

## Anwenderbericht

### VOLUMETRISCHE KOMPENSATION EINES DROOP+REIN BEARBEITUNGSZENTRUMS MIT FIDIA-STEUERUNG

„58 m<sup>3</sup>-Maschine in nur einem Tag  
hochgenau kalibrieren und kompensieren“

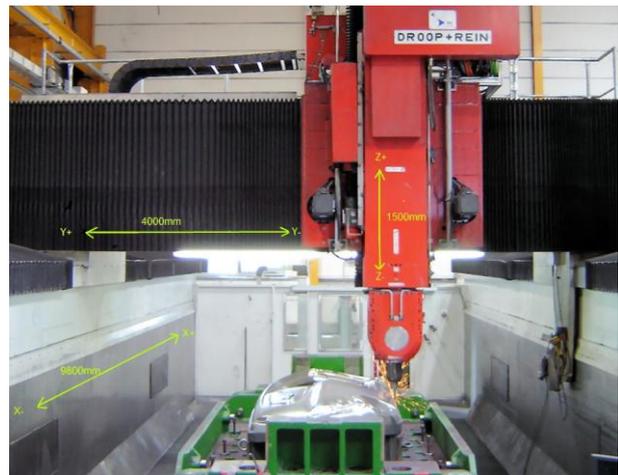
#### VOLUMETRISCHE KOMPENSATION ZUR WIEDERHERSTELLUNG DER GENAUIGKEIT UND GENAUIGKEITSSTEIGERUNG BEI GROSSEN WERKZEUGMASCHINEN

Werkzeugmaschinen, insbesondere große, verändern sich während ihrer Betriebszeit zum Beispiel durch Verkrümmungen, Durchhang, Verschleiß etc. oder durch das Absinken des Maschinenfundaments. Die dadurch bedingten Abweichungen können durch mechanische Korrektur der Maschine verringert werden. Allerdings hat dies lange Stillstandszeiten der Maschine zur Folge und die Genauigkeit des mechanischen Richtens ist für heutige Anforderungen oft unzureichend. Dank moderner Steuerungstechnik und innovativer Messsysteme können geometrische Führungsabweichungen zum größten Teil innerhalb kurzer Zeit nachweislich reduziert werden. Damit wird die Fertigungsgenauigkeit, vor allem bei großen Werkstücken, deutlich erhöht.

#### CONCAD SETZT AUF KOMPETENTE PARTNER UND ERSTKLASSIGE MESSSYSTEME

Die Firma Concad GmbH im nördlichen Baden-Württemberg ist spezialisiert auf die Herstellung von großen hochgenauen Formen und Werkzeugen für den Automobilbau. Unter anderem wird ein Bearbeitungszentrum von Droop+Rein des Typs FOGS 4098 M30K eingesetzt. Diese Maschine hat Achslängen von 9800 mm \* 4000 mm \* 1500 mm und wird von einer FIDIA C20 gesteuert.

Um Aufträge mit noch kleineren Toleranzen akquirieren zu können, entschied sich der Geschäftsführer der Firma Concad, Herr Schwab, für eine Volumetrische Kompensation durch die Firma AfM Technology (Accuracy for Machines). AfM ist ein erfahrener Dienstleister auf diesem Gebiet und setzt u.a. leistungsstarke Kalibriersysteme der Etalon AG ein.



DAS BEARBEITUNGSZENTRUM VON DROOP+REIN WIRD BEI CONCAD ZUR HOCHGENAUEN BEARBEITUNG VON GROSSEN FORMEN EINGESETZT

#### WAS BEDEUTET „VOLUMETRISCHE KOMPENSATION“?

Herkömmliche Kompensationssysteme verfügen zwar über eine Kompensation der Positionierabweichung (Korrektur des Spindelsteigungsfehlers) und ggf. eine Durchhangkompensation, lassen aber wesentliche Komponenten der Achsabweichungen unberücksichtigt. Strenggenommen wird so nur eine Linie im Arbeitsraum kompensiert. Durch die Vernachlässigung der rotatorischen Achsabweichungen verbleiben Abweichungen an anderen Stellen im Maschinenvolumen. Jede der drei Vorschubachsen einer kartesischen Werkzeugmaschine hat sechs Abweichungen, die sich auf die Positionsabweichung des TCP (Tool Center Point) und den Orientierungsfehler des Werkzeugs auswirken. Im Einzelnen sind dies:

- die lineare Positionierabweichung
- die vertikale Geradheitsabweichung
- die horizontale Geradheitsabweichung
- das Rollen
- das Nicken
- das Gieren

Hinzu kommen bei kartesischen Maschinen die drei Rechtwinkligkeitsabweichungen der Achsen, so dass in einem vollständigen kinematischen Abweichungsmodell insgesamt 21 Fehlerarten am TCP wirken. Vor allem bei großen Portalfräsmaschinen, wie dem FOGS, wirken sich rotatorische Fehler (Nicken/Gieren/Rollen) aufgrund der großen wirksamen Hebel (ausgefahrener Z-Schieber) spürbar aus. Nur wenn alle diese Abweichungen bekannt sind, lässt sich das vollständige Verhalten der Maschine beschreiben und durch Softwareoptionen in modernen Steuerungen verbessern.

### **ERFASSUNG DES KINEMATISCHEN MASCHINENVERHALTENS**

Das kinematische Verhalten der Maschine im gesamten Arbeitsraum wird durch die oben aufgeführten Abweichungen beschrieben. Diese müssen messtechnisch erfasst werden, damit die Steuerungen die nötigen Informationen erhalten, um eine ideale Bahn zu fahren. Besonders bei großen Maschinen nimmt die vollständige Erfassung der geometrischen Abweichungen mit herkömmlichen Messsystemen oft mehrere Tage bis Wochen in Anspruch, was einen hohen wirtschaftlichen Verlust bedeutet. Zu dem können manche Abweichungen konventionell gar nicht oder nicht genau genug erfasst werden. Besonders schwierig gestaltet sich dabei die Zusammenführung aller Einzelmessungen zu einem volumetrischen Korrekturfeld. Die Etalon AG aus Braunschweig bietet hierzu ein Kalibriersystem an, das nicht nur alle Abweichungen hochgenau erfassen kann, sondern auch noch sehr schnell in der Durchführung ist. Die volumetrischen Korrekturfelder können per Software für verschiedene Steuerungen erzeugt werden.

### **DIE LÖSUNG ZUR HOCHGENAUEN KALIBRIERUNG VON GROSSEN WERKZEUGMASCHINEN**

Das Etalon-Kalibriersystem besteht aus einem universellen Messgerät, dem LaserTRACER und einer Software, die aus den Messdaten direkt die Achsabweichungen berechnet und auch Korrekturdaten für verschiedene Steuerungen ausgeben kann. Der LaserTRACER besteht aus einem selbstnachführenden Laserinterferometer, ähnlich einem Lasertracker. Die wesentlichen Unterschiede zu einem Lasertracker sind wie folgt: Prinzipbedingt haben Lasertracker unvermeidbare Abweichungen der Dreh- und Schwenkachse, die sich auf die Streckenmessungen direkt auswirken. Beim LaserTRACER werden diese Abweichungen durch ein patentiertes Prinzip vermieden. Zudem arbeiten Lasertracker mit Richtungsinformationen. Diese sind gerade bei großen Strecken aufgrund von Ungenauigkeiten des Winklenkoders und der auftretenden Strahlbiegung durch Luftgradienten mit großen Unsicherheiten behaftet. Für die Droop+Rein-Maschine mit einer Raumdiagonalen von über 10 m können die hieraus resultierenden Messabweichungen durchaus 100 µm und mehr betragen! Auch bei Methoden mit herkömmlichen (starrten) Interferometern wird die Bestimmung der Geradheiten durch die Strahlbiegung beeinflusst. Dadurch nimmt bei solchen Systemen die Unsicherheit der Messungen bei großen Längen stark zu. Das Etalon-Kalibriersystem umgeht diese Einflüsse durch die reine Verwendung von Längenänderungsmessungen, ähnlich dem Multilaterationsprinzip beim Global Positioning System. Ein Nutzereinfluss beim Messen ist praktisch ausgeschlossen, da keine Feinausrichtung von Komponenten nötig ist. Durch die Berechnung aus einem umfassenden Datensatz sind die Parameter beim Etalon-System zueinander stimmig – Widersprüche werden zur Beurteilung der Modellkonformität und der Wiederholbarkeit der Maschine numerisch ausgegeben.

### **MESSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG**

Der LaserTRACER deckt mit seinem Arbeitsradius von 15 m das ganze Maschinenvolumen der FOGS ab (größere Maschinen können durch rechnerische Verknüpfung von Sektoren oder auch durch Lasertracker mit einer Schnittstelle zu Trac-CAL vermessen werden). Anstelle des Werkzeugs wird ein Reflektor an der Spindel befestigt. Der LaserTRACER wurde an 6 Positionen, u.a. in allen vier Ecken des Maschinenvolumens befestigt, um jeweils von dort aus Messungen durchzuführen. Es ist keine Feinausrichtung der Komponenten erforderlich. Sensoren für



DAS INTERFEROMETER DES LASERTRACERS FOLGT VOLLAUTOMATISCH DEM IN DER SPINDEL EINGESpanNTEN REFLEKTOR DURCH DEN GANZEN ARBEITSRAUM. DABEI WERDEN HOCHGENAUE MESSUNGEN DURCHFÜHRT, AUS DENEN DIE AchSABWEICHUNGEN GERECHNET WERDEN.

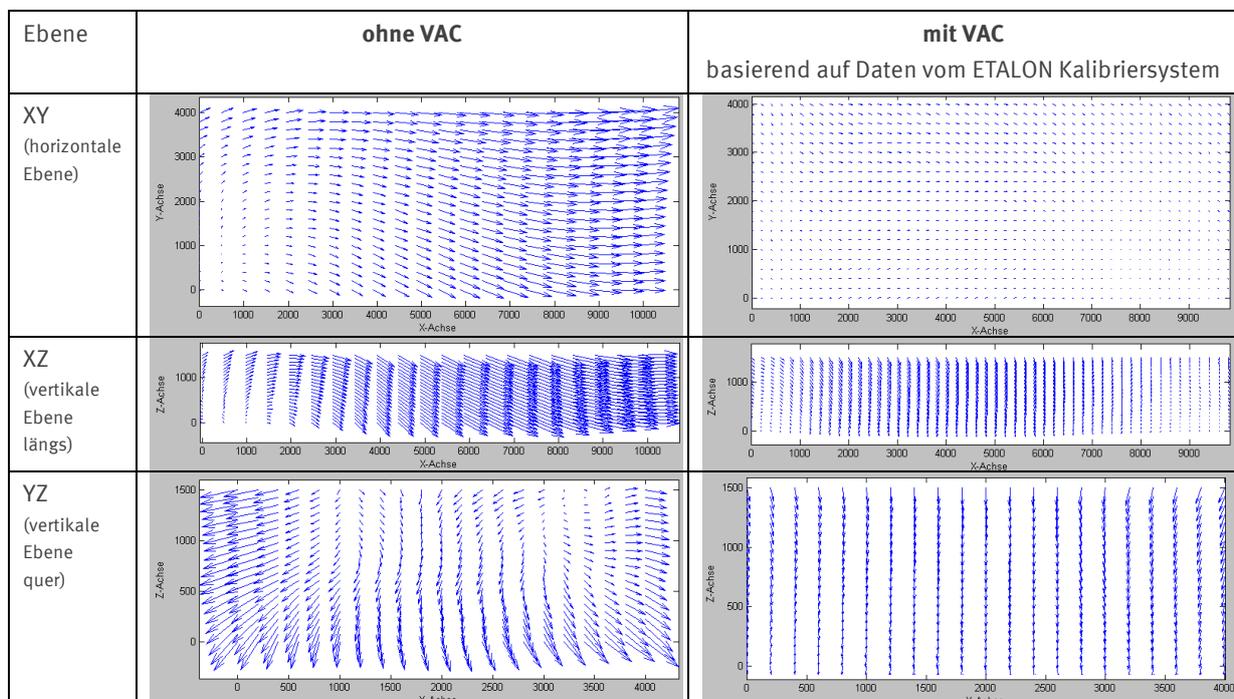
Lufttemperatur, -druck und -feuchte in der Mitte des Volumens sorgen für eine Korrektur des Lasers aufgrund der Umgebungsbedingungen.

In der Software Trac-CAL erfolgt die Planung der Messung, die einmalig für jeden Maschinentyp durchgeführt werden muss. Hier wird unter anderem der Messpfad festgelegt, den die Maschine fahren kann. Die Messpfade beinhalteten für den gewählten Punktabstand von 200 bzw. 75 mm insgesamt 4094 Messstellen im Arbeitsvolumen. Die Planung der Messung erfolgte bereits bei AfM vor der Fahrt zum Kunden, um eine kürzere Vor-Ort-Zeit zu ermöglichen. Die in der Software implementierte Monte-Carlo-Simulation ergab für die FOGS Unsicherheiten von weniger als 5  $\mu\text{m}$  bzw.  $\mu\text{rad}$  für die 21 parametrischen Abweichungen bei Messlängen von über 10 m. Die Fidia-Steuerung erhielt die Maschinenprogramme im G-Code-Format über einen Datenträger. Anschließend wurden die sechs Programme nacheinander gestartet und der LaserTRACER in den Zwischenzeiten umgebaut. Der Messablauf an einer Position dauerte im Durchschnitt 30 Minuten und der Umbau erfolgte innerhalb von Minuten. Um diese kurzen Messzeiten zu erreichen, koppelt AfM den LaserTRACER mit der Maschinesteuerung über ein I/O Signal der PLC. So konnten sämtliche Messungen für die Kalibrierung innerhalb einer Schicht durchgeführt werden.

## ERGEBNISSE

Die Berechnung der 21 parametrischen Abweichungen erfolgt bei Trac-CAL quasi auf Knopfdruck. Die ausgegebenen Korrekturdaten wurden in die C20-Fidia-Steuerung eingespielt. Die von AfM und FIDIA gemeinsam entwickelte Kompensation VAC (Volumetric Axes Calibration) wurde anschließend aktiviert. „Vorteilhaft ist, dass die Softwareoption VAC nicht nur für neue Werkzeugmaschinen verfügbar ist, sondern auch an vorhandenen Steuerungen nachgerüstet werden kann“, so Wolfram Meyer von AfM.

Um die Wirksamkeit der rechnerischen Korrektur der Fidia VAC bei der tatsächlichen Maschinenbewegung der Droop+Rein zu bewerten, wurde die Maschine nochmals mit aktiver VAC vermessen. Eine Gegenüberstellung der Restabweichungen ohne und mit aktivierter Kompensation ist in der Tabelle unten zu sehen. Dargestellt sind die Fehlervektoren, die die Abweichung vom tatsächlichen Punkt zum fehlerfreien Punkt anzeigen.



IN DER VEKTORDARSTELLUNG LINKS SIND DEUTLICHE SYSTEMATIKEN IN DEN ABWEICHUNGEN IM MASCHINENRAUM ZU ERKENNEN. RECHTS ZU SEHEN SIND DIE GEMESSENEN, TATSÄCHLICH VERBLEIBENDEN ABWEICHUNGEN. DIE VEKTOREN SIND NICHT NUR UM EIN VIELFACHES KLEINER, SONDERN AUCH HOMOGENER.

## ZUSAMMENFASSUNG

In kürzester Zeit konnte AfM mit dem Etalon Kalibriersystem für das Bearbeitungszentrum von Droop+Rein, trotz Achslängen von bis zu 10 m, alle systematischen geometrischen Abweichung hochgenau bestimmen und Kompensationsdaten ausgeben. Die deutliche Reduzierung der Achsabweichungen durch die VAC in der Fidia C20-Steuerung konnte bei der anschließenden Verifizierung bestätigt werden. Durch die nachweislich gute Wiederholbarkeit der Maschine und die stabilen Umgebungsbedingungen bei der Firma Concad können deutlich höhere Bearbeitungsgenauigkeiten für Großteile erzielt werden.

## ÜBER CONCAD

Das Leistungsspektrum der Concad GmbH umfasst Werkzeug-, Prototypen-, Modell- und Formenbau sowie Kleinserienfertigung. Von der Konstruktion über den Werkzeugbau und die Teilefertigung bis zum Zusammenbau erhält der Kunde alle für die Fahrzeugentwicklung erforderlichen Prozessschritte aus einer Hand. Über 70 hoch motivierte und engagierte Mitarbeiter, ein Maschinenpark auf dem neuesten Stand der Technik und ständig wachsendes Know-how sind die Erfolgsfaktoren.

▷ [www.concad-gmbh.de](http://www.concad-gmbh.de)

## ÜBER AfM

Die AfM Technology GmbH ist ein Lösungsanbieter im Bereich der mobilen Messtechnik. Der Schwerpunkt des Unternehmens liegt in der messtechnischen Erfassung, Korrektur und Überwachung von geometrischen Abweichungen von Werkzeugmaschinen und Koordinatenmessgeräten sowie in der mobilen 3D Messtechnik. Dabei setzt AfM auf messtechnische Erfahrung, neueste Technologie und die Kooperation mit namhaften Partnern. Die Techniker bei AfM verfügen über sehr viel Erfahrung in der Erstellung optimaler Messstrategien für die jeweiligen Maschinen. AfM bietet seinen Kunden maßgeschneiderte Lösungen als mobiler Dienstleistungspartner, im Engineering und als Softwareanbieter. Als exklusiver Partner von FIDA in Deutschland und Italien bietet AfM den Kunden sowohl die Softwareoption VAC als auch die Kalibrierung der Maschine und Verifizierung der volumetrischen Korrektur aus einer Hand.

## ÜBER ETALON

Die Etalon AG ist spezialisiert auf die Kalibrierung, Überwachung und Genauigkeitssteigerung von Mess- und Werkzeugmaschinen. Das Unternehmen mit Sitz in Braunschweig ist im Jahr 2004 als Ausgründung der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) entstanden. Innovative Ansätze werden von ETALON in anwenderfreundliche Systemlösungen umgesetzt, wissenschaftliches Know-how, Normungsanforderungen und messtechnische Erfahrung in maßgeschneiderte Software integriert. Mittlerweile besteht ein weltweites Vertriebsnetz. Namhafte Kunden im Maschinenbau, der industriellen Messtechnik, im Fahrzeugbau und in der Forschung setzen auf die Etalon Technologie.

## KONTAKTE:

### **Etalon AG**

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
Telefon +49 (0)531 / 592-1974  
[info@etalon-ag.com](mailto:info@etalon-ag.com)  
▷ [www.etalon-ag.com](http://www.etalon-ag.com)

### **AfM Technology GmbH**

Gartenstrasse 133  
73430 Aalen  
Telefon +49 (0)7361 / 889608 - 0  
[info@afm-tec.de](mailto:info@afm-tec.de)  
▷ [www.afm-tec.de](http://www.afm-tec.de)