

Regelung von PI Positionierern mittels externem Zygo-Interferometer



1 Einleitung

Die Entwicklung hochpräziser Positioniertechnik, die auch höchsten Standards verschiedenster Technologien genügt, ist das Kerngeschäft von Physik Instrumente (PI). Dabei erfordert gerade die Einbindung unterschiedlicher Messtechnik immer wieder die Schaffung neuer Schnittstellen, um auch die Einsatzmöglichkeiten zu erweitern.

Es wurde daher eine Möglichkeit geschaffen, PI Positionierer über das hochauflösende Positionssignal eines Zygo-Interferometers zu regeln. Die Schwierigkeit liegt hierbei in der Verknüpfung der unterschiedlichen Datenprotokolle und der schnellen Übertragung, um eine Regelung in Echtzeit realisieren zu können.

Die Vorteile liegen dabei auf der Hand: Das Interferometer-Signal ist mit einer Auflösung von ca. 154,5 pm vergleichbar mit den aktuell besten Wegmesssystemen, die intern genutzt werden könnten. Zudem wird durch den Wegfall oder das Nichtbenutzen eines internen Sensors der Wärmeeintrag in die Mechanik verringert, was zur erhöhten Präzision beitragen kann.

Wird das Spiegelelement beispielsweise direkt neben dem zu positionierenden Teil angebracht, werden mechanische Fehlereinflüsse – wie Verformung, thermische Ausdehnung oder Lagerspiel – reduziert.

2 Anordnung des Systems

Abb. 1 zeigt schematisch den Versuchsaufbau.

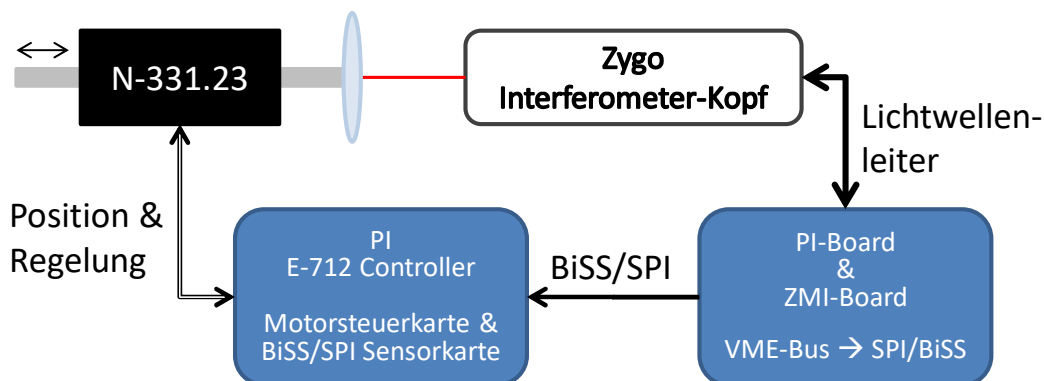


Abb. 1 Schematische Darstellung der Versuchsanordnung (Bild: PI)

Als Positionierer wurde ein N-331.23 PICMAWalk Schreitantrieb verwendet, der mit einem internen Sensor mit ca. 10 nm Auflösung ausgerüstet ist. Am Ende des Läufers wurde ein Spiegel montiert. Direkt davor wurde ein Zygo-Interferometer-Kopf (ZMI, Modell 7702) positioniert und dessen Laserstrahl auf den Spiegel ausgerichtet. Die Messumgebung war ein geschlossener Messraum mit schwingungsentkoppeltem Fundament und Temperaturregelung auf 20 °C ($\pm 0,1$ °C), in dem alle Geräte von außen angesteuert werden konnten. Positionierer und Interferometer wurden auf einen luftgefederten Tisch montiert.

Als Controller wurde ein E-712.1AN von PI mit Einsteckkarten zur Ansteuerung des Positionierers und zum Abgriff der Sensorsignale verwendet (E-711.C82 Motorsteuerelektronik und E-711.IS3 SPI/BiSS-Karte).

Um den Wärmeeintrag zu reduzieren, wurde die Steuerelektronik für das Interferometer (ZMI-4104C-Board und PI-Board zur weiteren Kommunikation über BiSS/SPI) sowie der PC außerhalb der Messkammer positioniert. Das ZMI-4104C-Board versorgt den Interferometer-Kopf und bietet die optische Schnittstelle zum Kopf. Über das VME-Bus-Protokoll kommuniziert es mit einer PI-Elektronik, welche das Positionssignal über eine BiSS- oder SPI-Schnittstelle z. B. an einen Controller oder PC ausgeben kann.

In Abb. 2 ist der Laboraufbau abgebildet:

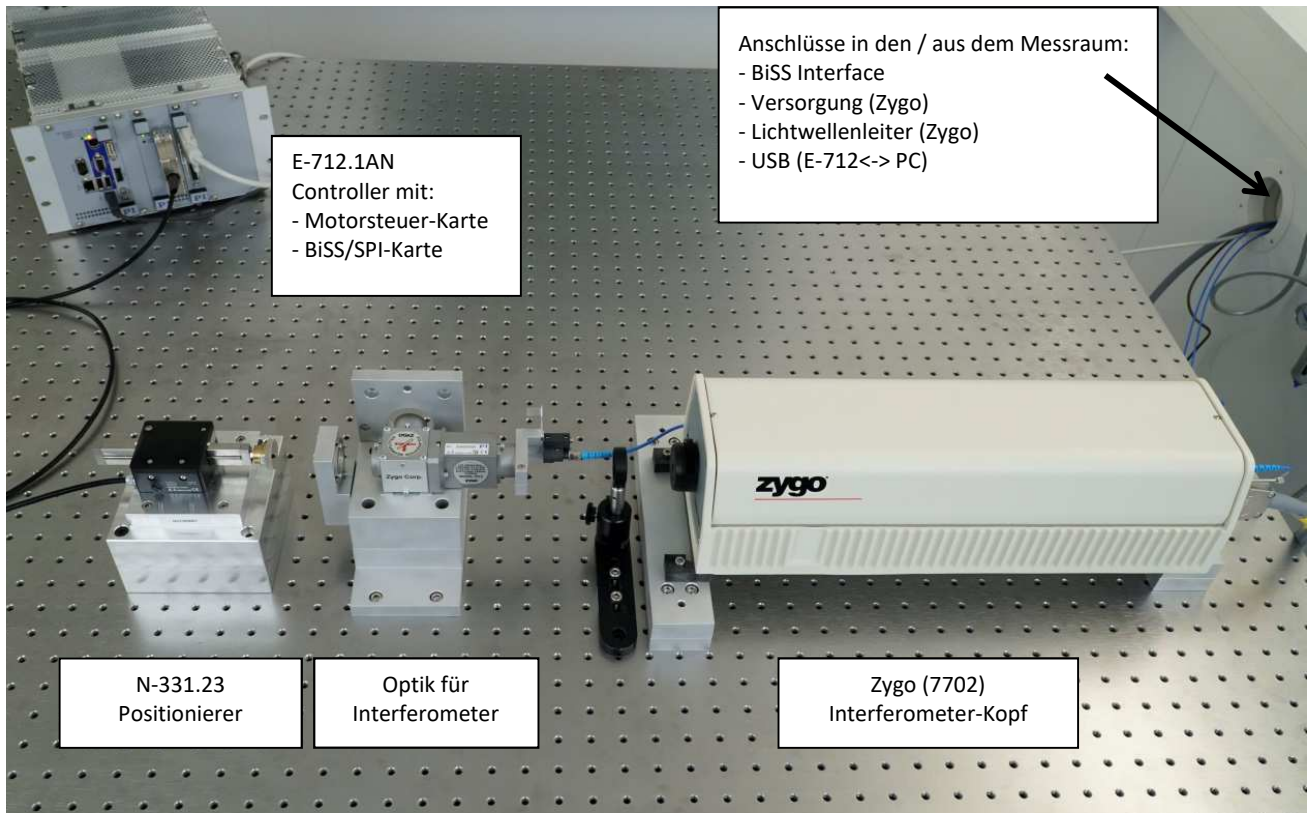


Abb. 2 Versuchsaufbau im Messraum (Bild: PI)

3 Ergebnisse

3.1 Regelung über das Interferometer

3.1.1 Einrichtung

Der E-712 Controller von PI übernimmt die eigentliche Regelung, er steuert hierzu den Positionierer an und greift das interne Sensorsignal ab. Zudem erhält der Controller über eine BiSS- oder SPI-Schnittstelle das Positionssignal des Interferometers.

Im E-712.1AN Controller kann nun gewählt werden, ob das interne Sensorsignal oder das Interferometer-Signal für den geschlossenen Regelkreis herangezogen werden soll. Die Referenzierung findet hier ausschließlich über den internen Sensor statt.

Eine Nutzung des Interferometer-Signals außerhalb des Regelkreises als übergeordnetes Positions-Feedback wäre ebenfalls möglich. Darauf wird im Folgenden allerdings nicht näher eingegangen.

3.1.2 Vergleich: Regelung über internen Sensor und Interferometer

Wird das Interferometer-Signal zur Regelung aktiviert, ist es möglich, mit der Kommandierung bzw. Positionierung wie gewohnt fortzufahren.

3.2 Rauschen

In Abb. 3 wird das Rauschen der Positionssignale des internen Sensors und des Interferometers ohne Regelung und im Stillstand dargestellt. Die angegebenen Werte für „d_max“ sind jeweils die Spitze-Spitze-Werte der Signalzüge.

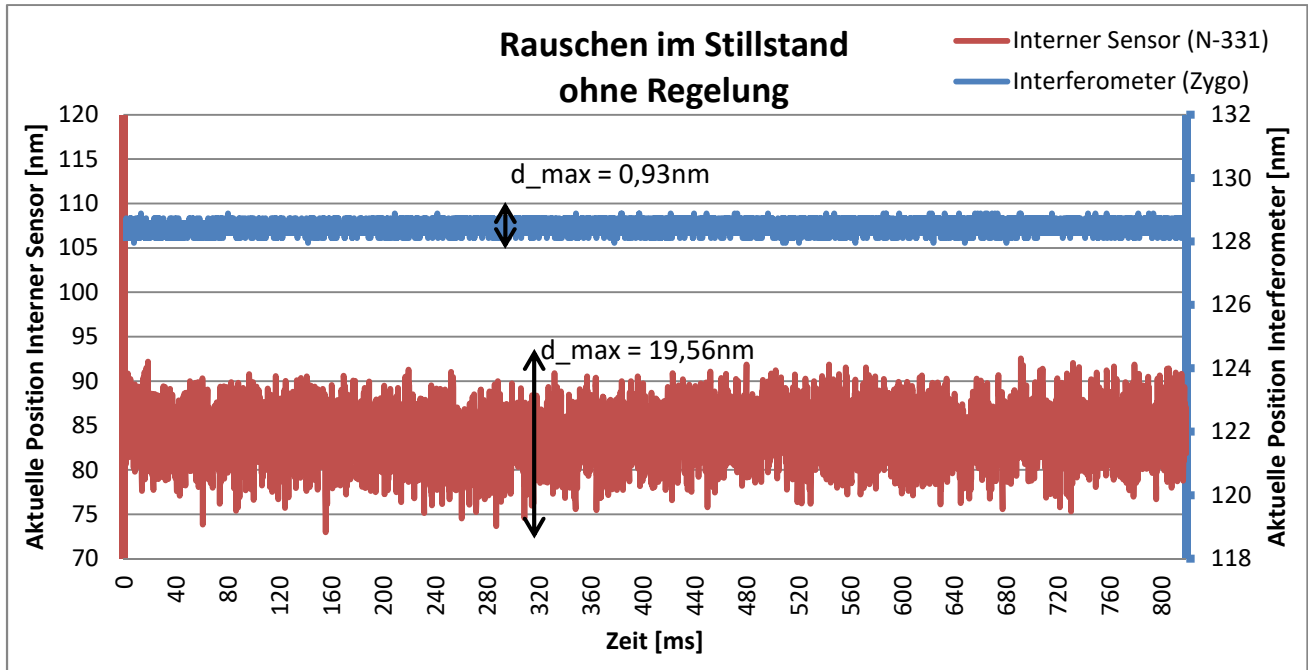


Abb. 3 Rauschsignale der Sensoren (Bild: PI)

Hier ist zu sehen, dass das Positionsrauschen beim Interferometer um den Faktor 20 kleiner ist als beim internen Sensor, was prinzipiell eine höhere Genauigkeit ermöglicht.

3.3 Verbesserte Positionsregelung – höhere Auflösung

Betrachtet man die Unterschiede in der Positionsregelung abhängig davon, welcher Sensor genutzt wird, ergeben sich große Unterschiede. Dies zeigt sich sofort beim Bewegen des Positionierers in Schritten nahe der Auflösungsgrenze der Sensoren (Abb. 4).

Das Ergebnis einer Messung bei geschlossenem Regelkreis mit dem internen Sensor ist in Abb. 4 dargestellt. Das rote Signal zeigt das interne Sensorsignal. Die eingestellte Schrittweite von 5 nm liegt nur knapp über dem Rauschband. Beim Interferometer-Signal sind die Schritte hingegen deutlich zu erkennen. Zudem sieht man hier die Ungenauigkeiten in der Positionsregelung, diese resultiert aus dem Betrieb an der Auflösungsgrenze.

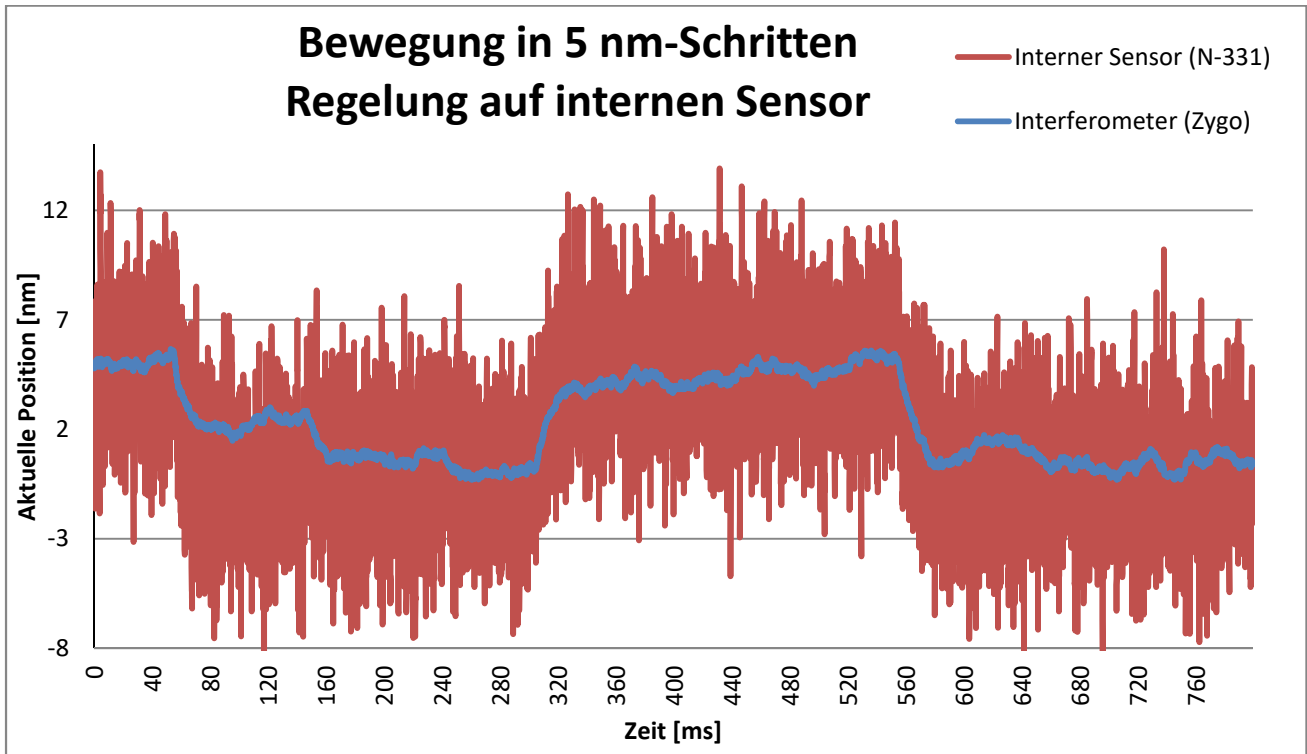


Abb. 4 Sensorsignale bei 5 nm-Schritten – Regelung auf internen Sensor (Bild: PI)

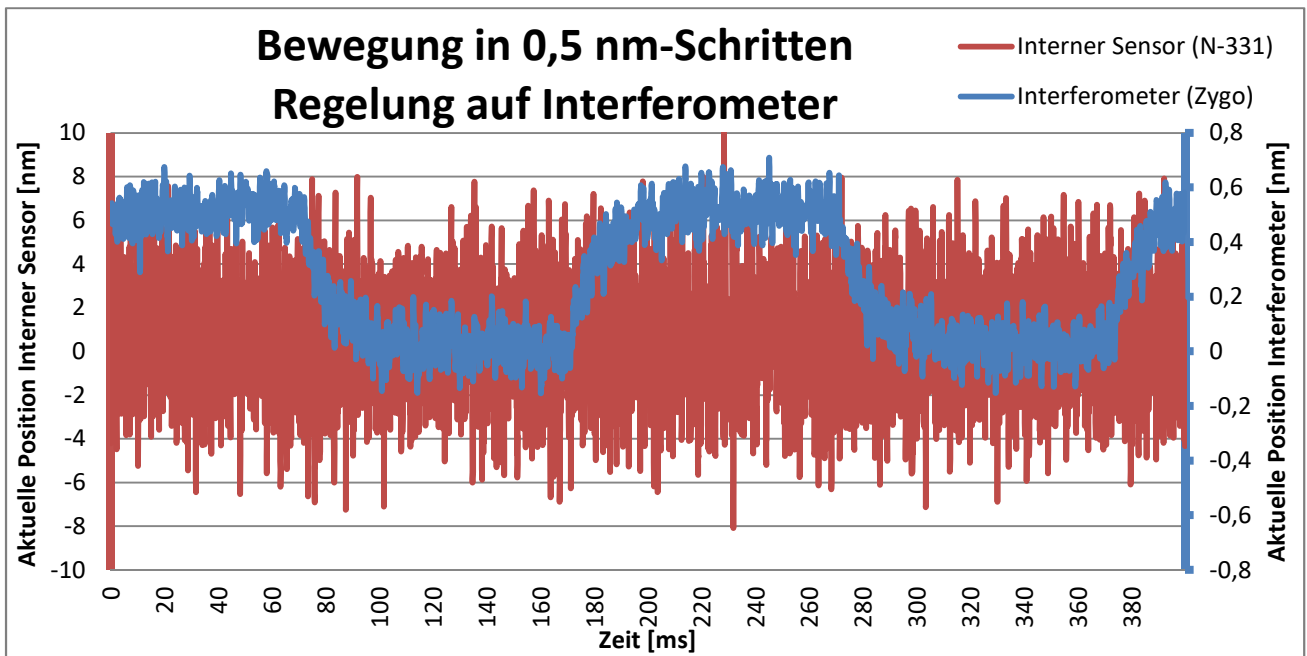


Abb. 5 Sensorsignale bei 0,5 nm-Schritten – Regelung auf Interferometer (Bild: PI)

Anschließend wurde für den geschlossenen Regelkreis das Interferometer-Signal verwendet, die Ergebnisse sind in Abb. 5 gezeigt. Die Schrittweite beträgt nur noch 0,5 nm. Es wird deutlich, dass der interne Sensor (rotes Signal) die Bewegung nicht mehr detektieren kann, wobei das Interferometer (blau) diese noch sehr gut auflöst. Die tatsächliche Stabilität der Position kann hier leider nicht mehr überprüft werden, da ein weiteres unabhängiges, noch höher auflösendes Messmittel nötig wäre.

4 Anwendbarkeit und Ausnahmen

Die erfolgreiche Regelung eines Positionierers über ein Zygo-Interferometer bedarf einiger Voraussetzungen:

- PI Controller, der als BiSS- oder SPI-Master fungiert (hier E-712.1AN Controller mit Motorsteuerkarte (E-711.C82) und zusätzlicher BiSS- bzw. SPI-fähiger Karte (E-711.IS3)
- Auch ein ACS-Controller kann stattdessen genutzt werden, sofern er BiSS- oder SPI-fähig ist
- PI Positionierer, der mit einem der oben genannten Controller verfügbar ist (hier N-331.23)
- ZMI-Board (ZMI-4104C) zur Versorgung und optischen Kommunikation mit dem Interferometer-Kopf
- PI-Board zur Kommunikation mit dem ZMI-Board über den VME-Bus und zur Ausgabe der Position über SPI/BiSS
- Zygo-Interferometer-Kopf (ZMI, Modell 7702)
- Möglichkeit der Montage des Spiegelements am Positionierer
- Verhindern einer Strahlunterbrechung zwischen Zygo und Spiegel

In manchen Fällen lässt sich dieses Verfahren nicht verwenden:

- Bei einer geringen Steifigkeit zwischen dem Motor und dem Messpunkt des Interferometers kann das System anfällig für Resonanzen im Regelkreis sein. Dies gilt beispielsweise für Luftlagertische oder magnetgetriebene Positionierer, bei denen über die Anwendbarkeit dieser Technik von Fall zu Fall entschieden werden muss.
- Zudem müssen die Eigenschaften des Antriebssystems berücksichtigt werden – z. B. ob dieses eine ausreichend kleine Schrittweite hat

5 Fazit

Für einige Anwendungsfälle kann es hilfreich sein, die Regelung eines Positionierers nicht über den internen Sensor sondern über ein externes Interferometer vorzunehmen. PI ist es gelungen, die unterschiedlichen Protokolle und Systeme zu verbinden und das Interferometer-Signal direkt zur Regelung im geschlossenen Regelkreis einzusetzen.

Der Vorteil gegenüber intern eingesetzten Sensoren ist die Möglichkeit, den Spiegel für das Interferometer direkt an dem Ort anzubringen, der für die Positionierung von Interesse ist. Hierdurch werden mechanische und Thermische Fehlereinflüsse reduziert. Das Zygo-Interferometer kann evtl. als kalibriertes Messmittel dienen. Alle Komponenten, außer dem Interferometer-Kopf und ZMI-Board, werden von PI angeboten und stammen somit aus einer Hand.

Selbstverständlich ist dieses Verfahren nicht für alle Positionierer oder Anwendungsfälle geeignet. Gerne stehen unsere Experten für eine Beratung zur Verfügung.

6 Autor



Jonas Schansker, Entwicklungsingenieur Sensorik bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

7 Über PI

Das Unternehmen Physik Instrumente (PI) ist für die hohe Qualität seiner Produkte bekannt und nimmt seit vielen Jahren eine Spitzenstellung auf dem Weltmarkt für präzise Positioniertechnik ein. Seit über 40 Jahren entwickelt und fertigt PI Standard- und OEM-Produkte mit Piezo- oder Motorantrieben.

Eine kontinuierliche Entwicklung neuartiger Antriebskonzepte, Produkte und Systemlösungen und über 200 Technologiepatente kennzeichnen heute die Unternehmensgeschichte. Dabei entwickelt, fertigt und qualifiziert PI alle Kerntechnologien selbst: Von Piezokomponenten, -aktoren und -motoren und magnetischen Direktantrieben über Luftlager, Magnet- und Festkörperführungen bis hin zu Nanometrologie-Sensoren, Regeltechnik und Software. PI ist dadurch von den am Markt verfügbaren Komponenten unabhängig, um seinen Kunden die fortschrittlichsten Lösungen anzubieten. Die hohe Fertigungstiefe ermöglicht dabei eine vollständige Prozesskontrolle, um flexibel auf die Marktentwicklungen und neue Anforderungen zu reagieren.

Durch die Übernahme der Mehrheitsanteile an ACS Motion Control, einem weltweit führenden Entwickler und Hersteller modularer Motion Controller für mehrachsige Antriebssysteme, kann PI außerdem maßgeschneiderte Komplettsysteme für industrielle Anwendungen liefern, die höchste Präzision und Dynamik fordern. Mit vier Standorten in Deutschland und fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen ist die PI Gruppe international vertreten.