

So misst PI - Teil I

Messumgebung / Messmittelportfolio / Datenauswertung



Für PI ist jede Vermessung und Qualifizierung eines Positionier- und Bewegungssystems sowie deren Aufzeichnung ein Instrument der Qualitätssicherung. So wird sichergestellt, so dass nur Produkte das Haus verlassen, die innerhalb der zugesicherten Spezifikationen liegen. Für die Qualifizierung, sowie für die End- und Freigabeproofungen aller Bewegungs- und Positioniersysteme sind hochpräzise Messungen erforderlich. Die Auswahl der Messumgebung und der Messmittel werden dabei an die Anforderungen der jeweiligen Produktlinie angepasst.

Kriterien für die Auswahl sind die gewünschte Auflösung, Messgenauigkeiten, Toleranzen und Abtastraten. Daneben spielt die Stabilität des Messaufbaus über die Zeit eine entscheidende Rolle und stellt besondere Anforderungen an die Vermeidung von Drifteffekten z.B. durch entsprechende Temperatur- und Schwingungsisolierung.

1 Messumgebung

1.1 Messlabore

Alle Präzisionsmessungen werden auf schwingungs isolierten Honeycomb-Tischen durchgeführt. Das Fundament jedes Messraums ist wiederum vom übrigen Gebäude entkoppelt und unterdrückt so seismische Einflüsse. Alle Messlabore sind klimatisiert.

Am Hauptsitz der Physik Instrumente (PI) in Karlsruhe stehen 15 spezielle Messlabore mit insgesamt über 750 m² Grundfläche zur Verfügung. Fünf Messlabore mit vorgelagerten Bereichen zur Vortemperaturierung haben eine spezielle seismische, elektromagnetische und thermische Isolierung, die eine Temperaturstabilität besser als 0,25 Kelvin in 24 Stunden gewährleistet. Damit sind Messgenauigkeiten bis in den Picometerbereich möglich. Langzeitmessungen bezüglich der Positionsstabilität sind nur unter solchen Voraussetzungen möglich.



Fig. 1 Blick in ein sechsfach isoliertes Nanometrologielabor. Die Vermessung geschieht vollautomatisch unter kontrollierten Umgebungsbedingungen.

	Anzahl der Messlabore	Klimatisiert und seismisch einfach entkoppelte Grundfläche	Mehrfach seismisch, akustisch und thermisch isolierte Grundfläche
VC-Klassifizierung*		VC-D, VC-E, VC-F, VC-G	VC-G, VC-H, VC-I
	5	276 m ²	82 m ²
	10	481 m ²	-
Gesamt	15	675 m²	82 m²

Fig. 2 Verfügbare Messlabore.

*Die VC-Klassifizierung ist für alle Räume unterschiedlich. Einfach seismisch entkoppelte Räume erreichen die Klassen VC-D bis VC-G. Das entspricht maximalen Vibrationen <6,25 µm/s im Frequenzbereich 1 bis 100 Hz. Mehrfach seismisch entkoppelte Räume erreichen die Klassen VC-F bis VC-I. Das entspricht maximalen Vibrationen <0,78 µm/s im Frequenzbereich 1 bis 100 Hz.

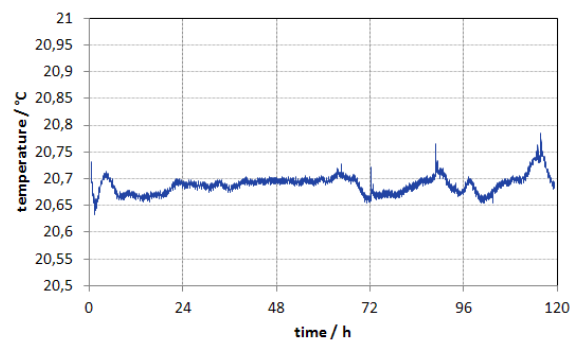


Fig. 3 Temperaturstabilität eines Messraums über mehrere Tage

1.2 Messtechnik in der Produktionsumgebung

In der (Groß-)Serienfertigung wird ein Großteil der Messungen direkt in der Produktionsumgebung vorgenommen. Dadurch können Abweichungen im Prozess schnell festgestellt werden, was Ausschuss oder Kosten für Nacharbeit vermeidet.

PI entwickelt hierfür voll- und halbautomatische Mess- und Prüfplätze, die vor ihrem Einsatz in der Fertigung mit Hilfe einer Messsystemanalyse („Gage Repeatability & Reproducibility“) auf ihre Eignung validiert werden.



Fig. 4 Blick auf die halbautomatisierten Prüfplätze für eine Großserienproduktion

1.3 Übersicht für Messmöglichkeiten unter speziellen definierten Umweltbedingungen

Im umfassend ausgestatteten Applikationslabor ist eine Vielzahl von Messungen unter speziellen Umgebungsbedingungen möglich.

Vakuumkammern mit einem Basisdruck bis 10^{-11} hPa ermöglichen Funktionstests und Restgasanalysen. Je nach Anwendung ist nicht nur der Druckbereich, sondern auch die erlaubten Reststoffe innerhalb der Vakuumkammer entscheidend, wie beispielsweise in der Kristallographie oder Optikbeschichtung.

Kryogenkammern für Messungen bei bis zu 77 °K (Kondensationspunkt Stickstoff) ermöglichen die Inbetriebnahme und Funktionsprüfung bei extrem niedrigen Temperaturen.

Auch Langzeituntersuchungen und die Überprüfung der Lebensdauer sind unter diesen speziellen Bedingungen möglich.

Spezielle Umweltbedingungen			
Messmittel	Temperaturbereich	Feuchtebereich	Prüfraumvolumen
Klimakammer	-72 °C bis +180 °C	10 ... 95 % rel.	190 / 275 l
Kryogenkammer	77 °K bis 300 °K	-	21,2 l
Vakuumkammer	20 °C bis ca. 70 °C	-	98 / 106 l
Glovebox	-	ca. 5 ppm	748 l

1.4 Spezielle Vorrichtungen

Eine Hub- und Kippvorrichtung mit einer Belastbarkeit von 5000 kg ermöglicht die Qualifikation von Positioniersystemen unter beliebigen Winkeln, bei applikationsspezifischer Ausrichtung und Last.

Die Qualifizierung eines Zwei-Tonnen-Hexapod setzt voraus, dass für die Vermessung von Massen bis zu fünf Tonnen sicher aufgebracht werden können. In der Schwerlasthalle überspannen drei Brückenkräne den Arbeitsbereich und heben und befördern die Komponenten der Positioniersysteme.



Fig. 5 Am Standort in Karlsruhe dient eine Hub- und Kippvorrichtung der spezifisch an die Applikation angepassten Vermessung bzw. dem Qualifizieren von Produkten. Hier wird ein Hexapod mit Last interferometrisch vermessen.

2 Messmittel

Alle Messmittel sind durch eine Kalibrierung rückgeführt und somit für Messungen mit geringsten Unsicherheiten geeignet. Damit ist zu jedem Zeitpunkt die Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und dem tatsächlichen Wert gewährleistet, und zwar nachvollziehbar mit Bezug auf einen

nationalen oder internationalen Standard. Sehr häufig kommen interferometrische Messsysteme zum Einsatz, die sich besonders durch hohe Auflösungen, kurze Messzeit und eine berührungslose, verschleißfreie Messung auszeichnen.

Nicht alle Messmittel stehen an jedem Standort in jeder Auflösung zur Verfügung.

2.1 Messmittel nach Messgröße

Länge / Weg			
Messmittel	Messprinzip	Auflösung/DPMI	Messbereich
Taktile Messtaster	induktiv (inkrementell)	bis 5 nm	bis 50 mm
Laserinterferometer	optisch (inkrementell)	bis 0,151 nm	bis 10 m
Vibrometer	optisch (Dopplereffekt)	2 nm	40 mm
Multisensor-Messmaschine	optisch und taktil	0,1 µm	300 mm × 300 mm × 160 mm
CNC Koordinatenmessmaschine	inkrementeller Taster mit Glasmaßstab	0,1 µm	900 mm × 1800 mm × 800 mm
PISeca	kapazitiver Sensor	0,001 % des Stellwegs	bis 100 µm

Winkel			
Messmittel	Messprinzip	Auflösung/DPMI	Messbereich
Laserinterferometer	optisch (inkrementell)	bis 34 nrad	± 0,11°
Autokollimator (AKF)	optisch (Autokollimation)	bis 0,05 arcsec	± 0,29° (bis zu ± 2,3°)
Winkelmessgerät / Rotationsencoder	inkrementell	bis 0,4 arcsec	360°

Geschwindigkeit			
Messmittel	Messprinzip	Geschwindigkeitsauflösung	V _{max}
Laserinterferometer	optisch (inkrementell)	bis 10 nm/s	bis 4 m/s
Vibrometer	optisch (Dopplereffekt)	bis 0,005 µm/s	bis 10 m/s

Oberflächenbeschaffenheit / Oberflächenebenheit			
Messmittel	Messprinzip	Auflösung/DPMI	Messbereich
Weißlichtinterferometer	optisch (inkrementell)	λ/25	80 mm × 80 mm
Weißlichtinterferometer	optisch (scannende Weißlicht-Interferometrie)	bis 1 nm bei glatten Oberflächen	Z=70 mm X=38 mm Y=28 mm
Laser Scanning Mikroskop	optisch		X=100 mm; Y=100 mm; 1x - 8x Objektiv

Exzentrizität / Taumeln			
Messmittel	Messprinzip	Auflösung/DPMI	Messbereich
Static Spindle Analyser	kapazitiv	80 µV/µm	Low ±125 µm High ±6,5 µm

3 Auswertung der Messdaten

Die Qualifikation und Auswertung der Messgrößen von PI Produkten orientiert sich an den Normen DIN ISO 230-2 und der VDI/DGQ 3441.

Die Qualifizierungsdaten sind für jedes einzelne Produkt jederzeit nachvollziehbar. Die Messdaten sind in Datenbanken erfasst und werden zur Prozesskontrolle herangezogen. Die Rückverfolgbarkeit bis auf die Ebene von Einzelprodukten ist besonders interessant für die Produktion von Großserien.

Bei vielen Systemen, wie z.B. Hexapoden oder Piezosystemen wird das Messprotokoll zur Auslieferung beigelegt. Damit kann kundenseitig jederzeit nachvollzogen werden, wie die Leistungsfähigkeit des Systems vor Auslieferung war, und welche Systemkomponenten zusammen gehören.

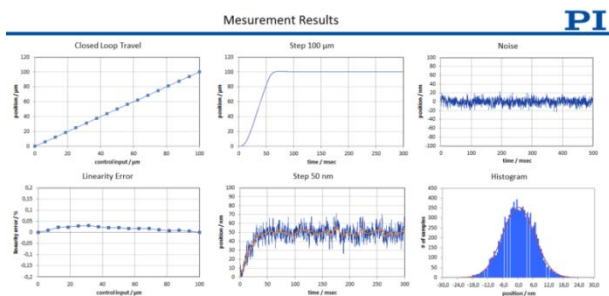


Fig. 6 Typisches Messprotokoll der Linearität und Impulsantwort eines Piezosystems

3.1 Erfassen der Messdaten und statistische Prozesskontrolle

Die Messdaten werden in Echtzeit automatisch übertragen, in einer Datenbank abgespeichert und von dort in einer webbasierten Benutzeroberfläche visualisiert. Der Zugriff auf die Controlcharts und das Analysetool erfolgt über gängige Webbrowser. Die Fachexperten haben sofort Zugriff auf alle Prozessdaten und können bei Bedarf unmittelbar eingreifen.

- Automatische Speicherung der Messdaten nach jeder Messung
- Realtime-Anzeige der Messwerte in Regelkarten
- Multiregelkarten für maximale Prozesskontrolle
- Dynamische Berechnung von Warn- und Eingriffgrenzen
- Download der Rohdaten und Kundenprotokoll
- Berechnung Prozessfähigkeit Cpk-Level
- Pareto Chart für Prozessanalyse und Optimierung
- Correlation Chart um die Abhängigkeit zweier

- Messgrößen zu überprüfen
- Verschiedene Exportfunktionen

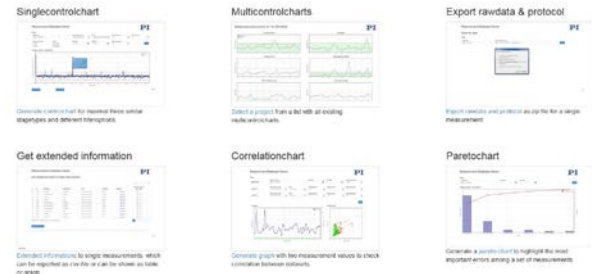


Fig. 7 Beispiele von Visualisierungen aus der Datenbank für Messergebnisse

3.2 Mess-Software

Die Software zur Steuerung der voll- oder halbautomatischen Mess- und Prüfplätze, entwickelt PI im eigenen Haus. Sämtliche Messmittel können direkt von der Software konfiguriert und ausgelesen werden, sodass es keine unnötigen Fehlerquellen bei der Messwerterfassung bis hin zur Ablage in Datenbanken und der Protokollerstellung gibt.

Für die Softwareentwicklung werden aktuelle Entwicklungsstandards, wie Versionskontrollsysteme, Bugtracker, automatisierte Build-Systeme, statische Codeanalysen, UnitTests und CodeReviews eingesetzt. Somit ist sichergestellt, dass die Software jederzeit rückführbar und die Qualitätsstandards eingehalten werden.

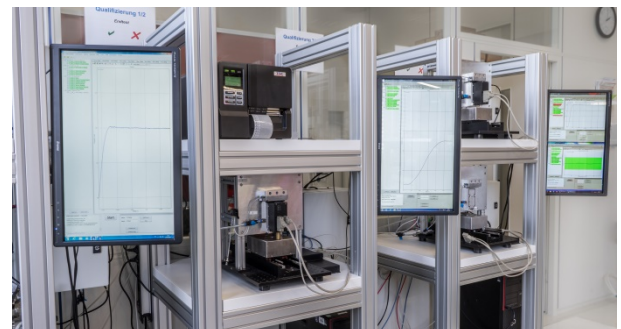


Fig. 8 Standardisierte Prozesskontrolle mit vollständiger Dokumentation der individuellen Messprotokolle

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.

WP4011D Messtechnik Messumgebung 04/2018 Änderungen vorbehalten. © Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG 2018