REVERSE ENGINEERING
PROZESS, TECHNOLOGIEN UND ANWENDUNGSFÄLLE

- Definition / Begriff
- **Prozess**
- Datenformate
- Anwendungsfälle
- FORPRO²

Sebastian Katona

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

TH Nürnberg

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Mehr als 11.600 Studierende und rund 1900 Beschäftigte.

Zwölf Fakultäten.

Sieben In-Institute.

Drei An-Institute.

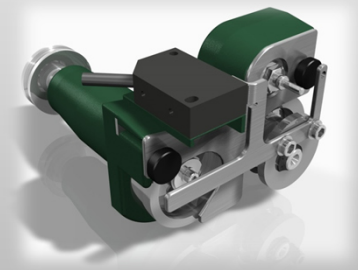
Neun Kompetenzzentren.

Das 3D-VZ

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

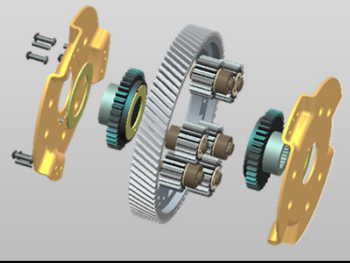
Rapid Prototyping
- FDM
- Rapid Shaping Verfahren

Visualisierung
- VR Wall
- 3D Lernmodule

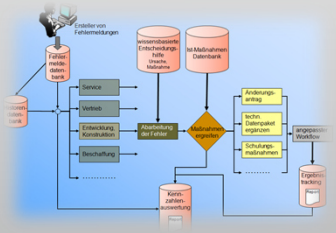


Reverse Engineering
- 3D Scannen
- Datenaufbereitung

Konstruktion
- Spinnenroboter
- OHM-Racer
- Diverse Firmenprojekte



Prozessoptimierung
- Fehler- und Änderungsmanagement
- Montageprozesse



Schulungen, Beratung und Dienstleistungen

[3DVZ 2014]

Definition / Begriff

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Begriff

reverse (engl.): umkehren, entgegensetzen, rückwärts
engineering (engl.): Ingenieurwesen, Konstruktion, technische Planung

[dict 2014]

Beispiel Informatik

„[…] Rückgewinnung des Quellcodes […] von einem ausführbaren Programm […].“

[Schöne 2009]

Definition

Es existiert (noch) keine allgemein gültige Definition von Reverse Engineering (RE) im Maschinenbau!

Maschinenbau

Erzeugung von Geometriedaten durch Digitalisierung vorhandener Bauteile

[Rosemann, Freiberg 2012] [Percoco 2014]
[Schöne 2009] [Raja, Fernandes 2008]

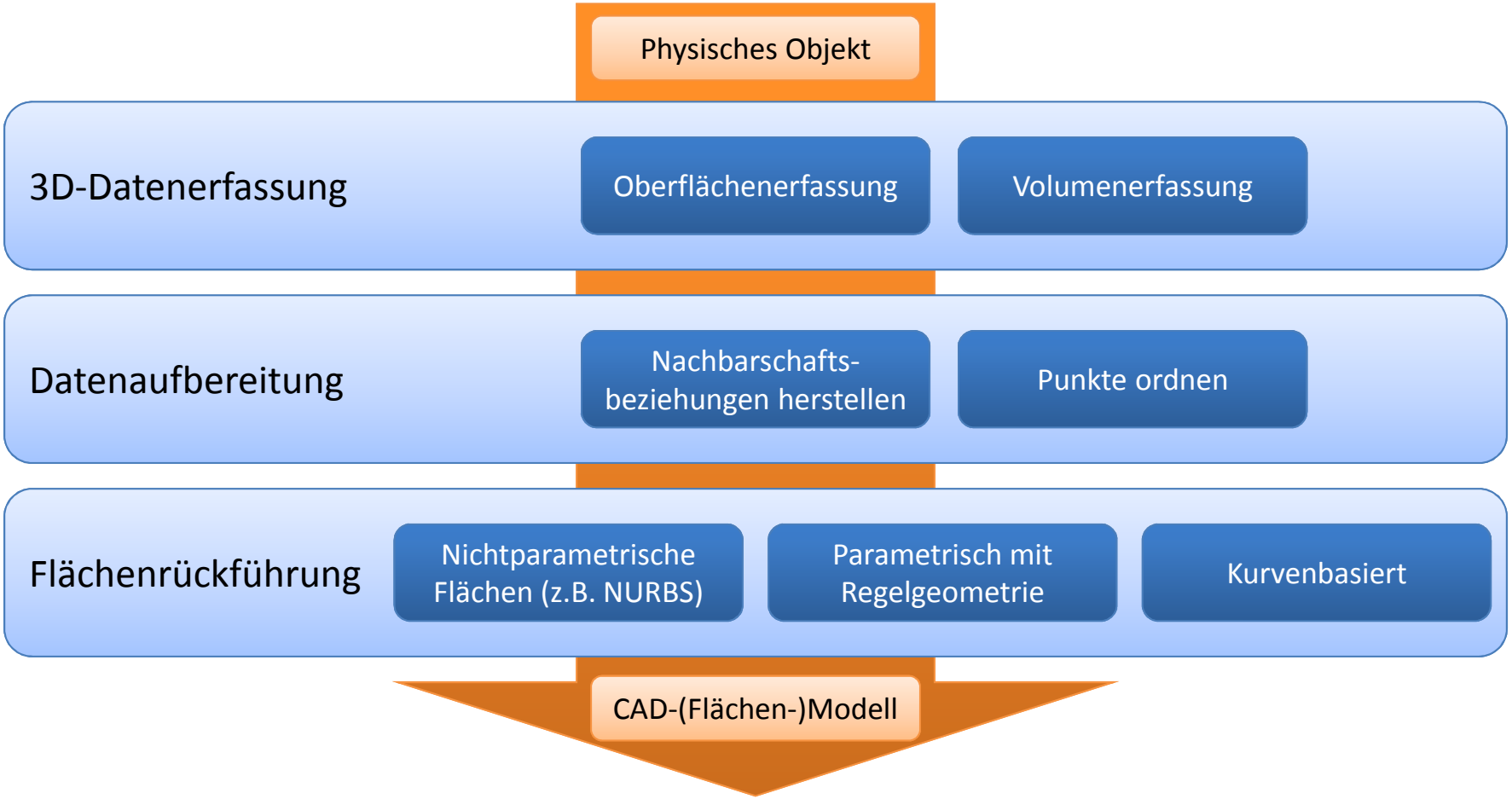
Erweiterung bis zum Nachbau von vorhandenen Bauteilen in Form und Funktion (**Duplikat**).

[Sinha, Seneviratne 1996]
[Schöne 2009] [Raja, Fernandes 2008]

Prozess

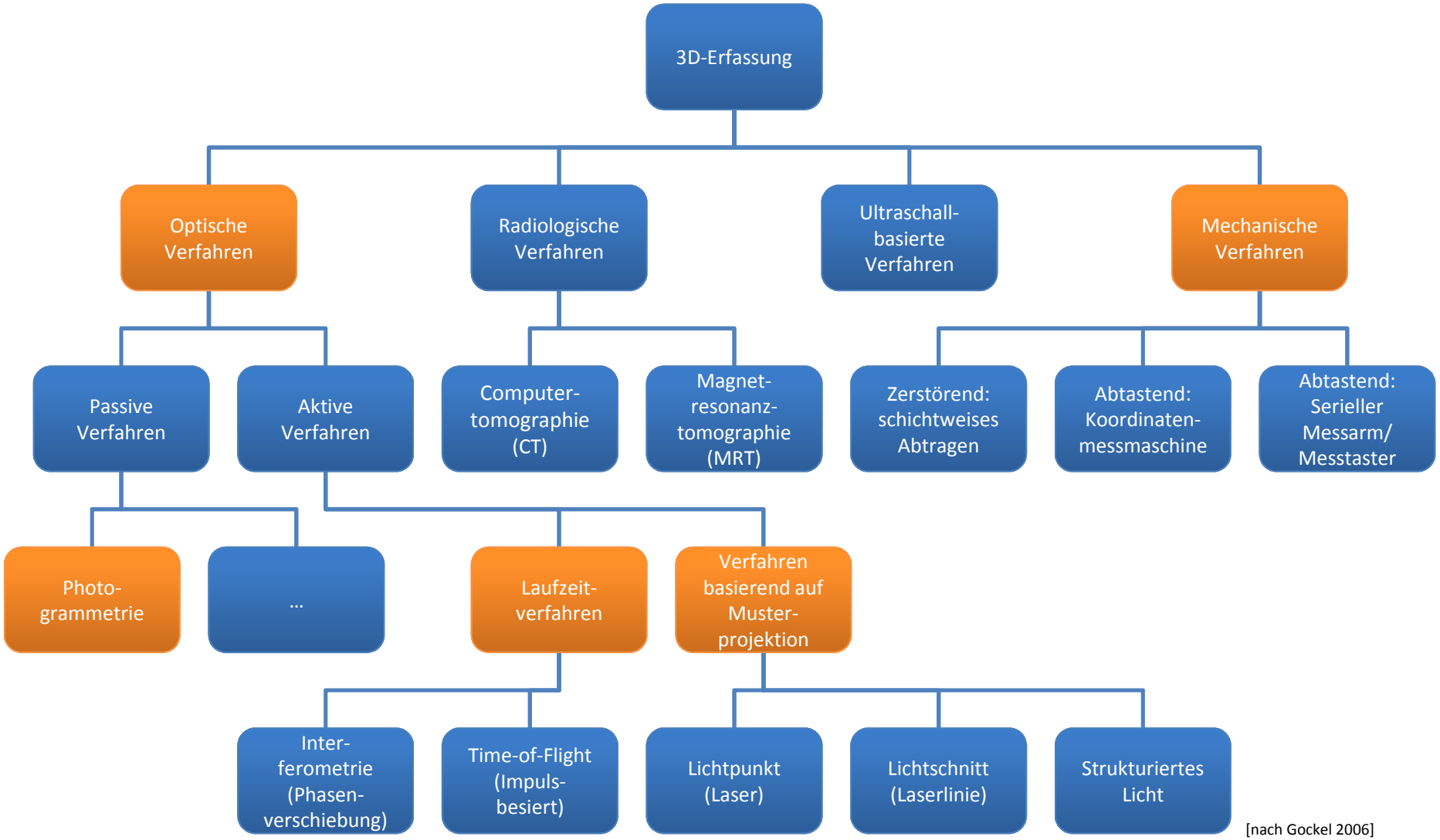
TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Reverse Engineering von Geometriedaten



Datenerfassung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

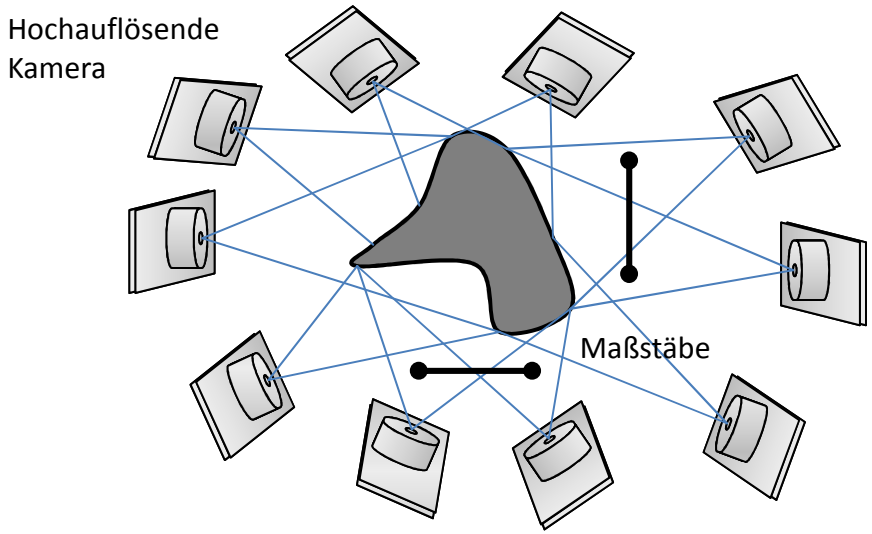


[nach Gockel 2006]

Datenerfassung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Photogrammetrie
  - Nahbereichsphotogrammetrie



  - Luftbildphotogrammetrie
    - Flugzeuggetragene Messkameras erzeugen deutlich überlappende Bilder

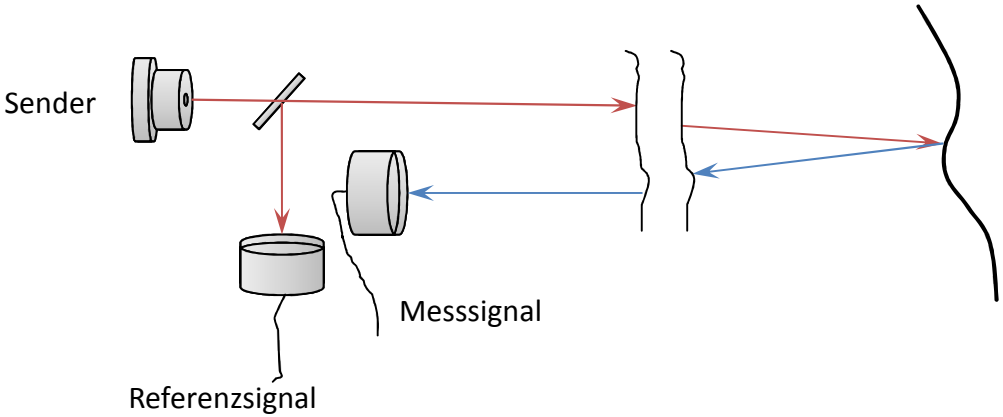
Datenerfassung

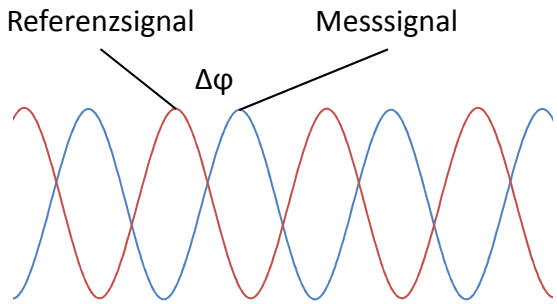
TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Laufzeitverfahren

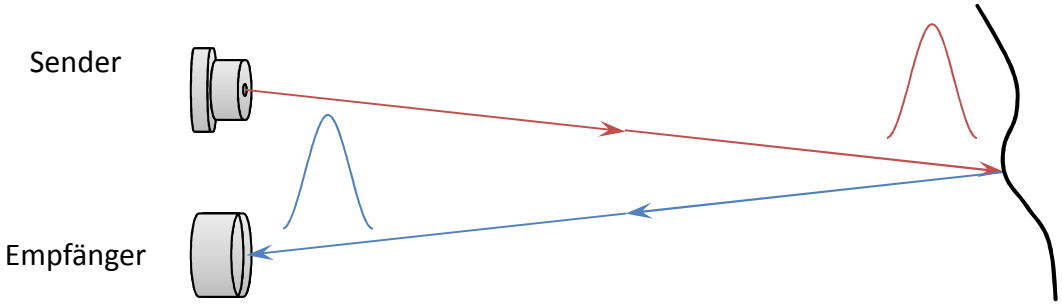
Lichtgeschwindigkeit
$c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ m/s

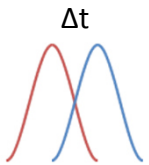
  – Phasenverschiebung





  – Impuls-basiert

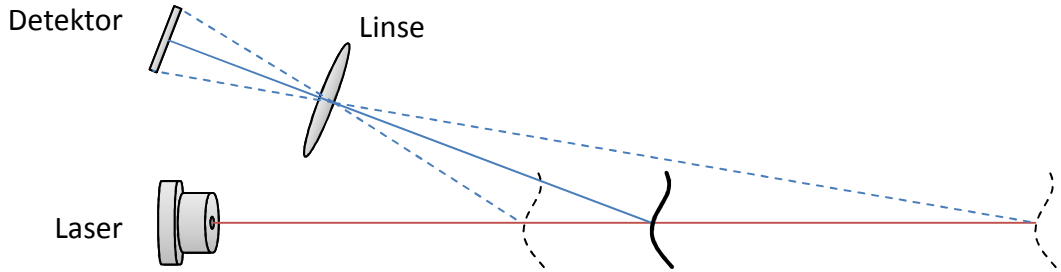




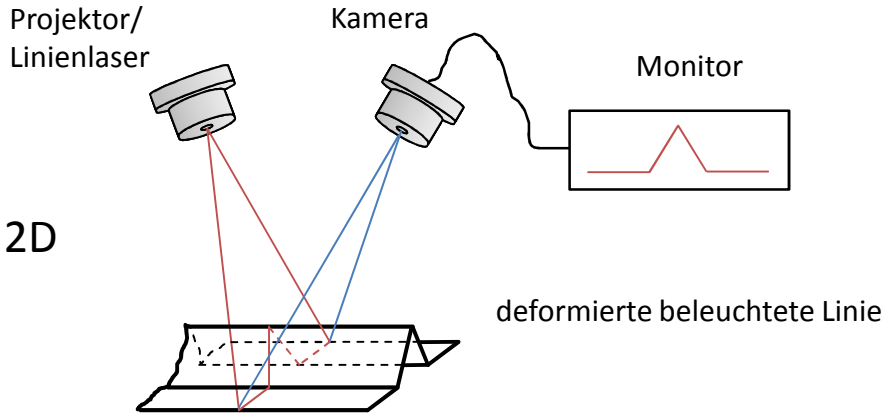
Datenerfassung

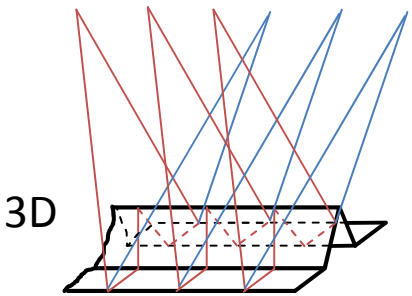
TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Verfahren basierend auf Musterprojektion
  - Grundprinzip: Triangulation



  - Laser-/Lichtschnittverfahren

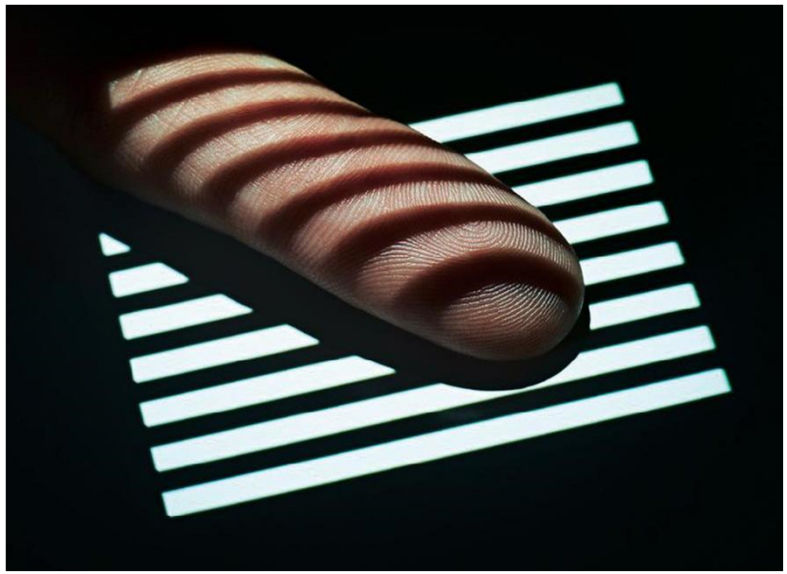




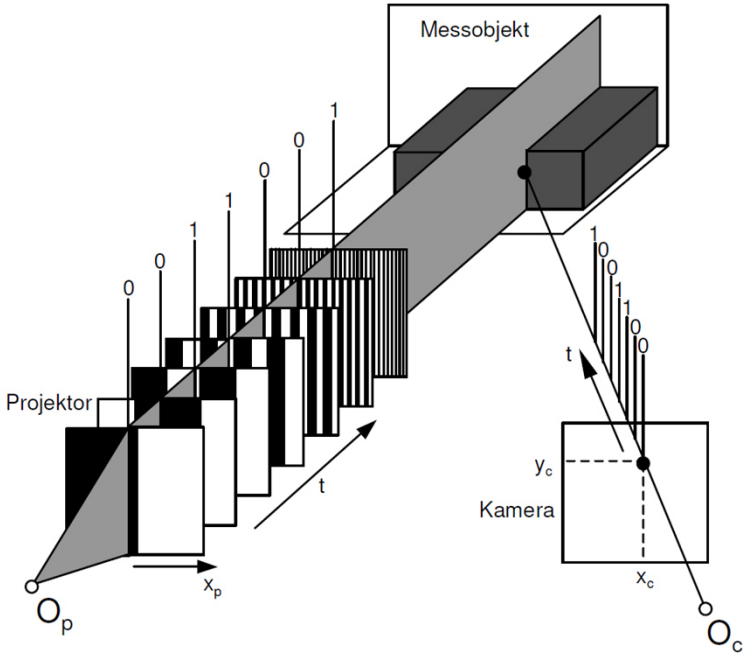
Datenerfassung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Verfahren basierend auf Musterprojektion
  - Streifenlichtprojektion



[Conrad 2014]

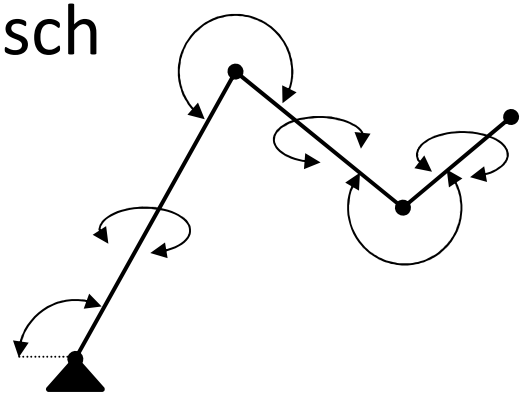


[Gühring2002]

Datenerfassung

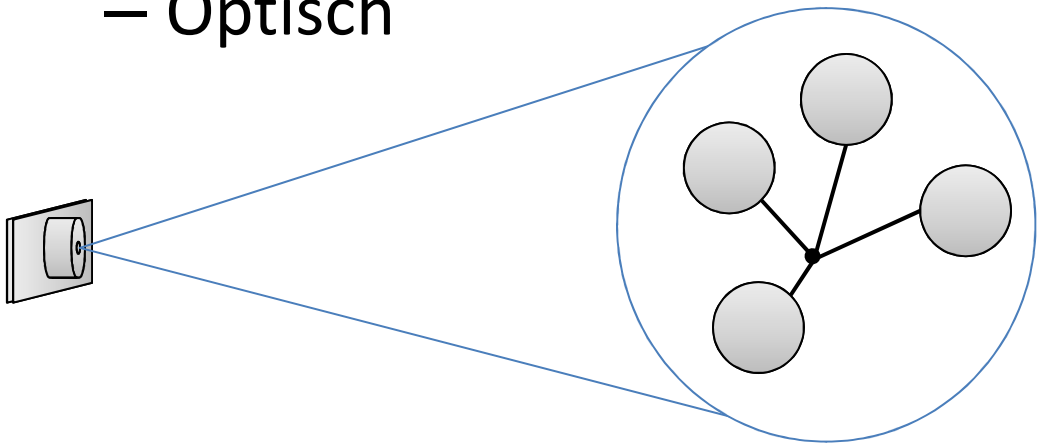
TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Tracking der Messstationen
  - Mechanisch



[Faro 2014a]

  - Optisch



[Creaform 2014a]

Datenerfassung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Registrierung von Einzelscans
  - Mitgemessene Referenzpunkte/Zielmarken
    - Referenzkugeln
    - Referenzpunkte
    - Codierte Zielmarken

[Niederöst, Maas 1997]

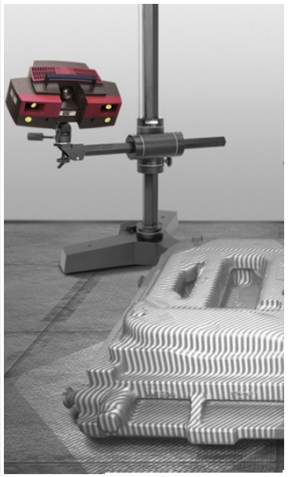
[Gühring 2002]

  - Registrierung über eingemessene Sensorpositionen
  - Interaktive Registrierung
    - Manuelle Auswahl korrespondierender markanter Punkte
- Feinregistrierung
  - ICP Algorithmus (Iterative Closest Point)
    - Annäherung bis Abbruchkriterium (z.B. Anzahl Iterationen, Restabweichung) erreicht

[nach Weckenmann 2012]

Datenerfassung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

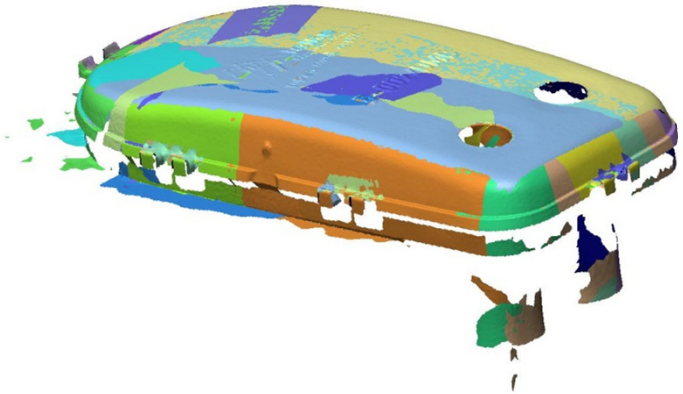
Taktil	Laserlinie	Streifenlicht	Laufzeitverfahren
[Steinbichler 2014] [Faro 2014b] [Zeiss 2014]	[Creaform 2014b] [Hexagon 2014] [Faro 2014c]	 [GOM 2014] [DAVID 2014] [Aicon 2014]	[Faro 2014d] [Leica 2014] [Z+F 2014]

Datenaufbereitung

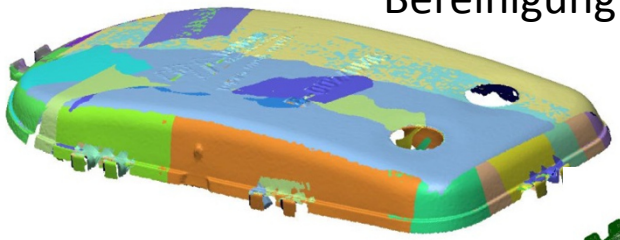
TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Punktwolke zu Polygonnetz

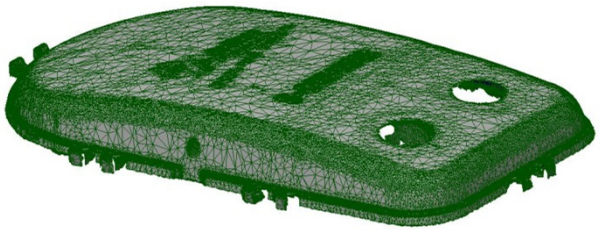
Rohdaten



Bereinigung

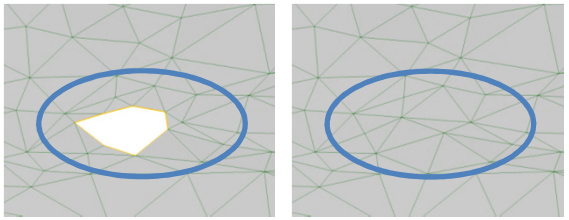


Polygonisierung/
Tesselierung

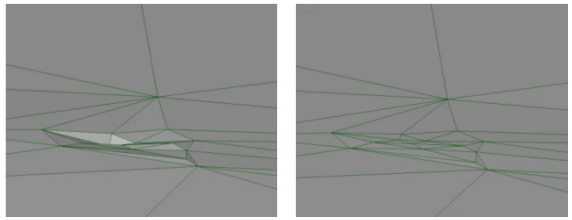


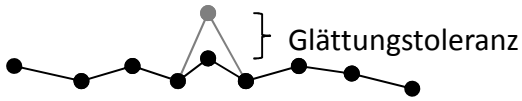
- Nachbearbeitung des Netzes

Löcher schließen

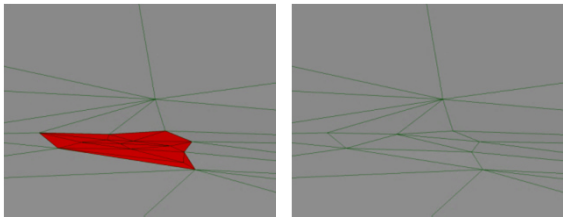


Glätten





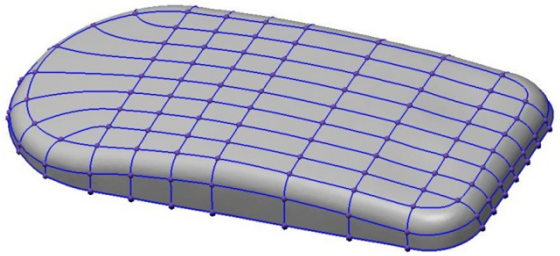
Rekonstruieren/Erweitern



Flächenrückführung

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Segmentierung
  - Aufteilung des Polygonmodells in drei- und vierseitige Flächenbereiche.



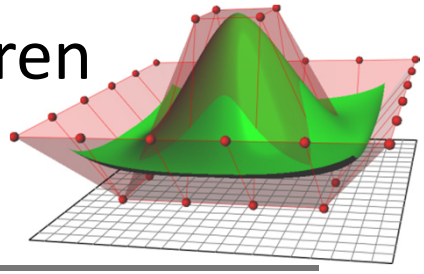
- NURBS-Flächen
  - Mathematisch exakte Beschreibung sowohl für analytische Standardformen, als auch Freiformflächen.

[Piegl, Tiller 1997]

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} R_{i,j}(u,v) P_{i,j}$$

  - Relativ geringer Speicherbedarf, da nur Kontrollpunkte, -gitter und Knotenvektoren gespeichert werden.

[Herrmann 2008]



Datenformate

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Inhalt:	Punktwolken	Polygonmodelle	Schnittstellen-formate für 3D-Geometrie	Native CAD-Daten
Speicherart:	ASCII	ASCII/(binär)	ASCII	binär
Datei-endungen:	.txt .xyz …	.stl .obj .ply .jt	.stp/step [ISO 10303] .igs/iges [US Pro 1996] .vda	.prt (CREO/NX) .catpart (Catia) .sldprt (SolidWorks) .par (SolidEdge) .ipt (Inventor)
Aufbau:	Koordinaten x, y, z teilweise mit Normalenvektor v_1 , v_2 , v_3	Dreiecke mit Koordinaten der Eckpunkte (jeweils x, y, z) und Normalen-vektor v_1 , v_2 , v_3	Standardisiert	???

Welches System?

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- Welche Art von Oberfläche muss erfasst werden?
  - Oberflächengeometrie?
  - Material (Härte, optische Charakteristik)?
- Wie groß ist das zu scannende Objekt?
- Wie schnell muss die Messung sein?
- Welche Messunsicherheit (Messfehler) ist gefordert?
- Finanzieller Rahmen?
- Wo wird das Gerät genutzt?
  - Sicherheit, v.a. Laser (Laserklassen/Augenschutz)

[nach Leach 2011]

[EN 60825-1] [Eyepro 2014]

Softwarepakete

- Herstellerspezifisch
  - zu jedem Scanner/Digitalisierer
- Free-Ware
  - z.B. MeshLab (Bearbeitung von Polygonmodellen)
  - …
- Kommerziell

Geomagic

[3DS 2014]

PolyWorks

innovmetric

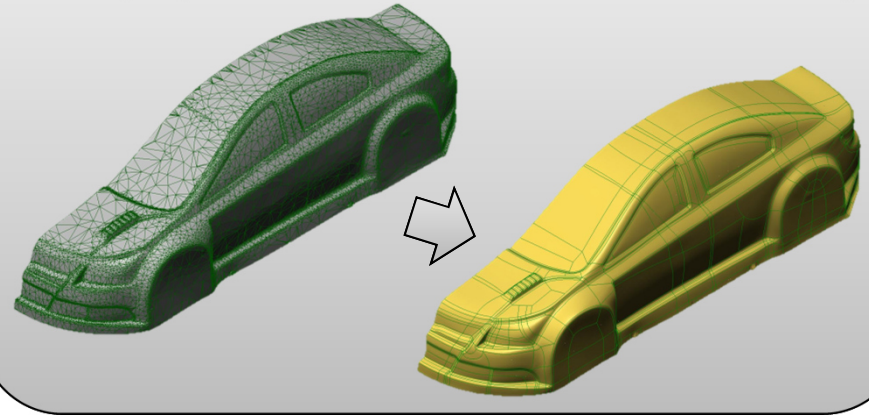
duwe 3d

[Duwe 2014]

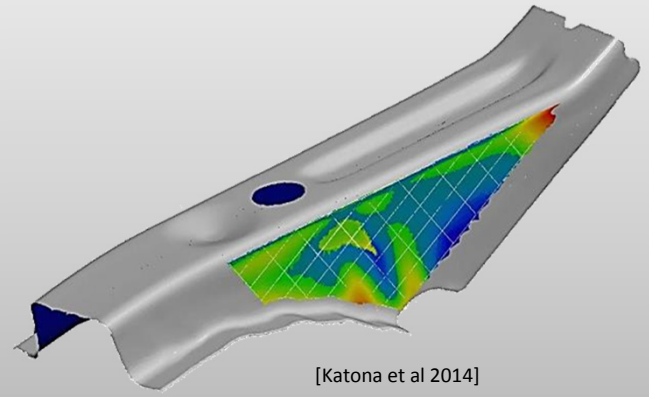
Anwendungsfälle

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Erzeugung Geometriedaten über Flächenrückführung



Abweichungsbetrachtung (Soll-Ist-Vergleich)



[Katona et al 2014]

Inline Prozessüberwachung

[GOM-Streifen 2014]

Werkstatt- / Fabrikplanung

[Büttner 2012]

Forschungsverbund

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

FORPRO²

Bayerische Forschungsstiftung

Lehrstuhl für Produktentwicklung (PE)
Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
Technische Universität München

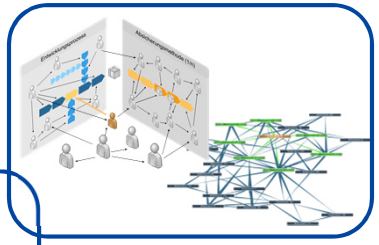
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD (CAD)
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg
Universität Bayreuth

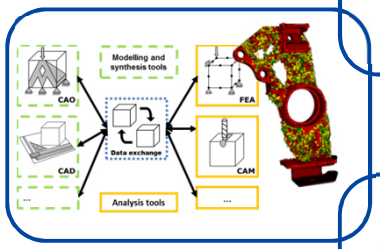
Technische Hochschule Nürnberg (THN)
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Michael Koch

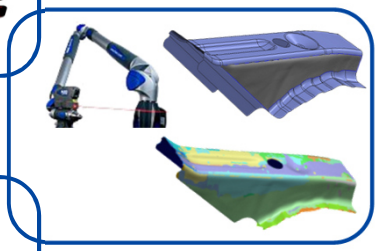
Hochschule Augsburg (HSA)
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmid

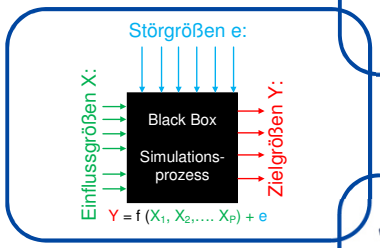
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
FAU Erlangen-Nürnberg

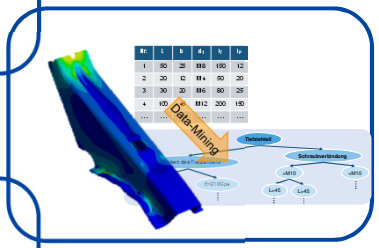
Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg)
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk
Technische Universität München

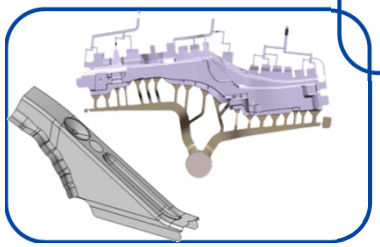












[BFS 2013]
[FORPRO² 2014]

Erzeugung korrigierter, realitätsnaher Geometrien für die Simulation mit 3D-Oberflächenerfassung

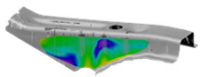
Produktsimulation
Großer Aufwand (z.B. Nichtlinearitäten) für realitätsnahe Ergebnisse

Fertigung
Alle Fertigungsverfahren erzeugen Abweichungen gegenüber der idealen CAD-Geometrie

Produktsimulation immer mit der idealen CAD-Geometrie

Wir simulieren heute in der Produktentwicklung Geometrien, von denen wir wissen, dass sie so nicht existieren!

Für bessere Simulationsergebnisse muss auch die reale, nach dem Fertigungsprozess vorliegende Bauteilgeometrie berücksichtigt werden!



Prototyp → Geometrie erfassen → Vergleich mit CAD-Modell → Abweichungen bewerten → Scanmodell ggf. aufbereiten → neue Simulation mit Realmodell

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Quellenangaben

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- [3DS 2014]
  3D Systems: Software Geomagic. http://www.rapidform.com/de/produkte/, Zugriffsdatum: 06.08.2014.
- [3DVZ 2014]
  3D-Visualisierungszentrum der TH Nürnberg: Homepage. URL: http://www.th-nuernberg.de/3d, Zugriffsdatum: 29.08.2014.
- [Aicon-Streifen 2014]
  Aicon 3D Systems GmbH: Produkte. URL: http://aicon3d.de/produkte/breuckmann-scanner/smartscan/auf-einen-blick.html, Zugriffsdatum 04.08.2014.
- [BFS 2013]
  Bayerische Forschungsstiftung: Bayerischer Forschungsverbund für effiziente Produkt- und Prozessentwicklung durch wissensbasierte Simulation, FORPRO². URL: http://www.forschungsstiftung.de/index.php/Projekte/Details/Forschungsverbund-fuer-effiziente-Produkt-und-Prozessentwicklung-durch-wissensbasierte-Simulation-FORPRO-sup-2-sup.html, veröffentlicht 2013, Zugriffsdatum: 31.03.2014.
- [Büttner 2012]
  Büttner, J.: Erstellung eines Prozesshandbuchs für die Weiterverarbeitung von Scandaten für die Werkstatt- und Fabrikplanung. Bachelorarbeit am 3D-Visualisierungszentrum der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, 2012.
- [Conrad 2014]
  Conrad Electronic SE: Produkt David Structured Light Scanner SLS-2. URL: http://www.conrad.de/ce/de/product/1209136/DAVID-Structured-Light-Scanner-SLS-2, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Creaform 2014a]
  Creaform Deutschland GmbH: Produkte. URL: http://www.creaform3d.com/de/zfp-loesungen/c-track, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Creaform 2014b]
  Creaform Deutschland GmbH: Produkte. URL: http://www.creaform3d.com/de/messtechnik/optische-cmm-scanner-metrascan-3d, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [David 2014]
  David Vision Systems GmbH: Produkte: http://www.david-3d.com/?section=News&action=showid&id=79, Zugriffsdatum: 29.08.2014.
- [dict 2014]
  dict.cc: Deutsch-Englisch-Wörterbuch. URL: http://www.dict.cc, Zugriffsdatum: 28.08.2014.
- [Duwe 2014]
  Duwe-3d AG: Vertriebspartner der Software PolyWorks von InnovMetric. URL: http://www.duwe-3d.de/de, Zugriffsdatum: 06.08.2014.
- [EN 60825-1]
  DIN EN 60825-1:2008-05, VDE 0837-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen. Berlin: Beuth, 2008.
- [Eyepro 2014]
  Laservision GmbH & Co.KG: Software zur Ermittlung der Laser-Schutzstufe. URL: http://www.uvex-laservision.de/software/, Zugriffsdatum: 06.08.2014.
- [Faro 2014a]
  FARO Europe GmbH & Co. KG: Produkte. URL: http://www.faro.com/de-de/produkte/messtechnik/messarm-faroarm/ueberblick, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Faro 2014b]
  FARO Europe GmbH & Co. KG: Produkte. URL: https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-439-de---faro-gage-tech-sheet3C6CEB7F8844.pdf?sfvrsn=6, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Faro 2014c]
  FARO Europe GmbH & Co. KG: Produkte. URL: https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-275-de---faro-laser-scanarm-v3-tech-sheet.pdf?sfvrsn=6, Zugriffsdatum: 04.08.2014.

Quellenangaben

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- [Faro 2014d]
  FARO Europe GmbH & Co. KG: Produkte. URL: https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-520-de---faro-laser-scanner-focus3d-x-330-tech-sheet.pdf?sfvrsn=6, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [FORPRO² 2014]
  Bayerischer Forschungsverbund für effiziente Produkt- und Prozessentwicklung durch wissensbasierte Simulation, FORPRO²: Homepage. URL: http://www.forpro2.tum.de, Zugriffsdatum: 29.08.2014.
- [Gockel 2006]
  Gockel, T.: Interaktive 3D-Modellerfassung mittels One-Shot-Musterprojektion und Schneller Registrierung. Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2006.
  ISBN 978-3-86644-054-8
- [GOM-Streifen 2014]
  GOM – Gesellschaft für optische Messtechnik mbH: Produkte. URL: http://www.gom.com/de/messsysteme/systemuebersicht/atos-triple-scan.html, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Gühring 2002]
  Gühring, J.: 3D-Erfassung und Objektrekonstruktion mittels Streifenprojektion. Dissertation an der Universität Stuttgart. 2002.
- [Herrmann 2008]
  Herrmann, J.: Reverse Engineering – Vom Objekt zum Modell. Allgemeine Vermessungsnachrichten 5, S. 27-36. 2008.
- [Hexagon-LS 2014]
  Hexagon Metrology GmbH: Produkte. URL: http://www.hexagonmetrology.de/Leica-T-Scan-5_1767.htm#.U985qGPj7GA, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Hoschek, Dankwort 1996]
  Hoschek, J.; Dankwort, W. (Ed.): Reverse Engineering. Stuttgart: Teubner, 1996.
  ISBN 3-519-02633-3
- [ISO 10303]
  DIN EN ISO 10303-210:2002: Industrielle Automatisierungssysteme und Integration – Produktdatendarstellung und –austausch – Teil 210: Anwendungsprotokoll: Elektronische Montage, Verbindung und Gestaltung. Berlin: Beuth, 2002.
- [Katona et al 2014]
  Katona, S.; Kestel, P.; Koch, M.; Wartzack, S.: Vom Ideal- zum Realmodell: Bauteile mit Fertigungsabweichungen durch automatische FE-Netzadaption simulieren.
  In [Stelzer 2014]
- [Laperrière, Reinhart 2014]
  Laperrière, L.; Reinhart, G. (Ed.): CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014.
  ISBN 978-3-642-20616-0
- [Leach 2011]
  Leach, R. (Ed.): Optical Measurement of Surface Topology. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
  ISBN 978-3-642-12011-4
- [Leica-Raumscanner 2014]
  Leica Geosystems GmbH: Produkte. URL: http://www.leica-geosystems.de/de/Leica-ScanStation-P20_101869.htm, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Leach 2011]
  Leach, R. (Ed.): Optical Measurement of Surface Topology. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011.
  ISBN 978-3-642-12011-4

Quellenangaben

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

- [Niederöst, Maas 1997]
  Niederöst, M.; Maas, H.: Entwurf und Erkennung von codierten Zielmarken. Oldenburg: 16. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, 1996.
- [Percoco 2014]
  Percoco, G.: Reverse Engineering.
  In [Laperrière, Reinhart 2014]
- [Piegel, Tiller 1997]
  Piegel, L.; Tiller, W.: The NURBS Book. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997.
  ISBN 3-540-61545-8
- [Raja, Fernandes 2008]
  Raja, V.; Fernandes, K. J. (Ed.): Reverse engineering: an industrial perspective. London: Springer, 2008.
  ISBN 978-1-84628-855-5
- [Rieg, Steinhilper 2012]
  Rieg, F.; Steinhilper, R. (Hrsg): Handbuch Konstruktion. München, Wien: Hanser, 2012.
  ISBN 978-3-446-43000-6
- [Rosemann, Freiberg 2012]
  Rosemann, B.; Freiberg, S.: Reverse Engineering.
  In [Rieg, Steinhilper 2012]
- [Schöne 2009]
  Schöne, C.: Reverse Engineering für Freiformflächen. Habilitationsschrift an der TU Dresden. München: Verlag Dr. Hut, 2009.
  ISBN 978-3-86853-103-9
- [Sinha, Seneviratne 1996]
  Sinha, S.; Seneviratne, P.: Part to Art.
  In [Hoschek, Dankwort 1996]
- [Steinbichler 2014]
  Steinbichler Optotechnik GmbH: Produkte. URL: http://www.steinbichler.de/produkte/surface-scanning/3d-digitalisierung/t-poin-cs.html, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Stelzer 2014]
  Stelzer, R. (Hrsg.): Entwerfen Entwickeln Erleben – Beiträge zu virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik. Dresden, TUDpress, 2014.
  ISBN 978-3-944331-67-6
- [US PRO 1996]
  U.S. Product Data Association: Initial Graphics Exchange Specification – Formaly ANS US PRO/IPO-100-1996. N. Charleston, SC: 1996.
- [Weckenmann 2012]
  Weckenmann, A. (Hrsg.): Koordinatenmesstechnik – Flexible Strategien für funktions- und fertigungsgerechtes Prüfen. München, Wien: Hanser 2012.
  ISBN 978-3-446-40739-8
- [Zeiss 2014]
  Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH: Produkte. URL: http://www.zeiss.de/industrial-metrology/de_de/produkte/systeme/portalmessgeraete/contura.html, Zugriffsdatum: 04.08.2014.
- [Z+F 2014]
  Zoller + Fröhlich GmbH: Produkte. URL: http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010.21.0.html, Zugriffsdatum: 04.08.2014.

Autoren

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
3D-VISUALISIERUNGSZENTRUM

Katona, S.[1]; Koch, M.[2]; Wartzack, S.[3]

[1, 2] Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
3D-Visualisierungszentrum
Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Kesslerplatz 12
90489 Nürnberg
www.th-nuernberg.de/3d

[3] Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Technische Fakultät
Martensstraße 9
91058 Erlangen
www.mfk.uni-erlangen.de

[1] Korrespondenzautor
Kontakt: sebastian.katona@th-nuernberg.de