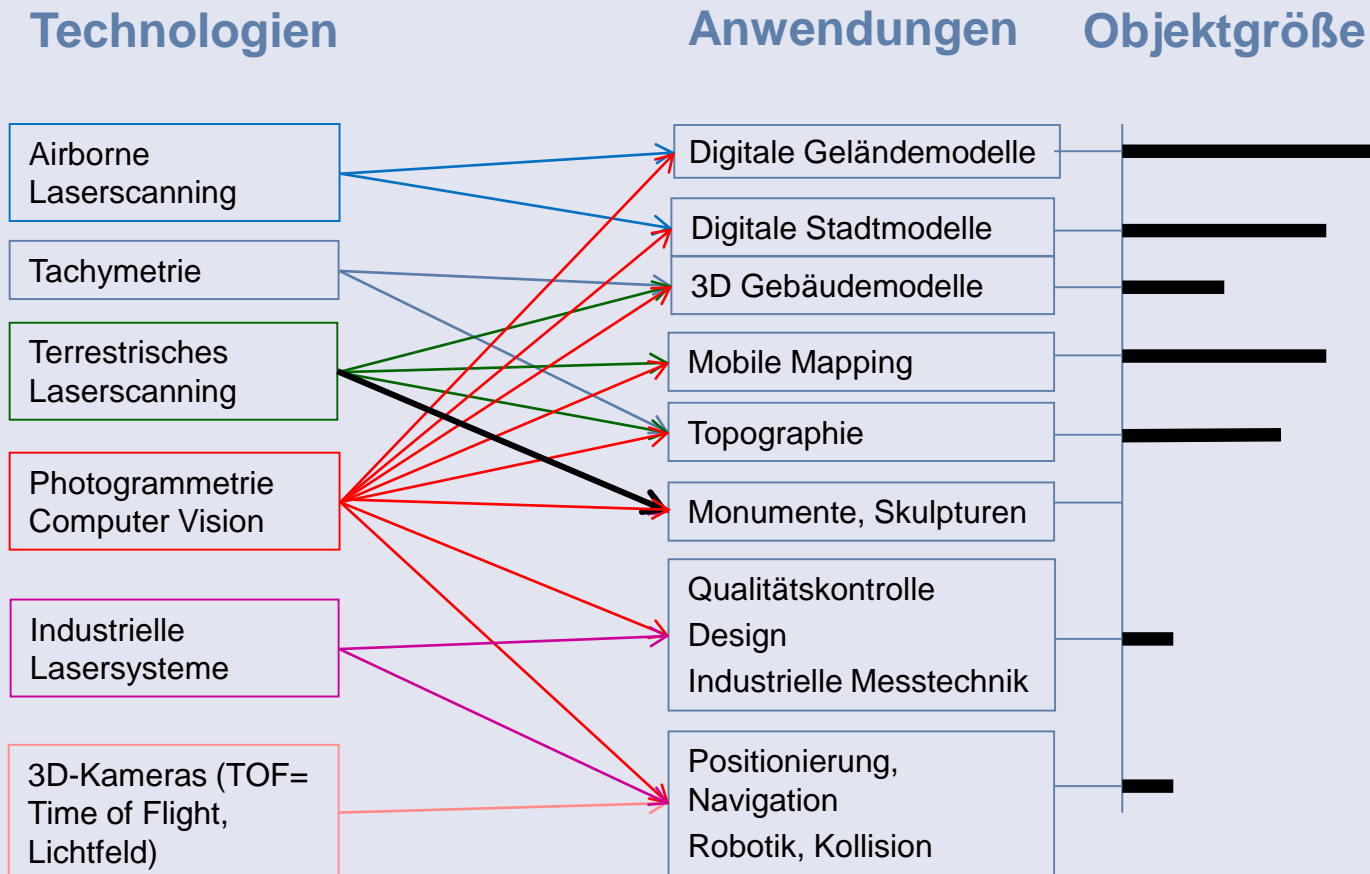
# Shipping gallery at the Science Museum – Gallery to be decommissioned

- What to do?
- 3D image of the library as documentation for the future.
- Spatially correct measurements.
- Video

[http://www.sciencemuseum.org.uk/about\\_us/history/shipping.aspx](http://www.sciencemuseum.org.uk/about_us/history/shipping.aspx)

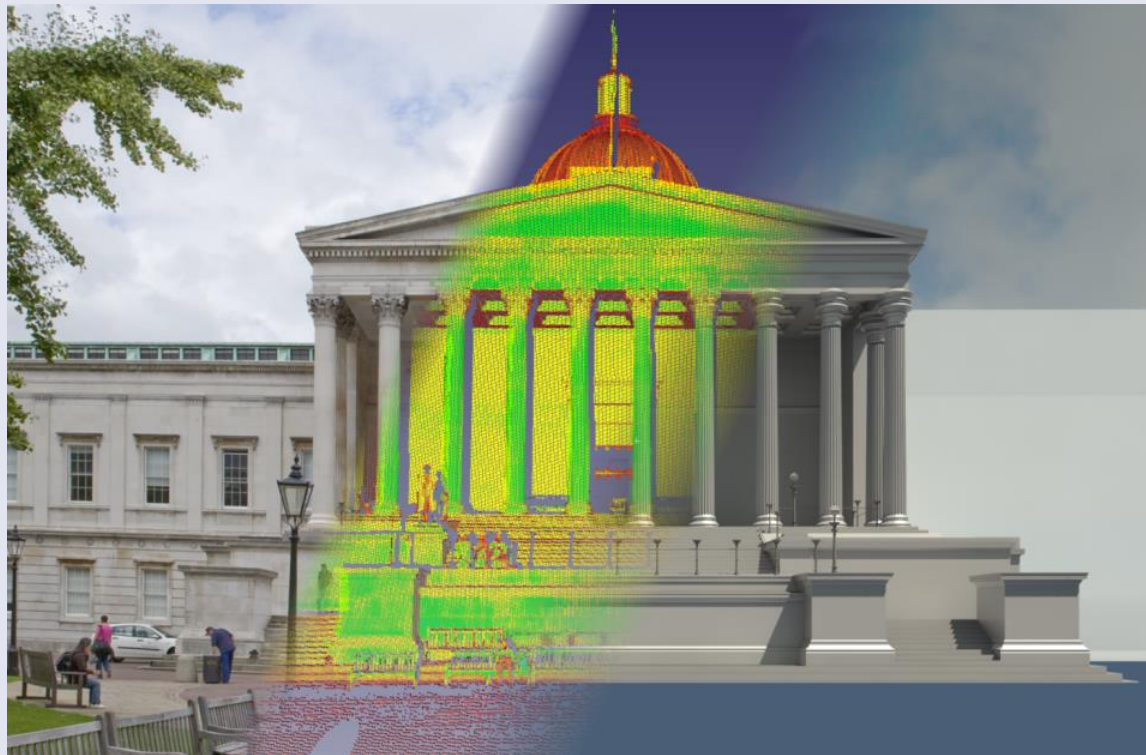


# Nochmal zur Erinnerung. Fragen?



# Referenzen

- [Nahbereichsphotogrammetrie : Grundlagen – Methoden – Beispiele](#)
  - Luhmann, T. (2017) *Nahbereichsphotogrammetrie*. 04. Auflage, neu bearb. erw. Berlin: Wichmann, H.
  - S.24 – S.28, S35-39
- 3D recording, documentation and management of cultural heritage . In: Imaging, Stylianidis, Efstratios, and Fabio Remondino. *3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage*. Whittles Publishing, 2016. <http://hdl.handle.net/1854/LU-8050621>.
  - [Nur Online \(bei MH im Bücherschrank\):  
http://ebookcentral.proquest.com/lib/ub-bamberg/detail.action?docID=4710342](http://ebookcentral.proquest.com/lib/ub-bamberg/detail.action?docID=4710342)
  - Chapter 5: Basics of Image-Based Techniques in CH Recording , Chapter 6: Seiten 253 – 257, Seiten297 – 301
  - Basics of Range-Based Modelling Techniques in CH 3D Recording Seiten 305-320, Seiten 339- 364



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

Haben Sie Fragen?

Mit Dank an Prof. Dr. Thomas Luhmann und Jean-Angelo Beraldin!