

## Softwarebibliothek zum Fitting von Regelgeometrien

### Anpassung von 3D- Messpunkten an pa- rametrische Kurven und Flächen

#### Einsatzgebiet

Industrielle Bildverarbeitung, Messtechnik, Qualitätssicherung, Konstruktions- und Automatisierungstechnik sind Gebiete, in denen die Vermessung und Rekonstruktion von 2D- und 3D-Objekten aus Messdaten eine herausragende Rolle spielt.

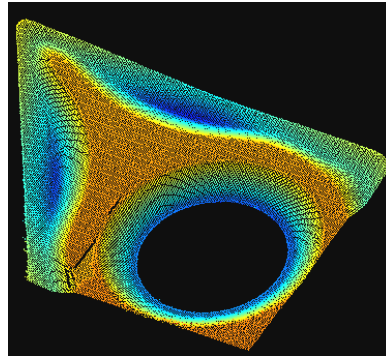


Bild 1: Wendschneidplatte, Keramik gesintert, Messpunkte farbkodiert, Formelemente Ebene und Kugel <sup>1)</sup>

Hinsichtlich ihrer Form können die interessierenden Kontursegmente bzw. Oberflächenbereiche der Messobjekte in Standardgeometrien und freigeformte Anteile unterschieden werden.

Während Freiformkurven und -flächen vor allem den Designbereich dominieren finden sich 2D- und 3D-Regelgeometrien in einer Vielzahl von Anwendungen im gesamten Spektrum der o.g. Einsatzgebiete.

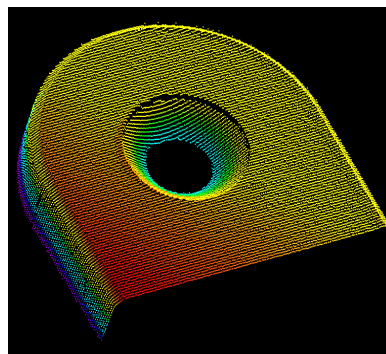


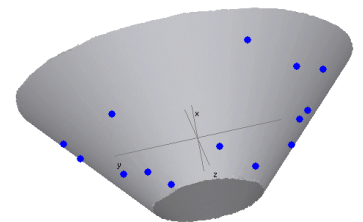
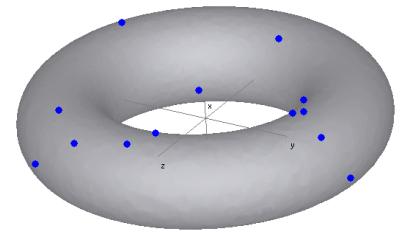
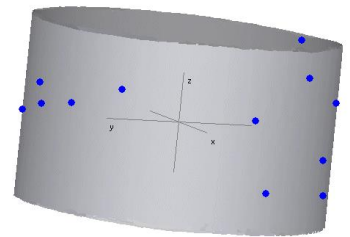
Bild 2: Profilsystemteil, Druckguss Aluminium, Messpunkte farbkodiert, Formelemente Kreis, Gerade, Ebene, Zylinder und Kegel

Die Vorteile einer Verwendung von 2D- und 3D- Standardgeometrien sind neben der einfachen Handhabung ihrer mathematischen Beschreibungsformen vor allem die effektive und kostengünstige Fertigung der entspre-

chenden Objekte im industriellen Bereich. Zudem ist in vielen Fällen der Einsatz von 2D- und 3D-Formelementen aus funktionellen Gründen zwingend notwendig.

#### Messverfahren

Eine Rekonstruktion von 2D- und 3D-Objekten aus Messdaten erfordert zunächst die korrekte Segmentierung aller zum betreffenden Geometrieelement gehörenden Messpunkte. Anschließend können auf den segmentierten Daten die Parameter der gewünschten Beschreibungsform berechnet werden.



Bilder 3-5: Beispiele für Fitting von 3D-Messdaten, Formelemente Zylinder, Torus und Kegel

Für eine fehlerfreie Flächenrückführung von Standardgeometrien bedeutet das, dass für jeden Geometrietypp dessen charakteristische Gleichung gelöst werden muss. Bedingt durch das zur Messdatengewinnung eingesetzte Verfahren aber auch aufgrund der aus der Forderung nach einer hohen Messgenauigkeit resultierenden Messdatenstatistik liegt die Anzahl der verwendeten Messwerte i.a. über der

#### Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V.

Werner - von - Siemens - Straße 10  
D-98693 Ilmenau  
Telefon +49 (0) 3677 689768 0  
Fax +49 (0) 3677 689768 2  
Email [info@zbs-ilmenau.de](mailto:info@zbs-ilmenau.de)  
Web <http://www.zbs-ilmenau.de>

#### Vorstandsvorsitzender:

PD Dr.-Ing. habil. K.-H. Franke

#### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Daniel Kapusi  
Telefon +49 (0) 3677 689768 6  
Email [daniel.kapusi@zbs-ilmenau.de](mailto:daniel.kapusi@zbs-ilmenau.de)

für eine Parameterbestimmung notwendigen Mindestanzahl.

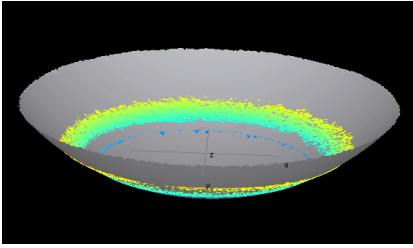


Bild 6: Fitting der Kugelsenkung der Wenschneidplatte, Messpunkte farbkodiert, Formelement grau

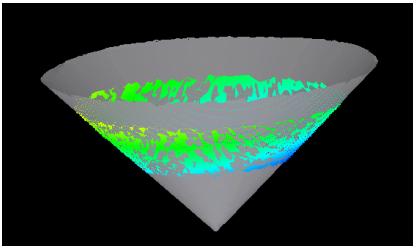


Bild 7: Fitting der Kegelsenkung des Profilsystemteils, Messpunkte farbkodiert, Formelement grau

Für die Parameterberechnung sind ausgleichenden Berechnungsverfahren notwendig. Der Basisansatz für eine solche Messdatenapproximation ist die Minimierung der Fehlerquadrate der senkrechten Abstände der Messpunkte zum jeweiligen Geometrieelement nach Gauß.

Die für die Praxis relevanten Regelgeometrien sind im 2D: Gerade, Kreis und Ellipse und im 3D: Gerade, Kreis, Ebene, Kugel, Kegel, Zylinder und Torus.

Hinsichtlich der konkreten mathematischen Lösung für die einzelnen Formelemente sind lineare und nichtlineare Ansätze zu unterscheiden. Da die nichtlinearen Ansätze (Kreis, Kugel, Ellipse, Kegel, Zylinder und Torus) nicht auf direktem Weg analytisch lösbar sind, müssen hier iterativ arbei-

tende Optimierungsverfahren genutzt werden. Für die Geometrielemente Kreis, Kugel und Ellipse stehen lineare Näherungsverfahren zur schnellen Vermessung oder die Berechnung von Startwerten für den nichtlinearen Ausgleich zur Verfügung.

### Besonderheiten

Für bestimmte Messaufgaben sind die Ausgleichsverfahren zur Bestimmung sämtlicher das betreffende Formelement qualifizierender Parameter ungeeignet. Einzelne Parameter können a priori bekannt sein, die Lageparameter eines Formelementes können durch die Vorgabe von Fixpunkten eingeschränkt sein, eine exakte Segmentierung der zum Formelement gehörenden Messpunkte ist nicht immer möglich oder unerwünscht aufwendig. Neben den Standardverfahren wurden deshalb zusätzlich Ansätze implementiert, welche die obengenannten Sonderfälle berücksichtigen.

Umgesetzt wurden Ansätze zur Berechnung ausgewählter Einzelparameter oder Parameterkombinationen. Interessant ist hier insbesondere die Trennung von Form- und Lageparametern. Während die Formparameter die von der Lage einer Regelgeometrie im Bezugskoordinatensystem unabhängigen Maßzahlen darstellen, beschreiben die Lageparameter Position und Verdrehung des Formelementes relativ zum Koordinatenbezug.

Für einzelne Geometrietyten stehen außerdem Verfahren zur Verfügung, welche vorgegebene Kontur- bzw. Oberflächenpunkte berücksichtigen. Die Berechnung der Modellparameter erfolgt hier unter dem Zwang, die

vorgegebenen Fixpunkte berühren zu müssen.

Neben den genannten Verfahrenskategorien wurde auch ein allgemeiner Ansatz zur Feinsegmentierung von Formelementen realisiert. Voraussetzung ist hier eine grobe Vorselektion der Messpunkte. Das Verfahren der sogenannten adaptiven Ausgleichsrechnung ermöglicht über eine Gewichtung die Bestimmung derjenigen Messpunkte, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mit dem betreffenden Formelement korrespondieren.

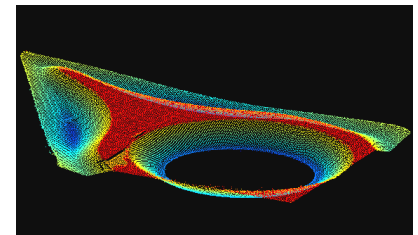


Bild 8: Segmentierung der Planfläche durch adaptive Ausgleichsrechnung, segmentierte Messpunkte rot markiert <sup>1)</sup>

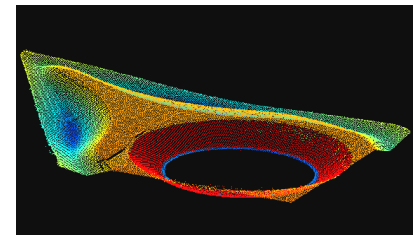


Bild 9: Segmentierung der Kugelsenkung durch adaptive Ausgleichsrechnung, segmentierte Messpunkte rot markiert <sup>1)</sup>

Bei allen realisierten Ausgleichsverfahren ist eine Gewichtung der Einzelmesswerte möglich.

<sup>1)</sup> Punktwolkengewinnung durch Streifenprojektionssysteme des IOF Jena, mit frdl. Genehmigung (<http://www.iof.fhg.de>)

### Fitting von 2D- und 3D-Standardgeometrien (Methode der kleinsten Fehlerquadrate)

Bibliotheksmodul: Dynamic Link Library (DLL)  
 Betriebssystem: alle Windows-Versionen auf PC  
 Laufzeit (AMD Athlon™ 2700 XP, 10.000 Messpunkte):  
 - lineare Verfahren: 0.2 s  
 - nichtlineare Verfahren: 4 s (20 Iterationen)

Fittingansätze:  
 - Berechnung aller Formelementparameter  
 - reduzierte Parameteranzahl  
 - Fitting unter Fixpunktbedingungen  
 Segmentierungsansatz:  
 - Adaptive Ausgleichsrechnung