

Beschleunigte Abnahme dank μ -GPS-Laservermessung und -ausrichtung von Maschinen

GPS für die Werkzeugmaschine

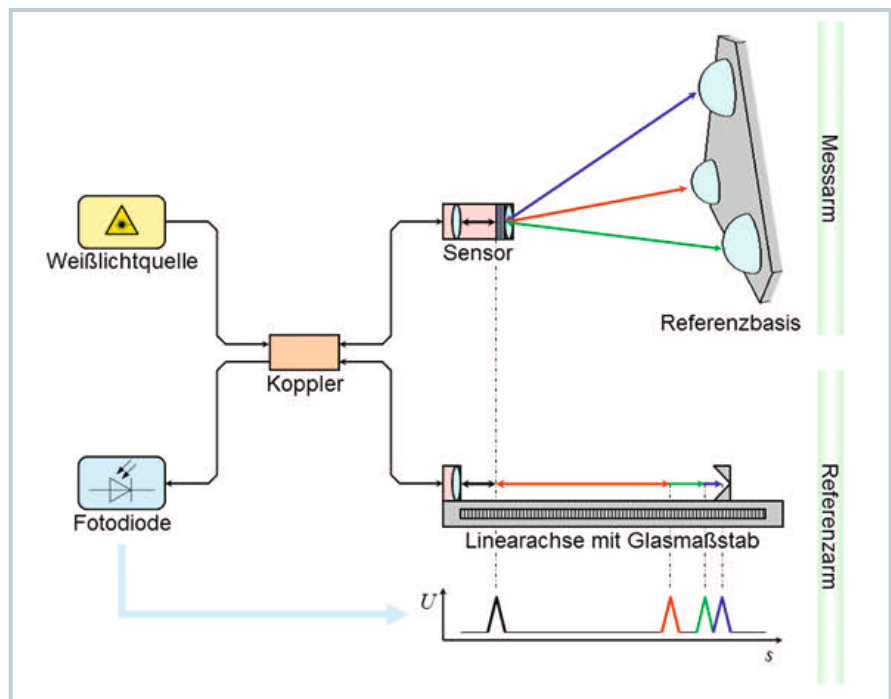
Die Vermessung zur Maschinenausrichtung erfolgt bislang in langatmigen und manuellen Prozessen. Das laserbasierte μ -GPS-Messsystem bietet Lösungsansätze für eine robuste Vermessung in einem automatisierten Messablauf.

VON SIEGFRIED SCHMALZRIED,
MARCEL ZIMMERMANN UND
GERALD WERNER

→ Überall dort, wo bei der spannenden Fertigung hohe Anforderungen an die Bauteilqualität gestellt werden, sind präzise justierte Werkzeugmaschinen die Basis für beste Bearbeitungsergebnisse. Die Vermessung zur Ausrichtung der Maschinenkomponenten erfolgt heutzutage in langatmigen und manuellen Prozessen. Das laserbasierte μ -GPS-Messsystem bietet Lösungsansätze für eine robuste Vermessung in einem automatisierten Messablauf an.

Probleme aktueller Messsysteme

Lasermesssysteme bieten dank ihrer Präzision ein großes Potenzial zur Vermessung von Werkzeugmaschinen – sowohl bei der Einrichtung und Justierung als auch zur Fehlerkompensation bei der Bearbeitung. Ihre Vorteile ergeben sich aus dem berührungslosen Messvorgang, was den Messpunkt nahe an die Wirkstelle bringt. Dennoch setzen sie sich nur zögerlich durch. Die Ursachen dafür liegen in ihrer hohen Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen und Strahlunterbrechungen und im aufwendigen Prozedere beim Vermes-



1 Aufbau des μ -GPS-Messsystems: Eine breitbandige Laserquelle sendet einen Laserstrahl aus. Dieser wird in einem Strahlteiler geteilt und sowohl im Messarm als auch im Referenzarm reflektiert. Die reflektierten Strahlen werden überlagert. Sobald die Referenzlänge der Messlänge entspricht, können am Detektor Interferenzsignale gemessen werden. Durch die bekannte Position des Reflektors im Referenzarm lässt sich die Position bestimmen

sen im dreidimensionalen Raum. Zudem ist es bisher noch nicht möglich, die normgerechten Vermessungen in einem automatisierten Messablauf zu erfassen.

Abhilfe: das μ -GPS-Messsystem

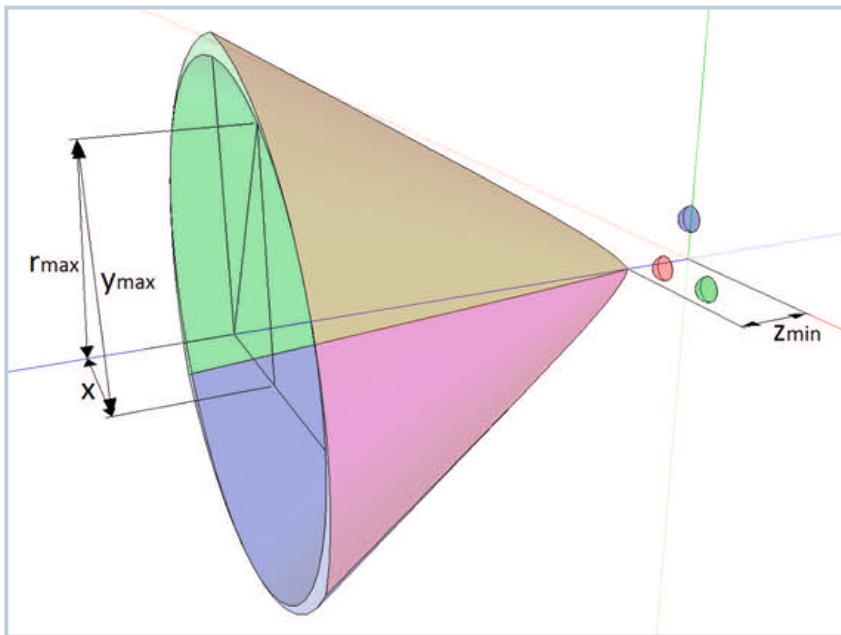
Die oben genannten Problemstellungen wurden innerhalb des BMBF-Leitprojekts ›Accomat‹ angegangen und das μ -GPS-Messsystem prototypisch entwickelt. Es basiert auf dem physikalischen Prinzip der Breitbandinterferometrie (Bild 1). Eine Laserquelle sendet kurzkohärentes Licht

auf einen Strahlteiler. Dieser teilt das Licht in zwei Wellenzüge auf: die Messwelle und die Referenzwelle. Die Messwelle wird über eine Sendeeinheit zu einem 60° -Lichtkegel aufgeweitet und wird im Messbereich von drei Reflektoren zurückgeworfen (GPS-Prinzip).

Die Sendeeinheit dient gleichzeitig als Empfangseinheit und vereint die drei reflektierten Wellen. Die Messwellen werden mit der Referenzwelle überlagert, welche vor dem Rücklaufen an einem variablen Spiegel mit bekannter Position reflektiert

i HERSTELLER

μ -GPS Optics GmbH
98617 Meiningen
Tel. +49 3693 8813-230
www.u-gps.com



2 Im Vergleich zu herkömmlichen Interferometern wird der Messbereich des μ -GPS nicht in Form eines Laserstrahls gebildet. Durch eine geeignete Optik in der Auskoppel-einheit wird ein dreidimensionaler kegelförmiger Arbeitsraum aufgespannt

wurde. Die Positionsbestimmung des Referenzspiegels erfolgt mithilfe konventioneller Messverfahren, beispielsweise mit Glasmaßstäben. Entspricht die Referenzlänge der Messlänge, können Interferenzen am Detektor ausgewertet werden. Aus den drei bekannten Abständen zu den Reflektorkugeln lässt sich die Position der Sendeeinheit trilaterieren und eindeutig bestimmen.

Als Systemparameter des μ -GPS-Prototyps wurde eine Positionsgenauigkeit von $\pm 20 \mu\text{m}$ bei einer Messrate von 10 bis 30 Hz erreicht. Zur Integration des Messsystems in die Steuerung einer Werkzeugmaschine liegt die Mindestanforderung an

die Messrate bei circa 100 kHz. Eine Steigerung der Messrate ist aber aufgrund mechanischer und dynamischer Grenzen des Referenzarmaufbaus zurzeit nicht möglich.

Systemvorteile des μ -GPS-Messverfahrens

Im Vergleich mit herkömmlichen Lasermesssystemen bietet das μ -GPS-Messsystem neuartige Systembedingungen:

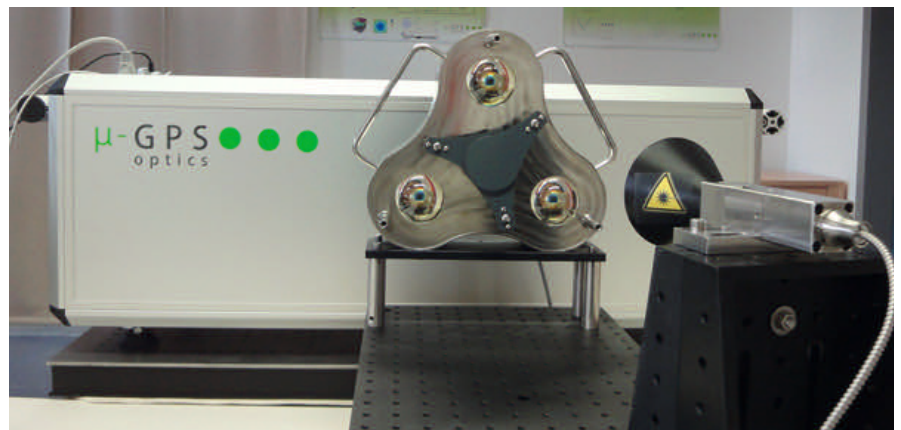
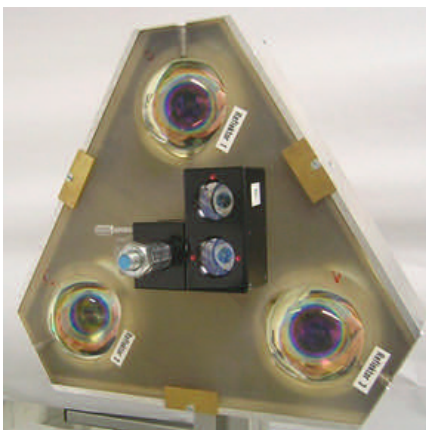
- Wird bei einem herkömmlichen Laserinterferometer der Laserstrahl während der Messung unterbrochen, bedeutet dies den Verlust des Messwertes. Die Messung muss von einem bekannten

Referenzpunkt neu gestartet werden. Im Gegensatz hierzu kann beim μ -GPS-Messsystem ohne Messwertverlust sofort weiter gemessen werden. Möglich ist dies durch die absolute Auswertung der Interferenzerscheinungen mithilfe eines zusätzlichen Positionsbestimmungssystems im Referenzarm.

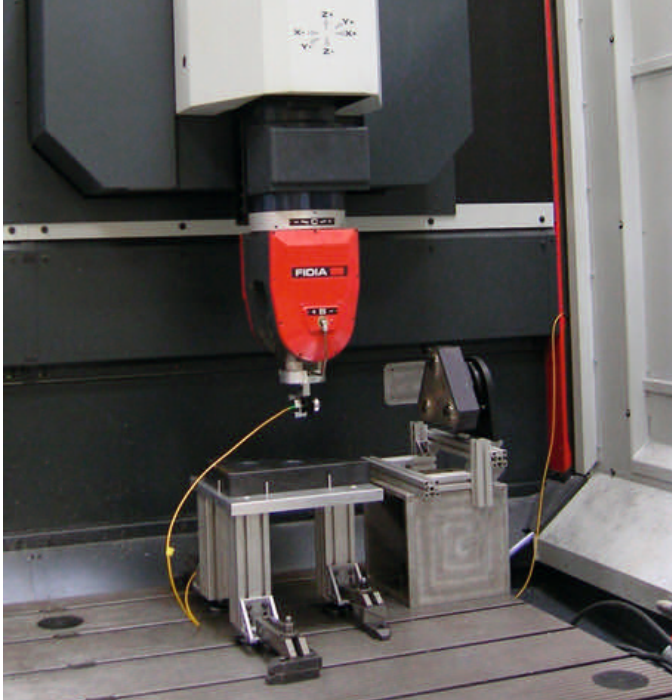
- Durch die optische Aufweitung des Laserstrahls im Messarm zu einem Lichtkegel können drei Reflektoren ausgewertet werden (Bild 2). Eine dreidimensionale Positionsbestimmung ist somit sehr einfach zu realisieren. Herkömmliche Lasermessverfahren ermöglichen bisher nur die Auswertung entlang eines gebündelten Laserstrahls.
- Der Aufbau herkömmlicher Lasermesssysteme erfordert einen hohen Justieraufwand. Das μ -GPS-Messsystem hingegen lässt sich dank seines einfachen Aufbaus und der absoluten Messwertbestimmung unter geringem Aufwand flexibel in Maschinen integrieren.

Das μ -GPS-Messsystem zeigt vor allem in der rauen Umgebung von Werkzeugmaschinen Vorteile gegenüber Lasermessverfahren herkömmlicher Art. Da ein Einsatz als Wegmesssystem in Werkzeugmaschinen aufgrund der notwendigen Messrate nicht möglich ist, wurde das μ -GPS an andere Aufgaben mit geringen dynamischen Anforderungen angepasst. Wird bei der Referenzauswertung der Schwerpunkt nicht auf eine hohe Messrate gelegt, kann die Genauigkeit des Gesamtsystems deutlich gesteigert werden. Als Anwendungsbeispiele für präzise Messaufgaben mit geringer Messrate lassen sich die Maschinenabnahme und -kalibrierung oder die

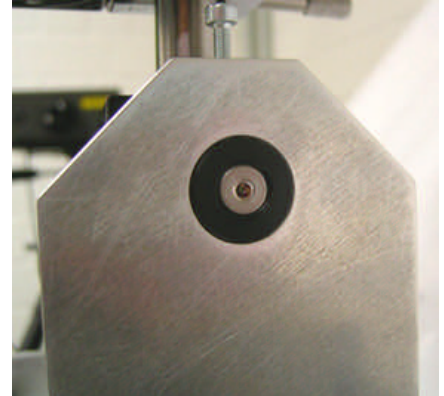
»»



3 Messaufbau des μ -GPS-Messsystems: Sichtbar sind die Reflektorkugeln und die mit einer Glasfaser verbundene Sendeeinheit. Die schwarzen Komponenten sind Spiegeleinheiten eines parallel aufgebauten Laserinterferometers für Genauigkeitstest



4 Einfach anzubringende Komponenten: beispielhafter Aufbau des μ -GPS im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine



5 Die Sendeeinheit des μ -GPS-Messsystems in einer Aluminiumplatte als Halterung. Aufgrund ihrer geringen Größe ist sie flexibel im Arbeitsraum einer Werkzeugmaschine montierbar

» Inlinekompensation von Verlagerungsfehlern anführen.

Maschinenabnahme und -kalibrierung

Die Maschinenabnahme und -kalibrierung als Qualitätssicherungsmaßnahme des Herstellers weist die Maschineneignung entsprechend den Kundenanforderungen nach. Verlangt werden hierbei hohe geometrische Genauigkeiten der Maschinenkomponenten und eine hohe Positioniergenauigkeit der Maschinenach-

sen. Zurzeit erfordert diese Maßnahme eine Vielzahl einzusetzender Messverfahren. Diese sind in der Summe teuer, und die Durchführung der Abnahme ist sehr zeitaufwendig.

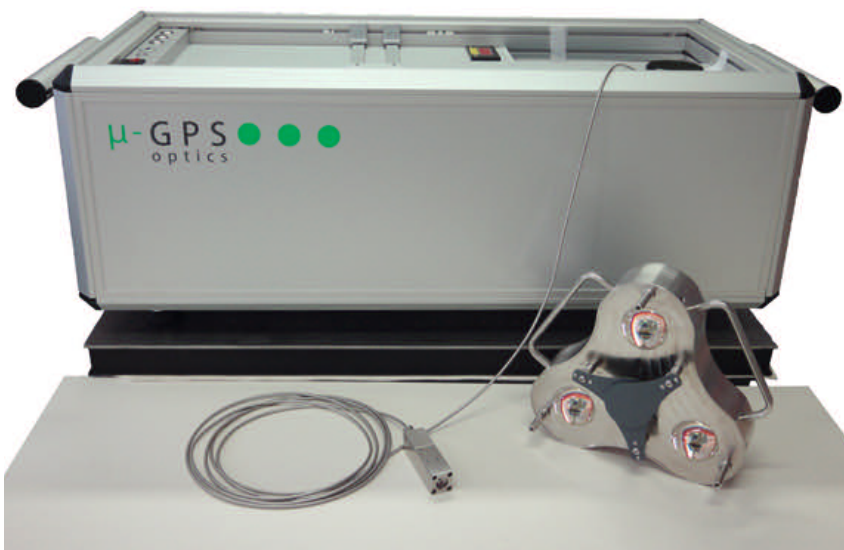
Beim Einsatz des μ -GPS zur Maschinenabnahme können aufgrund des dreidimensionalen Messbereichs eine Vielzahl von Bearbeitungsschritten zusammengeführt werden (Bild 3). Es können beispielsweise mehrere Achsen mit einem Aufbau vermessen oder es kann die Geradheit linearer Bewegungen überprüft werden.

Weiterhin lassen sich sämtliche Messaufgaben erledigen, bei denen bisher ein Laserinterferometer eingesetzt wurde.

Als Vorteil gegenüber herkömmlichen Interferometern machen sich hierbei der einfache Aufbau und die geringe Justagearbeit in Gestalt eines deutlichen Zeitgewinns bemerkbar (Bild 4). Außerdem kommt der Vorteil des berührungslosen Messens ohne störende Kinematiken im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine zur Geltung. Eine Nutzenabschätzung des Einsatzes des μ -GPS-Messsystems zur Maschinenabnahme führt zu einer Zeitersparnis von 35 bis 50 Prozent gegenüber der heutigen Maschinenabnahme bei gleichbleibenden Investitionskosten für Messmittel.

Eigenschaften des ersten serienfähigen Prototypen

Ausgehend von den Ergebnissen des Accomat-Projekts nahm 2007 die μ -GPS Optics GmbH ihre Arbeit in Meiningen auf. Sie entwickelte das System zu einem industrietauglichen Prototypen weiter (Bild 6). Dazu wurde eine kompakte und modulare Bauweise umgesetzt und auf gepanzerte Lichtleitfasern sowie robuste Verarbeitung geachtet. Des Weiteren wurde das Basisgerät, das den Großteil des Interferometers sowie die Auswerte- und Steuer elektronik beinhaltet, temperaturstabilisiert und spritzwassergeschützt realisiert.



6 Die Komponenten des μ -1000-S: Das Basisgerät (hinten), das beliebig neben der zu messenden Maschine positioniert werden kann, der Sensor (vorne links) sowie die Referenzbasis mit drei Reflektoren (vorne rechts)

Aufgrund der modularen Bauweise ist es möglich, das μ -GPS-Messsystem als Plattform für anwendungsspezifische Lösungen zu betrachten. Je nach Messaufgabe kann die Priorität auf Genauigkeit, Geschwindigkeit oder Größe und Form des Arbeitsraums gelegt werden. Das aktuelle Modell des μ -1000-S besitzt einen Arbeitsraum von circa 1 m Länge und benötigt pro Raumposition etwa 1 s (Bild 6).

Fazit

Das prototypische μ -GPS-System ermöglicht eine erhebliche Genauigkeitssteigerung in der Praxis. Das Einsatzfeld wird damit auf Messaufgaben an der Werkzeugmaschine mit hoher Präzision und geringen dynamischen Anforderungen verlagert. Es handelt sich um ein dreidimensionales, berührungsloses, transportables Messsystem für die Maschinenabnahme und -kalibrierung, das einen automatischen Messablauf nach vorgegebenem Kalibrierprogramm erlaubt. Der Nutzen liegt in der Vereinfachung der Maschinenabnahme und einer erheblichen Zeitersparnis bei gleichzeitigen

Kostenvorteilen. Thermisch bedingte Verlagerungen in der Warmlaufphase oder während der Bearbeitung lassen sich mit dem μ -GPS nahe der Wirkstelle erfassen und kompensieren.

Weitere denkbare Einsatzfelder sind die genaue Positionserfassung von eingewechselten Paletten oder Vorrichtungen, oder auch in anderen Industriezweigen zur quasidynamischen Vermessung präziser dreidimensionaler Messaufgaben. ■

→ **WB110729**

Prof. Dr.-Ing Siegfried Schmalzried ist Studiendekan Industrial Manufacturing am Hochschulcampus Tuttlingen der Hochschule Furtwangen
siegfried.schmalzried@hs-furtwangen.de

i INSTITUT

**Hochschulcampus Tuttlingen
 der Hochschule Furtwangen**
 78532 Tuttlingen
 Tel. +49 7461 1502-6623
www.hfu-campus-tuttlingen.de

Marcel Zimmermann ist Projektleiter bei der μ -GPS Optics GmbH in Meiningen
marcel.zimmermann@u-gps.com

Dr. Gerald Werner ist wissenschaftlicher Berater und Coach bei μ -GPS Optics

LITERATUR

- 1** Behren, J.: Hochgenaue Positionierung an der Maschine, Innovation Spezial – Forschung und Technologie, Carl Zeiss 1999
- 2** Höller, F.; Spieweck, M.; Werner, J.: Production Engineering, Vol. VIII/2001
- 3** Spath, D.; Plutowsky, A.; Höller, F.; Spieweck, M.; Werner, J.: Neuartiges Lasermesssystem für den Einsatz in der Werkzeugmaschine, VDI-Z Integrierte Produktion 143, Düsseldorf 2001
- 4** Weule, H.; Plutowsky, A.: A six-degree-of-freedom measurement system for machine tools, Production Engineering Vol. VIII/2, 2001
- 5** Weckenmann, A.: Olympiade der Perfektion, Qualität und Zuverlässigkeit, Hanser Verlag, Jahrgang 54, 2009
- 6** Schmalzried, S.: Dreidimensionales optisches Messsystem für eine effizientere geometrische Maschinenbeurteilung, Shaker Verlag 2007