

## Laser Tracker

von Bob Bridges, Ph.D.

In vielen Branchen, darunter in der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie, müssen exakte Messungen dreidimensionaler Teile an Großobjekten vorgenommen werden. Für solche Messungen benutzt man heutzutage immer häufiger den Laser Tracker, ein Gerät, das in den späten 1980er Jahren erstmalig eingesetzt wurde. Wie die Bezeichnung bereits vermuten lässt, misst der Laser Tracker 3D-Punktkoordinaten, indem er einen Laserstrahl auf einen Spiegelreflektor richtet, der auf dem zu vermessenden Objekt angebracht ist. Der Strahl wird dann zum Laser Tracker zurückgeworfen.

### Konkurrierende Instrumente zur Koordinatenmessung

Heutzutage sind viele Instrumente in der Lage, Koordinaten zu messen, und jedes Instrument hat seinen eigenen Anwendungsbereich. Herkömmliche stationäre Koordinatenmessgeräte führen wiederholte Messungen rasch und präzise durch. Sie können jedoch nicht bewegt werden, haben nur eine begrenzte Reichweite und sind für große Anwendungen sehr teuer. Sie werden zumeist bei kleinen bis mittelgroßen Bauteilen verwendet (bis zu 1 m), bei denen Schnelligkeit und Präzision im Vordergrund stehen.

Bei mittelgroßen bis großen Teilen werden tragbare Koordinatenmessgeräte (KMG) bevorzugt. Als der Laser Tracker noch nicht entwickelt war, wurden als nicht-stationäre Messmaschinen meist Theodoliten, Tachymeter (Theodoliten mit elektronischer Entfernungsmessung), KMGs mit beweglichem Messarm und Fotogrammetriesysteme verwendet. Doch aufgrund ihrer enormen Präzision, hohen Messgeschwindigkeit und einfachen Handhabung haben Laser Tracker viele dieser Systeme abgelöst.

### Wie Laser Tracker funktionieren

Die Funktionsweise eines Laser Tracker ist einfach zu verstehen: Das Gerät misst zwei Winkel und eine Strecke. Der Tracker wirft einen Laserstrahl auf einen kugelförmigen Reflektor, mit dem das zu vermessende Objekt abgetastet wird. Das Licht wird von diesem Spiegelreflektor zurückgeworfen und tritt exakt an der Austrittsstelle wieder in den Tracker ein. Es gibt verschiedene Arten von Reflektoren, am häufigsten verwendet man jedoch Spiegelreflektoren, die in einer kleinen Kugel untergebracht sind (SMR). Trifft das Licht wieder in den Laser Tracker ein, trifft ein Teil davon auf einen Entfernungsmesser, der den Abstand zwischen Tracker und dem SMR bestimmt. Bei diesem Entfernungsmesser kann es sich entweder um ein Interferometer oder ein Gerät zur Messung absoluter Distanzen (ADM) handeln.

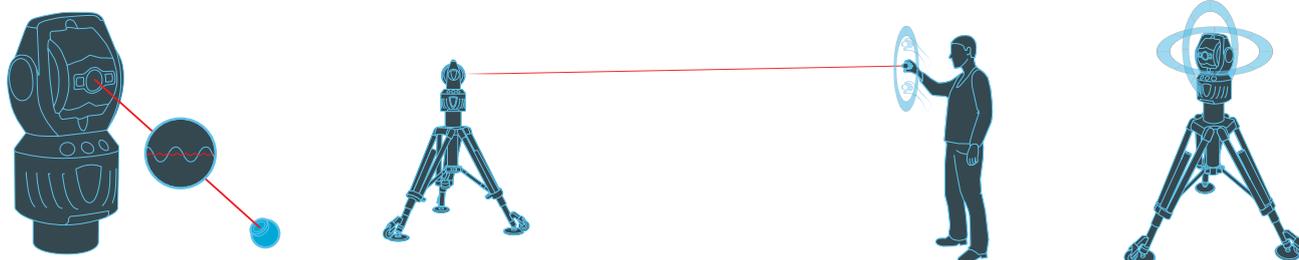
Ein Laser Tracker enthält zwei Winkelmesser. Diese bestimmen die Winkelausrichtung der beiden mechanischen Achsen des Tracker: der Azimutachse einerseits und der Höhenachse (oder Zenitachse) andererseits. Die beiden Winkel und die Strecke reichen aus, um das Zentrum des SMR exakt lokalisieren zu können. Da das Zentrum des SMR vollkommen unabhängig von der zu messenden Oberfläche immer denselben Abstand zum Objekt hat, können die Oberflächenkoordinaten oder Punkte mit dem SMR ganz einfach bestimmt werden.

Die Distanzmessung – eine wichtige Funktion des Laser Tracker – kann entweder inkrementell oder absolut erfolgen. Für eine inkrementelle Distanzmessung verwendet man ein Interferometer und einen Helium-Neon-Laser mit stabiler Frequenz. Das Licht des Lasers teilt sich in zwei Strahlen: Einer davon wandert direkt in das Interferometer. Der zweite Strahl tritt aus dem Tracker aus, wird beim Auftreffen auf den SMR zurückgeworfen und trifft so auf dem Rückweg auf das Interferometer. Im Interferometer überlagern sich die beiden Lichtstrahlen. Dadurch ändert sich die Schwingung jedes Mal, wenn sich der SMR dem Tracker um einen Abstand von einer Viertel Lichtwellenlänge ( $\sim 0,0158 \mu\text{m}$ ) nähert oder entfernt. Eine elektronische Schaltung zählt die Schwingungsänderungen (auch „Fringe Counts“ genannt) und bestimmt somit die zurückgelegte Strecke. Bei einem typischen Messvorgang bringt der Bediener den SMR in der Ausgangsposition des Tracker an und stellt das Interferometer auf die bekannte (Ausgangs-)Entfernung ein. Bewegt nun der Bediener den SMR hin zur gewünschten Stelle, bleibt der Laserstrahl immer auf das Zentrum des SMR gerichtet. Das funktioniert sehr gut, solange der vom Tracker ausgesandte Strahl auf dem Weg zum SMR nicht auf ein Hindernis stößt. Wird der Strahl aber doch einmal unterbrochen, erhält man eine falsche Anzahl an Counts, und die Bestimmung der Entfernung war nicht erfolgreich. In diesem Fall meldet der Tracker, dass ein Fehler aufgetreten ist. Der Bediener muss dann den SMR zu einem Referenzpunkt zurückführen, beispielsweise an die Ausgangsposition des Tracker.

Die Möglichkeit, absolute Distanzen zu messen, besteht schon eine ganze Weile. In den letzten zehn Jahren konnten ADM-Systeme jedoch enorm verbessert werden, und ihre Präzision kommt heute an die von Interferometern heran. Der Vorteil der ADM-Messung im Vergleich zur inkrementellen Distanzmessung besteht darin, dass man den Laserstrahl einfach auf das Ziel ausrichten und sofort losmessen kann. Das ADM-System misst automatisch die Strecke zwischen Tracker und Reflektor, selbst wenn der Strahl zuvor unterbrochen wurde. Bei einem Laser Tracker mit ADM wird Infrarotlicht aus einem Halbleiter-Laser vom SMR zurückgeworfen und tritt wieder in den Tracker ein, wo es dann in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Ein elektronischer Schaltkreis wertet das Signal aus. Er bestimmt, wie lange der Strahl unterwegs war und multipliziert diese Zeit mit der Lichtgeschwindigkeit in Luft. Das Produkt entspricht der Entfernung zwischen Laser Tracker und SMR.

Geräte zur Messung absoluter Distanzen wurden in Laser Tracker erstmals Mitte der 1990er Jahre eingesetzt. Damals dauerte die Messung mit ADM-Systemen jedoch zu lange, um Oberflächenscans durchzuführen. Daher enthielten alle frühen Laser Tracker entweder ein Interferometer oder aber ein Interferometer zusammen mit einem ADM-System. Mittlerweile sind einige Geräte zur Messung absoluter Distanzen schnell genug und erlauben Scans mit hoher Geschwindigkeit und vernachlässigbaren Messabweichungen. Deshalb haben einige moderne Tracker auch nur noch ein ADM-System und kein Interferometer mehr.

Eine weitere Funktion des Tracker ist die Steuerung und Regelung des Strahls. Es gibt eine Tracker-Art, bei



der der Laserstrahl direkt von seiner rotierenden Struktur ausgesandt wird. Bei anderen Trackern wird ein Laserstrahl von einem rotierenden Spiegel reflektiert. In beiden Fällen richtet der Tracker durch Rotation der mechanischen Achsen den Laserstrahl in die gewünschte Richtung aus. Bei zahlreichen Anwendungen hält der Tracker den Strahl auf das Zentrum eines sich schnell bewegenden SMR. Hierzu leitet er einen Teil des wieder eintretenden Laserstrahls auf einen optischen Positionssensor (OPS). Trifft der Laserstrahl nicht exakt im Zentrum des SMR ein, dann verfehlt auch der Teilstrahl das Zentrum des OPS, wodurch ein Fehler signalisiert wird. Dieses Signal regelt die Rotation der mechanischen Achsen so, dass der Strahl ständig auf das Zentrum des SMR ausgerichtet ist.

## Koordinatenmessung mit dem Tracker

Tracker erfassen dreidimensionale Koordinatendaten, die durch Software an geometrische Einheiten wie Punkte, Ebenen, Kugeln oder Zylinder „angepasst“ werden können. Für gewöhnlich werden die Daten in einem lokalen Koordinatensystem angezeigt, das an die jeweiligen Objektmerkmale gebunden ist. Eine flache Oberfläche am Objekt kann beispielsweise durch die x/y-Ebene dargestellt werden. Alternativ kann das lokale Koordinatensystem aber auch Objekteigenschaften durch Punkte oder Linien darstellen. Punkte können als Referenzbohrungen erscheinen, in die Punktaufnahmen für das SMR oder Konstruktionskugeln eingesetzt werden können.

In manchen Fällen ist es notwendig, den Tracker an einer weiteren Stelle zu platzieren, um sämtliche Objektteile messen zu können. Dies ist ohne großen Aufwand möglich, indem man drei oder mehr SMR-Nester auf dem oder in der Nähe des Objekts positioniert. Der Laser Tracker misst die Koordinaten des SMR in jedem Nest vor und nach der Bewegung des Trackers auf eine neue Position. Die nach der Bewegung erfassten Daten werden mit Hilfe der Tracker Software automatisch ins lokale Koordinatensystem umgewandelt. Mit einigen Zusatzfunktionen können die Fähigkeiten des Tracker noch erweitert werden: Dank Fernsteuerung kann ein einzelner Bediener Messungen durchführen, ohne immer wieder zum Computer laufen zu müssen. Die Wetterstation (Temperatur, Luftdruck und Feuchtigkeit) bietet die Möglichkeit den Laser Tracker in nahezu jeder Produktions- und Messumgebung ohne Genauigkeitsverlust zu verwenden. Zusätzliche Materialtemperatursensoren tragen zum Ausgleich von wärmebedingter Ausdehnung der zu messenden Objekte bei. Ein Neigungsmesser misst die Tracker-Ausrichtung anhand der Erdanziehung.

## Tracker in der Fertigungsindustrie

Tracker werden in allen Produktionsphasen eingesetzt: Zur Überprüfung großer Fräsmaschinen und der Teile, die damit hergestellt werden, zum Bau und zur regelmäßigen Überprüfung von Fertigungsmaschinen und für viele andere Aufgaben. Der Tracker prüft die Genauigkeit einer Fräsmaschine, die beliebige Bewegungen ausführen kann, indem er die Position eines auf der Klemmhülse befestigten SMR misst. Auch von der Fräse hergestellte Teile werden entweder vor oder nach der Produktion mit dem Tracker geprüft.

Fertigungsmaschinen nennt man auch „Spannvorrichtungen“ oder „Montagegestelle“. Beispiele sind Montagemaschinen, die beim Zusammenbau des Endprodukts mitwirken, sowie Umformungsmaschinen, die bei der Metallverformung eingesetzt werden. Bei der Herstellung solcher Fertigungsmaschinen wird der

Laser Tracker eingesetzt, um die richtige Position für Bohrungen, Dornen und Zargen zu finden. Später verwendet man ihn für regelmäßige Überprüfungen der Abmessungen, Konturen und der Funktionen der Maschine.

Mit einem Tracker mit ADM-Funktion können einfache Messungen durchgeführt werden, anhand derer die relative Position großer Bauteile bestimmt werden kann, die miteinander verbunden werden. Hierfür misst der Tracker die Positionen zahlreicher kleiner Reflektoren, die auf den Bauteilen angebracht werden.

Als besonderer Anwendungsbereich gilt der Einsatz des Tracker zur Schaffung und Überprüfung einer Modellform in der Automobilindustrie. Ingenieure entwickeln zuerst ein Modell des Fahrzeugs aus Ton. Der Tracker liest die Modelloberfläche und digitalisiert die Informationen, woraufhin ein Rechner die gestreuten Punkte in eine glatte Oberfläche umwandelt. Mit dieser Information wird eine Modellform gefräst und dann je nach Bedarf modifiziert, so dass das gewünschte Teil hergestellt werden kann. Im Laufe dieses Verfahrens misst der Tracker sowohl die Modellform als auch das fertige Teil.

Ein neues Anwendungsgebiet für Tracker in der Fertigungsindustrie ist die direkte Kontrolle mechanischer Geräte wie Fräsmaschinen. Der Tracker kontrolliert hier die Bewegungen dieser Maschinen und gewährleistet so, dass die Werkstücke am Ende den Vorgaben entsprechen. Dadurch wird das Herstellungsverfahren beschleunigt, es entsteht weniger Ausschuss, und wiederholte Tests werden überflüssig. Außerhalb der Fertigungsindustrie finden Tracker unter anderem Verwendung beim präzisen Einfluchten und Anfertigen von umfangreichen Strukturen wie Turbinen zur Stromerzeugung und Teilchenbeschleunigern.

Laser Tracker unterscheiden sich von anderen tragbaren Koordinatenmessgeräten durch ihre Genauigkeit und Geschwindigkeit. Da nur eine Person notwendig ist, um mit einem Minimum an Vorbereitung schnelle Messungen durchzuführen, gehören Laser Tracker zu den vielseitigsten und flexibelsten Koordinatenmessgeräten. Tracker-Software analysiert die Tracker-Daten und stellt die Ergebnisse auf brauchbare Weise dar. Tracker werden immer beliebter. Das gilt vor allem für die Produktion großer Bauteile, wo sie in jeder Phase des Herstellungsprozesses eingesetzt werden.

## Die Lösung von FARO Technologies

Der Laser Tracker von FARO ist das meistverkaufte Laser Tracker System der Welt. Im Laufe der Jahre konnte FARO stets seine Spitzenposition in der Laser Tracker-Technologie behaupten. 2005 entwickelte FARO die ersten und einzigen Laser Tracker, die wirklich ausschließlich über ADM verfügen. Sie sind mit der XtremeADM-Technologie ausgestattet und kombinieren so schnelles Messen mit der fortschrittlichen FARO-Technologie. Dadurch ist es das einfachste und vielfältigste ADM-System und ermöglicht statische und dynamische Messungen, und zwar ohne Interferometer. Für eine noch höhere Präzision bietet FARO auch Laser Tracker, die in zwei verschiedenen Mess-Modi arbeiten (XtremeADM und Interferometer), die ihn zum genauesten und flexibelsten Laser Tracker System machen.



### European Headquarters

FARO EUROPE GmbH & Co. KG

Lingwiesenstr. 11/2

70825 Korntal-Münchingen

T: +49 7150 97 97 0

F: +49 7150 97 97 44

info@faro-europe.com, www.faro.com/germany