

# Evaluierung von Spatial Analyzer, einer grafischen 3D-Messsoftware

Peter Runge

## Zusammenfassung

Der Beitrag handelt vom Einsatz und der Bedeutung grafischer Softwareunterstützung bei Messaufgaben des Maschinenbaus. Vorgestellt wird das Softwarepaket »Spatial Analyzer«, seine Eigenschaften werden beschrieben und bewertet. Am Beispiel einer kurzen Messaufgabe wird die Vorgehensweise beim »Messen gegen CAD« demonstriert, worunter der Vergleich des realen Objektes mit den 3D-Konstruktionsdaten zu verstehen ist.

## Summary

*The article describes the use and importance of a graphical 3D-software for measurement jobs in mechanical engineering. The software package »Spatial Analyzer« is introduced, its properties will be described and evaluated. A brief example will demonstrate the procedure of the inspect mode, which means the comparison of the material object with the 3-D CAD data.*

## 1 Einführung

Der Trend im Maschinenbau geht dahin, dass sich die Produktlebenszeiten mehr und mehr verkürzen. Die Konstrukteure sind gefordert, die Produkte rasch weiterzuentwickeln, Neuentwicklungen werden immer schneller auf den Markt gebracht. Elegante Fertigungsmethoden, wie etwa Verfahren, die sich unter dem Begriff Rapid Prototyping zusammenfassen lassen, ermöglichen es, innerhalb kürzester Zeit (ausgehend von einem CAD-Modell) ein Funktionsmuster oder eine Vorserie zu generieren.

Bei diesem Prozess der sich beschleunigenden Konstruktion und Fertigung ist es folgerichtig, dass an die unterstützende Messtechnik ebenfalls Forderungen nach effizienteren Strategien gestellt werden.

Für die Messtechnik kommt erschwerend hinzu, dass sich nicht nur das Tempo des Entwicklungsprozesses verändert hat, sondern auch zunehmend Form und Aussehen der Produkte. Während man früher hauptsächlich mit Regelgeometrien gearbeitet hat, führen die neuen Konstruktions- und Fertigungsmöglichkeiten dazu, dass sich das Design kaum noch beschränken muss. Fließende Übergänge und Freiformflächen sehen gut aus, lassen sich aber nicht mehr über nur wenige geometrische Parameter beschreiben, wodurch sich der Messaufwand erhöht. Daher ist der Wunsch naheliegend, die 3D-Designdaten des Konstrukteurs zu nutzen, um sie direkt in den Messvorgang einzubeziehen und als Ergebnis wiederum Informationen (etwa als korrigierte 3D-Daten oder entsprechend visualisierte 3D-Modelle) zurückzugeben. Mittlerweile gibt es einige Firmen, die die Anbindung ihrer Geräte an

die Designdaten durchgeführt haben. Vor allem sind hier die Hersteller von stationären Messgeräten wie Koordinatenmessmaschinen zu nennen.

In jüngerer Zeit hat man damit begonnen, auch mobile Messgeräte mit entsprechender Softwareanbindung auszustatten. Einige Softwarepakete werden von den Geräteherstellern angeboten. Diese Pakete haben zwar teilweise Plugins für Fremdgeräte, aber die bevorzugte Anbindung bezieht sich natürlich auf die eigene Messgerätreihe. Es gibt aber auch eine eher kleine Gruppe von unabhängigen Softwareanbietern, die ihr Produkt offen für die Anbindung an Messgeräte verschiedener Hersteller ausgelegt haben. Diese Tools dienen als Instrumententreiber, Visualisierungs- und Auswertemodul. Der Nutzen eines derartigen Programms soll nachfolgend anhand einer kleinen Messaufgabe, nämlich der Ebenheitsuntersuchung einer Granitplatte, untersucht werden.

## 2 Spatial Analyzer

Ein Beispiel für einen unabhängigen Softwarehersteller ist die Firma New River Kinematics (NRK). Die 1994 in den USA gegründete Firma entwickelte das Produkt *Spatial Analyzer* (SA), eine grafische 3D-Messsoftware, die ihre Anwendung hauptsächlich zusammen mit mobilen Meßsystemen, wie z. B. Lasertrackern, Theodoliten und Scannern findet. Die Philosophie des SA besteht darin, dass sich Geräte gleicher Technologie (aber verschiedener Hersteller) vom Nutzer auf gleiche Art bedienen lassen. Nach eigenen Angaben ist es möglich, eine beliebige Anzahl von Geräten gleichzeitig zu betreiben.

SA stellt ca. 60 (!) verschiedene Instrumentenschnittstellen zur Verfügung. Unter anderem werden Instrumente von Leica, Faro, SMX und API unterstützt. Entsprechend häufig sind die von NRK gelieferten Software-Updates. Die hier betrachtete Softwareversion trägt die Release-nummer 2005.09.21.

Die klassischen Einsatzgebiete des SA sind das »Messen gegen CAD«, der so genannte Inspect mode, das Abmessen von Bauteilmaßen, das Reverse Design, und das Ausrichten von Bauteilen, alles Betriebsarten, die auf Applikationen im Maschinen- und Apparatebau ausgerichtet sind.

Entsprechend der Zielgruppe präsentiert sich SA dem Anwender. Die Menüzeile ist ähnlich einem 3D-Konstruktionsprogramm aufgebaut. Der vertikale Browser am linken Bildschirmrand, der die geometrischen Elemente darstellt, kommt den meisten CAD-Konstrukteuren ebenfalls bekannt vor.

## 2.1 Einlesen der CAD-Daten

Das Messen gegen CAD beginnt damit, dass eine CAD-Zeichnung importiert wird. Dies kann in den gängigen Formaten wie Iges, Step oder Sat durchgeführt werden. Catia- und Poliworks-Dateien müssen nicht gewandelt werden und können im eigenen Format eingelesen werden. In unserem Anwendungsbeispiel wurde das Modell aus Mechanical Desktop importiert. Es handelt sich dabei um ein Schweißgestell mit aufgelegter Granitplatte, deren Ebenheit als Arbeitsbeispiel untersucht werden soll. Das Einlesen des 0,7 MB großen Iges-Files stellt keine Schwierigkeit dar. Separate Tests mit großen Zusammenbauzeichnungen von ca. 40 MB (Iges) haben gezeigt, dass SA auch große Modelle gut bewältigen kann. Die erwähnte 40 MB-Zeichnung zerlegte SA in immerhin 6.500 Einzelflächen.

Letztendlich hat sich bei der Arbeit mit SA das Step-Format als am besten geeignet erwiesen, maßgeblich dadurch bedingt, dass sich die Zeichnung kompakter darstellen lässt und Im- und Export der Zeichnung damit schneller vonstattengeht. Bei unserem Anwendungsbeispiel ist das Objekt in ähnlicher grafischer Qualität wie im CAD-Programm selbst zu sehen. Dies bezieht sich auch auf das Handling des Modells, d.h. das Drehen und Bewegen gehen ohne störende Verzögerungen vonstatten, so dass man davon ausgehen kann, dass NRK im grafischen Bereich sehr leistungsfähige Algorithmen implementiert hat.

## 2.2 »Messen gegen CAD« am Beispiel eines Tischgestells

Nach dem Einlesen der CAD-Zeichnung wählt der Anwender das oder die verwendeten Messgeräte im Programm aus. In unserem Fall handelt es sich um einen Leica Lasertracker. Das Programm zeigt bei zulässiger Auswahl das Symbol für das gewählte Messgerät im Messfenster, wodurch die Auswahl bestätigt wird. Da das Messgerät noch nicht relativ zum CAD-Modell orientiert ist, erscheint es in beliebiger Raumposition, hier also zunächst scheinbar frei schwebend, obwohl es in Realität seitlich zum Messobjekt, also der Granitplatte, angeordnet ist (s. Abb. 1). Die gemessenen Objektpunkte werden nun folgerichtig im Beobachtungssystem des Messgerätes (Lasertrackers) erfasst und auch dargestellt, also auch frei schwebend und ohne Zuordnung zum Objekt (visualisiert als Diamanten). Der nächste Schritt ist eine freie Stationierung zur Ausrichtung des Messgerätes und seines Beobachtungskoordinatensystems in Bezug auf das Objekt(koordinaten-)system. Dieser Vorgang wird auch mit »Ausrichten« bezeichnet. Letztendlich werden hierbei die Transformationsparameter zwischen dem Beobachtungssystem des Messgerätes und dem Objektkoordinatensystem bestimmt. Danach sind die Messungen im Objektkoordinatensystem darstellbar, was die weitere Durchführung der Messaufgabe erleichtert. So können sofort am Bildschirm grobe Fehler (sowohl bei der Transformation als auch bei der

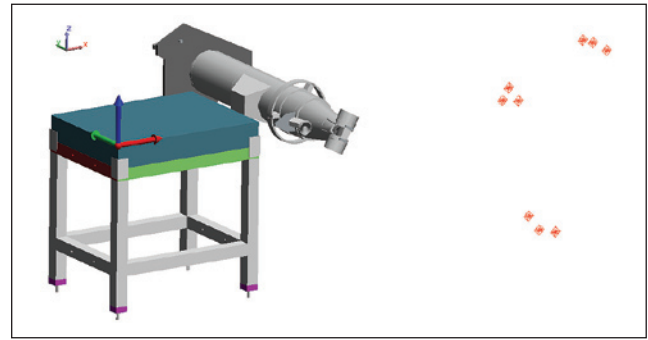


Abb. 1: Lasertracker mit Messpunkten für die Ausrichtung

Messung) erkannt werden. Weitaus wichtiger ist aber, dass bereits nach der Ausrichtung im Objektkoordinatensystem gearbeitet wird und sofort objektbezogene Aussagen abgeleitet werden können. Weil das Bezugskoordinatensystem durch das Objekt definiert wird, braucht das Messgerät auch nicht horizontal zu werden.

Dieser Ausrichtevorgang der beiden Bezugssysteme wird im nächsten Abschnitt erläutert. Hier kommt der Tatsache Bedeutung zu, dass – anders als in der klassischen Geodäsie – typischerweise am Objekt keine fixen Referenzpunkte (in Form von definierten Marken mit xyz-Koordinaten) vorhanden sind, um den Referenzrahmen des Objektsystems zu definieren. Vielmehr wird das Objektsystem aus der CAD-Darstellung (basierend auf konstruktiven bzw. fertigungstechnischen Überlegungen) heraus definiert. Dies bedeutet: Ausgewählte Flächen bilden den Referenzrahmen und damit definieren ausgewählte Schnitte dieser Flächen das Referenzsystem. Nach der Ausrichtung hat die Messung also einen Bezug zum CAD-Modell; die Software unterstützt dann die unmittelbare Abfrage nach Abweichungen zum CAD-Modell und hilft bei der visuellen Darstellung sowie der konstruktionsprogrammgerechten Ausgabe der Daten. Werden also Abweichungen des realen Objektes gegen sein CAD-Modell gesucht, muss der Anwender vorab sicherstellen, dass die Definition des Referenzrahmens unbeeinträchtigt bleibt.

## 2.3 Ausrichten und Messen

In diesem Beispiel wird der Referenzrahmen durch drei Ebenen der Granitplatte (Deckfläche und zwei ausgewählte Seitenflächen) gebildet. Die Orientierung der Z-Achse wird normal zur Oberfläche (Deckfläche) festgelegt. Der Ursprung des Koordinatensystems entsteht als Schnittpunkt aller Flächen und die X-Achse entsteht als Schnittlinie von Ober- und Seitenfläche (vgl. Abb. 1). Um den Referenzrahmen anzumessen, müssen also diese drei Ebenen messtechnisch bestimmt werden. Dies geschieht durch die Erfassung von jeweils drei (zu einer Ebene gehörenden) Punkten, deren Lage darüber hinaus nicht weiter festgelegt ist. Hier sind möglichst große Dreiecksflächen gewählt worden. Abb. 2 zeigt die neun Punkte und die drei durch sie aufgespannten Ebenen – wegen der noch nicht ausgeführten Orientierung – im Bezugssystem des Messgerätes dargestellt. Spatial Analyzer wie auch jede

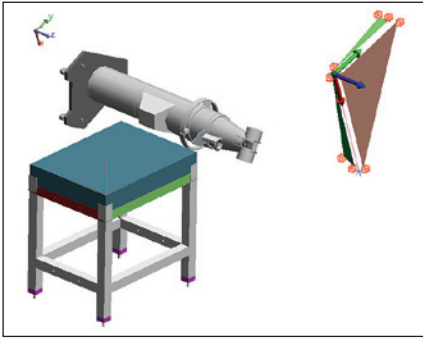


Abb. 2:  
Konstruktion  
des lokalen Ko-  
ordinatensys-  
tems zur Aus-  
richtung

andere Industriemesssoftware unterstützt nun die Definition der Koordinatenachsen des Objektsystems in Bezug auf ausgewählte geometrische Elemente (Ebenen wie hier oder auch andere geometrische Regelflächen). Das rot-grün-blau dargestellte Koordinatensystem entsteht, der Anwender kann am Bildschirm schnell grobe Fehler erkennen. Eine überbestimmte messtechnische Erfassung des Referenzrahmens (Ebenen durch mehr als drei Punkte) würde ebenfalls durch Verwendung von klassischen Ausgleichsroutinen unterstützt, wobei sich der Anwender über die Zweckdienlichkeit der überbestimmten Definition im Klaren sein sollte.

Den Abschluss des Ausrichtevorgangs bildet dann die Transformation des Beobachtungssystems in das Objektsystem. Hierzu genügt ein »Move-Befehl«, um den Lasertracker samt selektierten Objekten (Messpunkte, Koordinatensystem usw.) »an die richtige Position zu befördern« (Abb. 3). Das Messsystem ist nun orientiert und die Objektvermessung kann beginnen. Hier wird die Oberfläche der Granitplatte durch linienhaftes Abfahren der Oberfläche erfasst (in Abb. 3: orangefarbene Messpunkte = Objektpunkte, rote Punkte = Punkte zur Definition des Referenzrahmens).

Etwas Konzentration und Disziplin (häufiges Speichern) sind beim Umgang mit SA erforderlich, da bei den meisten Softwareaktionen kein Undo-Befehl vorhanden ist, einzig die Fit-Befehle und Transformationen können rückgängig gemacht werden. Die Transformationsparameter werden abgespeichert und können später wieder geladen werden.

Der Nutzen der Software wird hier bereits augenscheinlich: Messobjekt und Messinstrument sowie deren Anordnung werden dargestellt, das weitere Vorgehen entwickelt sich am Bildschirm. Messpunkte, die online auf dem Objekt erscheinen, geben eine gute Orientierung über den Fortgang der Arbeit. Die Wahl des geeigneten Koordinatensystems sorgt dafür, dass die Messwerte sofort Auskunft über die geometrischen Eigenschaften des Messobjekts geben.

Parallel zur Anzeige am Bildschirm werden die Messdaten im Browser gelistet. Wenn man sich hierbei noch zu einer sinnvollen Gruppierung und Benennung der Punkte entschließt, wird die weitere Arbeit stark erleichtert.

Grundsätzlich ist diese Doppelanordnung recht elegant, denn manchmal ist es einfacher, Punkte oder Objekte im Modellbereich durch Anklicken mit der Maus zu erfassen, und oft ist es sinnvoller die Elemente in einem

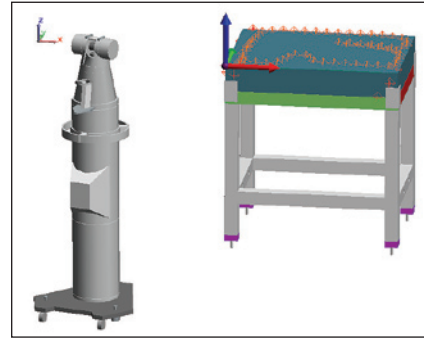


Abb. 3:  
Lasertracker mit  
Messpunkten  
zur Ermittlung  
der Genauigkeit  
der Oberfläche

Übersichtsfenster einzeln oder als ganze Gruppe auszuwählen.

So kann man bei unserer Steinplatte Messpunkte, die etwa durch ungewolltes Abheben des Cornercubes (z. B. beim Überspringen eines Typenschildes) entstanden (und somit nicht relevant) sind, einfach am Modell erkennen und durch einzelnes Anklicken mit der Maus entfernen.

Die übrig geblieben Punkte werden nun über den Menüpunkt »Relationship« in Beziehung zur Oberfläche im CAD-Modell gesetzt, hierdurch ergeben sich die Abweichungen gegenüber der Sollfläche.

Das zuvor gewählte Koordinatensystem an der linken vorderen Ecke des Tisches, sorgt dafür, dass die Abweichungen direkt über die Z-Koordinate, also über Höhen-schlag oder Durchbiegung der Platte Auskunft geben.

## 2.4 Visualisierung der Messwerte

Um die Ergebnisse darzustellen, gibt es mehrere Möglichkeiten: Zunächst kann man natürlich den Report als Listendarstellung verwenden, welche im Excel-Format exportiert werden kann. Es ist auch möglich, benutzer-spezifische Reports zu gestalten. Wenn es um die Visualisierung der Daten geht, ist z. B. die Vektordarstellung recht anschaulich: kleine Pfeile geben Auskunft über Größe und Richtung der Abweichung. Im vorliegenden Beispiel musste hierzu eine deutliche Überhöhung gewählt werden, um die relativ kleinen Abweichungen, von einigen  $\mu\text{m}$ , sichtbar zu machen. Eine weitere Visualisierungsmöglichkeit besteht in einer Art Fehlfarbandarstellung

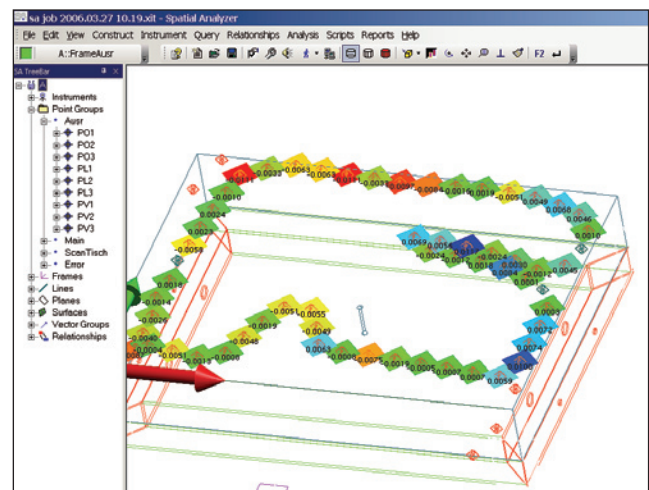


Abb. 4: Messpunkte und deren Visualisierung

lung, wobei farbige Fähnchen an den Messpunkt angehängt werden; die Farbe gibt dann Aufschluss über die Höhe der Sollabweichung. Damit lassen sich Tendenzen in der Oberfläche erkennen, die sich etwa aus dem Bearbeitungsverfahren, der Aufspannung oder durch ein spezielles Werkzeugverhalten ergeben haben. Gerade hierfür würde man sich einen Farbverlauf direkt im Modell wünschen, eine Darstellung wie sie etwa von FEM-Berechnungen dem Konstrukteur vertraut ist. Alle vorhandenen Visualisierungsarten können auch gleichzeitig angezeigt werden also: Zahl, Vektor, Farbe (Abb. 4).

### 2.5 Weitere Features von SA

Das bis dahin dargelegte Messbeispiel mag zwar einen Einblick in die grundsätzliche Arbeitsweise mit SA geben, wenn es jedoch darum geht, die Möglichkeiten des Programms voll auszureizen, kommen noch andere Leistungsmerkmale ins Spiel. So ist vor allem der gleichzeitige Einsatz von mehreren Messgeräten zu nennen, die unterschiedliche Technologien aufweisen oder von unterschiedlichen Geräteherstellern stammen. SA kann alle Geräte online verwalten z. B. im Rahmen einer Positionierungsaufgabe, oder auch die Bündelblockausgleichung für verschiedene Instrumente und Stationen durchführen. Ein weiteres nicht zu unterschätzendes Feature ist die integrierte Programmiersprache, die es erlaubt, bei ähnlichen oder wiederkehrenden Aufgaben das Messen, Auswerten oder Protokollieren zu automatisieren.

## 3 Beurteilung

Ein grafisches 3D-Messprogramm in der Art des SA vereinfacht viele Messaufgaben grundlegend. Dies gilt für die Orientierung beim Messen, die Visualisierung der Ergebnisse und auch für die Dokumentation, wie die Aufgabe durchgeführt wurde. Vermerkt sei in diesem Zusammenhang auch der (kostenlose) Viewer, der es ermöglicht, Kunden oder Mitarbeitern die Messaufgabe und Analyse auch an entfernten Orten zu demonstrieren. Diese grafischen Möglichkeiten allein sind von so großem Nutzen, dass man sie, nachdem man sie kennen gelernt hat, nur ungern missen möchte.

Durch die Einbindung der CAD-Daten wird darüber hinaus ein Messen dort möglich, wo Maßzeichnungen gänzlich fehlen, ein Umstand der immer häufiger auftritt, da Werkzeugmaschinen meist direkt auf das Volumenmodell zugreifen, so dass der Zwischenschritt über die Zeichnung entfällt.

Eine Zeichnung nur für die Beschreibung einer Messaufgabe zu erstellen, wäre somit ein nicht mehr zeitgemäßer Mehraufwand.

Die Tatsache, dass SA auch den Bereich des Reverse Designs abdeckt, gibt dem Konstrukteur die Möglichkeit, das vorhandene CAD-Modell anhand realer Objekte zu vervollständigen oder gar neu zu konstruieren. Dies trifft bei

der uns vorliegenden Version vor allem auf die Konstruktion von Regelgeometrien wie Zylinder, Quader oder Paraboloiden zu. Hier würde man sich für die Zukunft sicher noch leistungsfähigere Werkzeuge wünschen, etwa in der Art, dass aus einer Rohrleitung der Profildruck ermittelt wird oder ähnliche Funktionen. Eine bedeutende Untergruppe des Reverse Designs stellt die Flächenrückführung aus Punktwolken dar. Mit der von uns betrachteten Version war es nur schwer möglich, Flächen oder Volumenkörper aus Punkten zu generieren. Ein leistungsfähiges Modul, das Vermaschung, Knotenreduzierung und Modellierung erlaubt, würde den Leistungsumfang von SA in ganz entscheidender Weise abrunden.

Ein weiterer Punkt, zwar von geringerer Bedeutung aber dennoch wünschenswert, wäre der direkte Umgang mit Toleranzangaben, wie sie im (deutschen) Maschinenbau üblich sind. So ließe sich im Falle einer Übernahme dieser Informationen vom CAD-Programm das Ergebnis einer Messung sehr einfach ausdrücken: nämlich innerhalb oder außerhalb der Toleranz liegend, also »gut« oder »Ausschuss«. Dadurch könnte der notwendige Kommunikationsaufwand zwischen Auftraggeber und Messingenieur weiter reduziert werden und den aus den Forderungen der Geometrischen Produktspezifikation (GPS) resultierenden Forderungen mit geringerem Aufwand Genüge getan werden.

SA gibt es bisher nur in englischer Sprache. Die Einarbeitung in das Programm geht trotzdem leicht vonstatten. Dies gilt vor allem dann, wenn man die wesentlichen Arbeitsschritte (z. B. das Ausrichten) im Rahmen einer Schulung erlernt hat. Der Umgang mit SA ist sowohl dem Vermessungs- als auch dem Maschinenbauingenieur ohne großen Aufwand möglich. Bei einem Hersteller- oder Gerätewechsel ist keine neue Einarbeitung oder Schulung erforderlich, da die gleiche Benutzeroberfläche beibehalten wird.

Grundsätzlich sind die vielfachen komplexen Messaufgaben der heutigen Zeit nur noch mit einer modernen 3D-Messsoftware vernünftig realisierbar, sei es nun mit SA oder einer vergleichbaren Software. Das Messen mit den rudimentären Basispaketen der Messgerätehersteller sollte nur noch bei ganz beschränkten Aufgaben Anwendung finden, ansonsten gehört es der Vergangenheit an.

### Literatur

[www.kinematics.com/products/sa/index.html](http://www.kinematics.com/products/sa/index.html)  
[www.leica-geosystems.com/de/de/lgs\\_35156.htm](http://www.leica-geosystems.com/de/de/lgs_35156.htm)

Hoischen: Technisches Zeichnen. 17. Auflage, Girardet-Verlag, Essen, 1979.

DIN 7150-2: ISO-Toleranzen und ISO-Passungen. Beuth-Verlag, Berlin, 1977.

### Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Peter Runge  
 Geodätisches Institut, Universität Karlsruhe  
 Englerstraße 7, 76128 Karlsruhe  
[runge@gik.uni-karlsruhe.de](mailto:runge@gik.uni-karlsruhe.de)