

Dipl.-Ing. T. Machleidt / PD Dr.-Ing. habil. K.-H. Franke

# Sensornahe Messdatenerfassung und Verarbeitung von 3D-Punktwolken

## Einleitung

Nanomaschinen dienen der Manipulation und/oder Messung von Nano- und Subnanometerstrukturen. Gleichgültig, ob die Messung an sich (Nanomessmaschinen) oder die Positionierung zum Zwecke der Objektmanipulation (Nanopositioniermaschinen) im Vordergrund steht, müssen in jedem Falle 3D-Objektbezüge mit Auflösungen bis in den Subnanometer-Bereich hinein hergestellt werden. In jedem Fall sind also 3D-Nanomessungen (3D-Punktwolken mit Nanoauflösung), die Extraktion von 3D-Merkmalen der Objekte (3D-Kanten / -Ecken, Parameter von Regelgeometrien, rauheitsbasierte Texturmerkmale) und die objektbezogene Navigation erforderlich.

Das Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung ist an der Entwicklung einer Nanomessmaschine beteiligt [1, 2]. Dabei handelt es sich um eine Messmaschine, welche ein Messvolumen von 25 mm x 25 mm x 5 mm und eine Auflösung von 1,3 nm hat. Aus dieser Entwicklung heraus und der Einbeziehung der Besonderheiten der Nanomesstechnik sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Bild- und Signalverarbeitung erforderlich.

Im zweiten Teil des Vortrages wird sich mit der Fragestellung, welche Methoden aus dem Bereich der Verarbeitung von 3D-Punktwolken [3] zur Lösung von Teilaufgaben auf dem Gebiet der Nanomesstechnik beitragen können, beschäftigt.

## Nanomesstechnik – Analyse aus Signalverarbeitungssicht

Durch die Nanomesstechnik werden 3D-Einzeldaten geliefert. Diese müssen zur Beschreibung und Manipulation der Nano-Objekte in ihren lateralen Zusammenhängen unter Beachtung der messtechnischen Grundprinzipien und –gesetze sowie aller weiteren physikalischen Wechselwirkungen statischer und dynamischer Art verarbeitet und ausgewertet werden. Dies betrifft die Berücksichtigung von Kräften, Materialeigenschaften und Wechselwirkungen genauso wie konstruktive Merkmale der Taster und Bauteile in ihrer Wirkung auf Art, Größe und Verteilung der Fehler, Filterwirkungen der Geometrien, Ortsgrenzfrequenzen und erforderliche Abstraten [4]. Eine weitere Fragestellung der Erzeugung und Weiterverarbeitung von Signalen in Nanopositionier- und -messsystemen ist unmittelbar mit dem angestrebten großen Arbeitsbereich im Vergleich zur höchsten Auflösung verbunden. Die formale Generierung von sogenannten 2½D-Daten über einer Messfläche von 25x25mm<sup>2</sup> mit einer lateralen Auflösung von 1 nm würde auf 625 Billionen Messpunkte führen, die bei einem Höhenbereich von 5mm und den angestrebten Tiefenauflösungen (4Byte pro Messpunkt) auf ein Datenvolumen von ca. 2,4 Mio Gbyte führen würde. Die zukünftig angestrebten Messbereiche sind allerdings noch wesentlich größer.

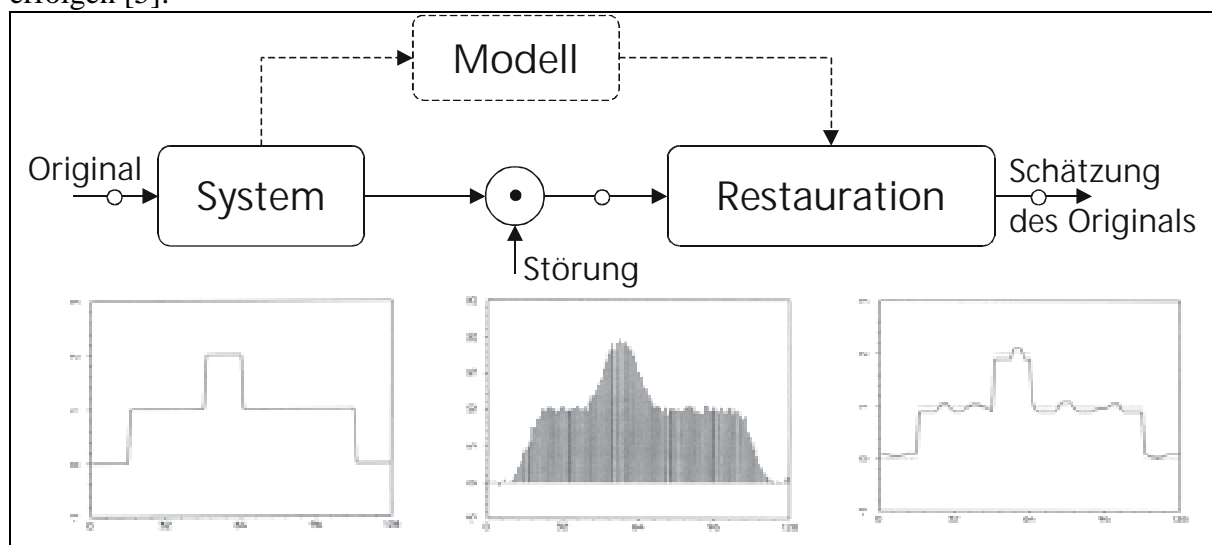
Offensichtlich sind Mess- und Positionierstrategien erforderlich, die sich an die lokalen Eigenschaften der zu erfassenden oder zu manipulierenden Objekte anpassen (z.B. Abhängigkeiten von Krümmungsmaßen, von der lokalen Ortsfrequenzcharakteristik, ... ), um das Datenvolumen

bereits bei der Datenakquisition unter Berücksichtigung der systemtheoretischen Zwänge auf das Erforderliche zu begrenzen. Aber auch dann werden optimale, den lokalen Objekteigenschaften angepasste Reduktions- und Kompressionsverfahren erforderlich sein, um die anfallende Datenvielfalt zusammen mit leistungsfähigen rechentechnischen Systemlösungen und geeigneten Hardwarekomponenten zu bewältigen.

Um Nanoobjekte zu beschreiben (metrische 3D-Eigenschaften, Qualitätsbewertung) oder zu bearbeiten (Objektmanipulation, Positionierung von Nanoobjekten zueinander), sind die entstehenden Rohdaten (in der Regel 3D-Punktwolken) zu analysieren. Dabei lässt sich der Zusammenhang zwischen Taster, Positioniersystem und dem sich darauf befindlichen Nanoobjekt mit der erforderlichen „Nanogenauigkeit“ möglicherweise nur anhand von Strukturmerkmalen herstellen. Das bedeutet z.B. Segmentierung der entstehenden 3D-Punktwolken nach Zugehörigkeit zu Regelgeometrien und Freiformelementen im Fall von Strukturkomponenten mit ausgeprägten Formmerkmalen oder aber auch Segmentierung von Regionen durch Auswertung anderer Merkmale wie 3D-Textur (z.B. für aneinandergrenzende Objektbereiche mit unterschiedlichen Dotierungen, Kristallstrukturen oder weiteren nano-topologischen Eigenschaften) [3].

### Messdatenreduktion

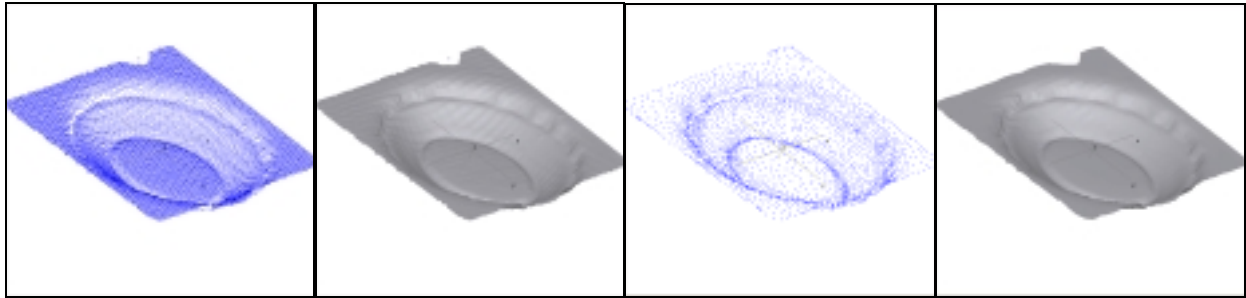
Die Reduktion der Messdaten stellt einen wichtigen Aspekt bei der Verarbeitung von Nanometermessdaten dar. Wie schon beschrieben entstehen schon bei kleinen Messfeldern riesige Datenmengen. Die Messdatenreduktion kann in mehrere Gruppen unterteilt werden. Eine Erste Reduktion erfolgt direkt am Detektionssystem. Durch die Kenntnis der physikalischen und messtechnischen Zusammenhänge, kann eine Reduktion bzw. Rekonstruktion der Messdaten erfolgen [5].



**Abbildung 1: Rekonstruktion von Messdaten**

Ist das Messziel bekannt (z.B. Formanalyse oder Visualisierung), so lassen sich Verfahren aus der Verarbeitung von Punktwolken zur weiteren Verringerung der Messdaten einsetzen. Beispielsweise sind Verfahren zur Ausdünnung, Homogenisierung und Regularisierung von 3D-Daten für diesen Zweck geeignet.

Die Homogenisierung der Punktwolke hat das Ziel, eine gleichmäßige oder auch krümmungsabhängige Punktdichte zu erzeugen und unnötige Redundanzen zu entfernen. Dabei können Qualitätsangaben zu den Datenpunkten berücksichtigt werden. Das Verfahren ist robust und qualitativ hochwertig [3]. Die Regularisierung liefert Bezüge zu äquidistanten Rastern.



**Abbildung 2: krümmungsabhängiges Ausdünnen; v.l.n.r. Original Punktwolke, Original Punktwolke schattiert, Ergebnis der Ausdünnung (Punktzahl um 75% reduziert), Ergebnis der Ausdünnung schattiert**

Weitere Möglichkeiten der Reduktion der Messdaten ergeben sich, wenn Bereiche oder auch die ganze Oberfläche parametrisch beschreibbar sind.

**Literaturhinweise:**

- [1] G. Jäger; E. Manske; T. Hausotte, H. Büchner: „Nanomeßmaschine zur abfehlerfreien Koordinatenmessung“, tm 7-8/2000, S.271-278
- [2] K.-H. Franke; T. Machleidt: „Mehrkoordinaten-Nanomeß- und Positioniertechnik“, veröffentlichter Abschlußbericht zum Teilprojekt des ZBS e.V. im Förderprojekt, , Ilmenau, Dezember 2000
- [3] F. Gaßmann, K.-H. Franke: 3D - Industriemeßsysteme / Entwicklung von intelligenten flexiblen 3D - Industriemeßsystemen, Schriftenreihe des Zentrums für Bild- und Signalverarbeitung e.V., Report 1 / 2001, ISSN: 1432-3346
- [4] G. C. F. Greve: „Systematische Problemanalyse der Bildgebung in der Rastersondenmikroskopie (SXM) und anwendungsorientierte Analyse der Anforderungen an die digitale Verarbeitung von SXM-Bildern“, Diplomarbeit, Institut für angewandte Physik, Universität Hamburg, 2001
- [5] Nestler, R.: „Bildrestauration“, Webseite des ZBS-Ilmenau, <http://www.zbs-ilmenau.de/html/kom17.html>

**Autorenangaben:**

Dipl.-Ing. T. Machleidt  
 Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V.,  
 Gustav-Kirchhoff-Straße 5, D-98693 Ilmenau  
 Tel.: +49 / 3677 / 2010304  
 Fax: +49 / 3677 / 2010302  
 E-mail: torsten.machleidt@zbs-ilmenau.de

PD Dr.-Ing. habil. K.-H. Franke  
 TU Ilmenau, FG Graphische Datenverarbeitung  
 PF 100565, D-98684 Ilmenau  
 Tel.: +49 / 3677 / 2010301  
 Fax: +49 / 3677 / 2010302  
 E-mail: karl-heinz.franke@prakinf.tu-ilmenau.de