



## Technische Information

# Messgeräte für Linearmotoren in der Elektronikindustrie

In der Elektronikindustrie und Automatisierungstechnik werden immer präzisere und schnellere Maschinen gefordert, um den steigenden Anforderungen bezüglich Miniaturisierung, Qualität und Herstellkosten genügen zu können. An diesen hochdynamischen Anwendungen, die mit einer oder mehreren Vorschubachsen ausgestattet sind, setzen sich zunehmend Linearmotoren durch. Für diese Direktantriebstechnik sprechen geringer Verschleiß, niedriger Wartungsaufwand und eine höhere Produktivität.

Die Produktivität lässt sich jedoch nur dann steigern, wenn Steuerung, Motor, Maschinenstruktur und Positionsmessgerät optimal aufeinander abgestimmt sind. Direktantriebe stellen hohe Anforderungen an die Güte der Messsignale. Optimale Messsignale

- reduzieren Vibrationen im Maschinengestell,
- verhindern Lärmbelastung durch geschwindigkeitsabhängige Motorgeräusche,
- vermeiden zusätzliche Wärmeentwicklung und
- erlauben daher die maximale mechanische Nennleistung des Motors.

Die Leistungsfähigkeit eines Linearmotors wird also entscheidend durch die Wahl des Positionsmessgeräts beeinflusst. Messgeräte mit optischem Abtastverfahren zeigen Vorteile bei Genauigkeit, Laufruhe und Erwärmungsverhalten eines Direktantriebs. HEIDENHAIN liefert ein breites Programm von Längenmessgeräten, die sich aufgrund ihrer technischen Eigenschaften speziell für Linearmotoren in der Elektroindustrie eignen.

### Aufbau von Direktantrieben

Entscheidender Vorteil der Direktantriebstechnik ist die sehr steife Ankopplung an die Vorschubmechanik ohne weitere mechanische Übertragungselemente. Dadurch werden deutlich höhere Regelkreisverstärkungen als bei konventionellen Antrieben möglich.

### Geschwindigkeitserfassung an Direktantrieben

Bei Direktantrieben ist kein zusätzlicher Drehgeber zur Geschwindigkeitsbestimmung vorhanden. Lage und Geschwindigkeit werden über das Positionsmessgerät – Längenmessgerät bei Linearmotor, Winkelmessgerät bei rotatorischem Antrieb – bestimmt. Da die mechanische Übersetzung zwischen Drehzahlmessgerät und Vorschubeinheit fehlt, muss das Positionsmessgerät über eine entsprechend hohe Auflösung verfügen, um auch bei langsamen Verfahrgeschwindigkeiten eine exakte Geschwindigkeitsregelung zu ermöglichen. Die Geschwindigkeit wird aus dem pro Zeiteinheit zurückgelegtem Weg ermittelt.



Dieses Verfahren – es wird gleichermaßen bei konventionellen Achsen angewandt – stellt eine numerische Differenzierung dar, die periodische Störungen oder Rauschen des Signals verstärkt.

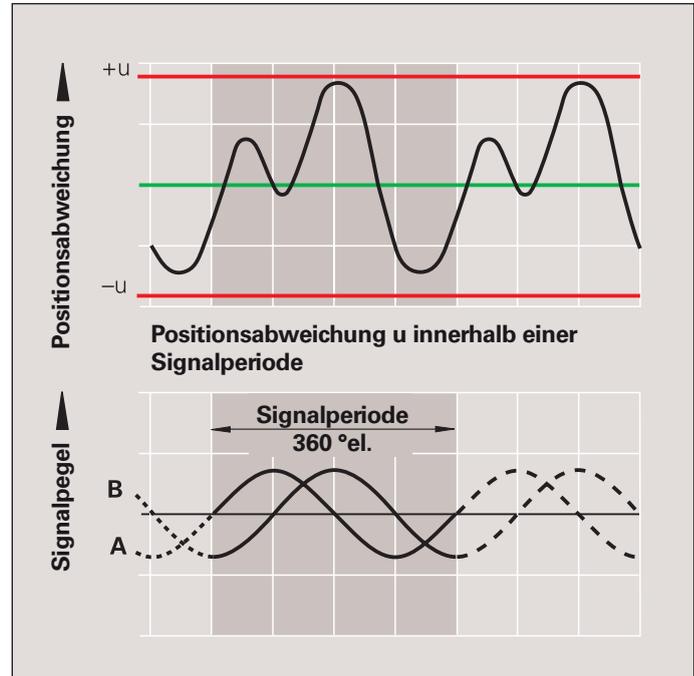
Besonders bei Direktantrieben steigt durch die deutlich höhere Regelkreisverstärkung der Einfluß der Signalqualität auf das Antriebsverhalten.

# Messgeräte für Linearmotoren in der Elektronikindustrie

## Anforderungen und Auswirkungen

### Signalqualität der Positionsmessgeräte

Moderne Messgeräte verfügen über eine inkrementale – also zählende – oder absolute Positionserfassung. Die Weginformation wird im Messgerät in zwei Sinussignale mit  $90^\circ$  Phasenversatz umgewandelt. Bei beiden Verfahren ist es notwendig, die sinusförmigen Abtastsignale zu interpolieren, um die erforderliche hohe Auflösung zu erreichen. Durch unzureichende Abtastung, durch Verschmutzung der Maßverkörperung sowie durch Mängel in der Signalaufbereitung können die Signale von der idealen Sinusform abweichen. Bei der Interpolation entsteht eine periodische Positionsabweichung innerhalb einer Signalperiode der Ausgangssignale des Messgeräts. Sie wird als Positionsabweichung innerhalb einer Signalperiode oder auch als Interpolationsabweichung bezeichnet. Bei hochwertigen Messgeräten beträgt sie typischerweise 1 bis 2 % der Signalperiode.



### Auswirkungen des Interpolationsfehlers

#### Wärme- und Geräuschentwicklung

Mit zunehmender Frequenz des Interpolationsfehlers kann der Vorschubantrieb dem Fehlerverlauf nicht mehr folgen. Jedoch bewirken die durch Interpolationsabweichungen erzeugten Stromkomponenten erhöhte Motorgeräusche und eine zusätzliche Erwärmung des Motors.

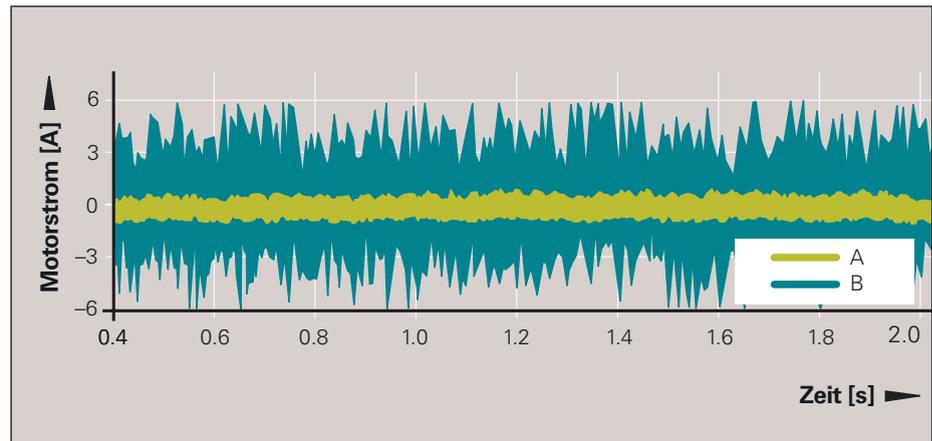
Ein Vergleich der Wirkungen von Längenmessgeräten mit niedrigen und hohen Interpolationsabweichungen auf einen Linearmotor unterstreicht die Bedeutung hochwertiger Positionssignale. Das verwendete Längenmessgerät vom Typ LIDA verursacht kaum wahrnehmbare Störungen im Motorstrom: der Motor zeigt ein ruhiges Betriebsverhalten und entwickelt wenig Wärme.

Werden bei gleichem Messgerät die Interpolationsabweichungen durch Dejustage vergrößert, entstehen bei gleicher Reglereinstellung erhebliche Störungen im Motorstrom. Eine starke Geräuschentwicklung und zusätzliche Erwärmung im Motor sind die Folge.

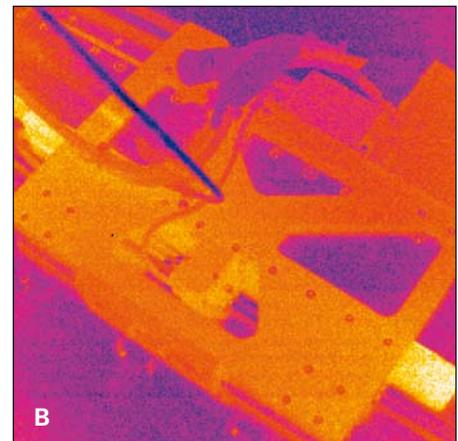
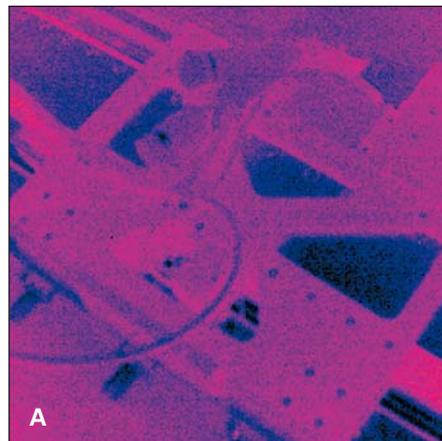
### Dynamisches Verhalten

Bei Direktantrieben werden häufig digitale Filter zur Glättung der Positionssignale eingesetzt. Der Phasenverlust durch Filterung im Drehzahlregelkreis sollte jedoch grundsätzlich auf ein Minimum reduziert werden, da andernfalls mit Abstrichen in der dynamischen Genauigkeit gerechnet werden muss.

Lagemessgeräte mit optimaler Signalgüte helfen den Einsatz von Filtern zu reduzieren – die Regelbandbreite bleibt erhalten.



Motorstrom eines Direktantriebs bei Positionsmessgerät  
A: mit niedrigen Interpolationsabweichungen  
B: mit hohen Interpolationsabweichungen



Erwärmungsverhalten eines Linearmotors, Regelung auf Messgerät  
A: mit niedrigen Interpolationsabweichungen  
B: mit hohen Interpolationsabweichungen

### Lagemessgeräte für Direktantriebe

Für einen optimalen Betrieb von Direktantrieben in der Elektronikindustrie sind also Längenmessgeräte notwendig, die ein qualitativ hochwertiges Positionssignal mit kleinen Interpolationsabweichungen erzeugen. Besonders eignen sich Messgeräte mit photoelektrischem Abtastprinzip, da mit dieser Methode sehr feine Teilungen abgetastet werden können.

Messgeräte mit optischer Abtastung tragen somit entscheidend dazu bei, das Potenzial von Direktantrieben auszunutzen.

### Exakte Teilungen

HEIDENHAIN-Messgeräte mit optischer Abtastung benutzen Maßverkörperungen aus regelmäßigen Strukturen – sogenannte Teilungen. Als Trägermaterial dienen Glas- oder Stahlsubstrate oder – für große Messlängen – Stahlbänder. Die feinen Teilungen – typisch sind Teilungsperioden von 40  $\mu\text{m}$  bis unter 1  $\mu\text{m}$  – werden durch photolithografische Verfahren hergestellt. Sie zeichnen sich durch hohe Kantenschärfe und Homogenität aus – eine grundlegende Voraussetzung für kleine Interpolationsabweichungen und damit für ein ruhiges Betriebsverhalten und hohe Regelkreisverstärkungen.

### Widerstandsfähige Maßverkörperungen

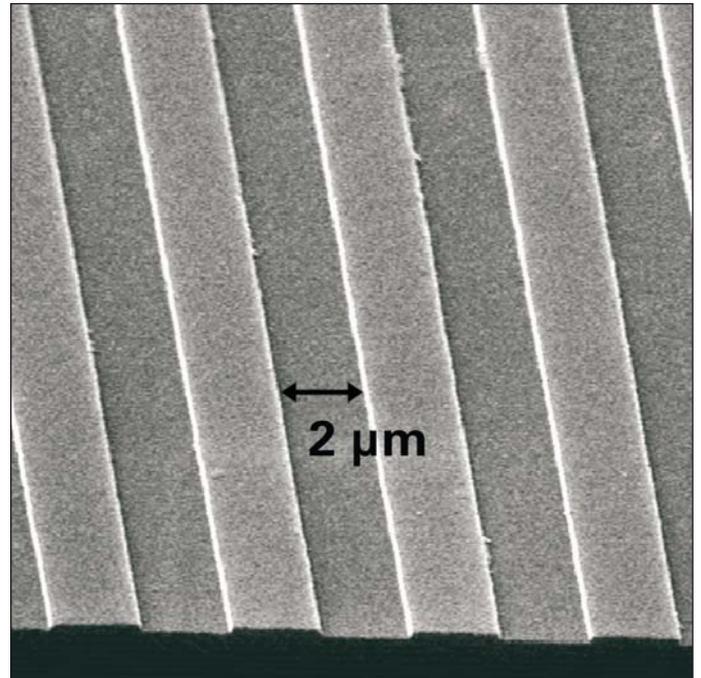
Bei offenen Längenmessgeräten ist die Maßverkörperung naturgemäß einer erhöhten Belastung ausgesetzt. Deshalb verwendet HEIDENHAIN generell robuste Teilungen, die in speziellen Verfahren hergestellt werden.

Beim DIADUR-Verfahren werden Strukturen aus Hartchrom auf einen Glas- oder Stahlträger aufgebracht. Das AURODUR-Verfahren beschreibt Stahlmaßbänder mit Hartgold-Teilung.

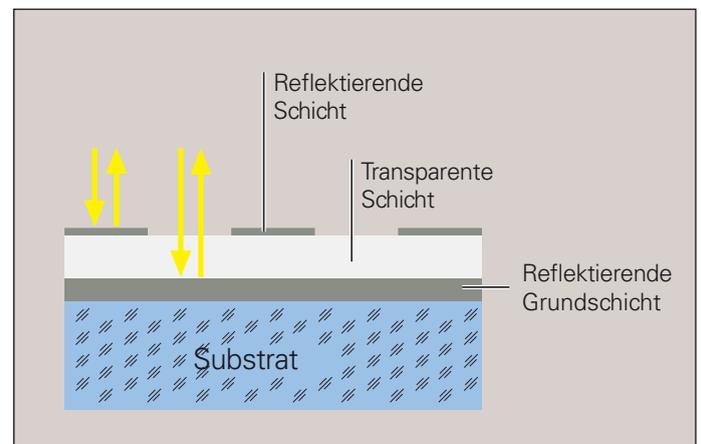
Beim SUPRADUR-Verfahren befindet sich über der reflektierenden Grundschrift zu erst eine transparente Schicht. Darauf wird zur Erzeugung eines Gitters eine extrem dünne Hartchrom-Schicht aufgebracht.

Maßstäbe mit SUPRADUR-Teilung erweisen sich als besonders unempfindlich gegen Verschmutzungen, da die geringen Strukturhöhen praktisch keine Angriffsflächen für Staub-, Schmutz- oder Feuchtigkeitsteilchen bieten.

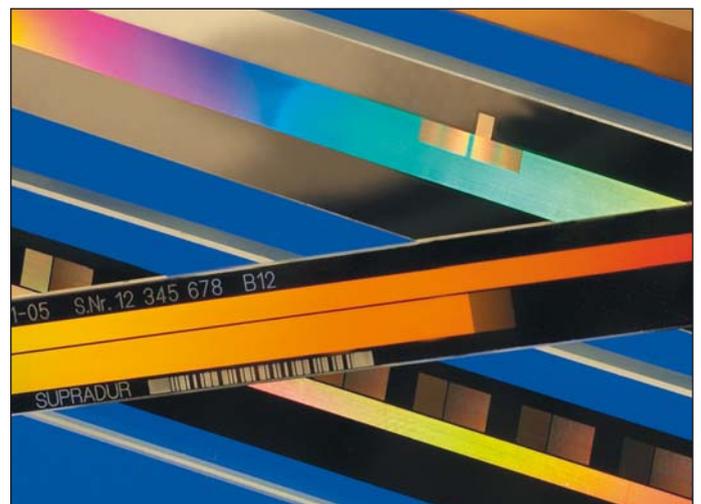
HEIDENHAIN-Fertigungstechnologien sichern somit eine dauerhaft hohe Signalgüte, die den besonders anspruchsvollen Applikationen mit Direktantrieben zu Gute kommt.



DIADUR-Phasengitter-Teilung mit ca. 0,25  $\mu\text{m}$  Gitterhöhe



SUPRADUR-Verfahren: Optisch dreidimensionale Teilung mit planarer Struktur



### Optimiertes Abtastverfahren

Neben der hohen Qualität der Gitterteilung ist das Abtastverfahren mit verantwortlich für kleine Interpolationsabweichungen. Besonders vorteilhaft ist die Einfeld-Abtastung, mit der die offenen Längenmessgeräte von HEIDENHAIN arbeiten: Die Ausgangssignale werden dabei aus nur einem Abtastfeld erzeugt. Dieses große Abtastfeld und die spezielle optische Filterung durch die Struktur von Abtastplatte und Photosensor erzeugen Ausgangssignale mit konstanter Signalqualität über den gesamten Verfahrensweg. Dies ist die Voraussetzung:

- für geringes Signalrauschen
- kleine Interpolationsabweichungen
- hohe Verfahrgeschwindigkeiten
- gute Regelgüte bei Direktantrieben
- geringe Erwärmung des Antriebs

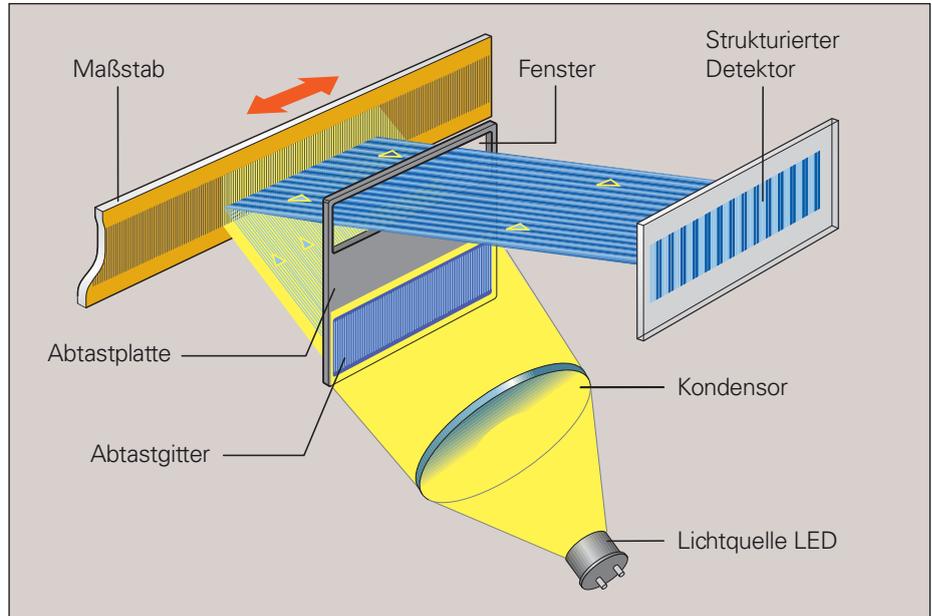
### Signalgewinnung an Beispiel des abbildenden Messprinzips (LIDA 400)

Das abbildende Messprinzip arbeitet – vereinfacht beschrieben – mit schattenoptischer Signalerzeugung: Zwei Strichgitter mit beispielsweise gleicher Teilungsperiode – Maßstab und Abtastplatte – werden zueinander bewegt. Das Trägermaterial der Abtastplatte ist lichtdurchlässig, die Teilung der Maßverkörperung kann ebenfalls auf lichtdurchlässigem oder auf reflektierendem Material aufgebracht sein.

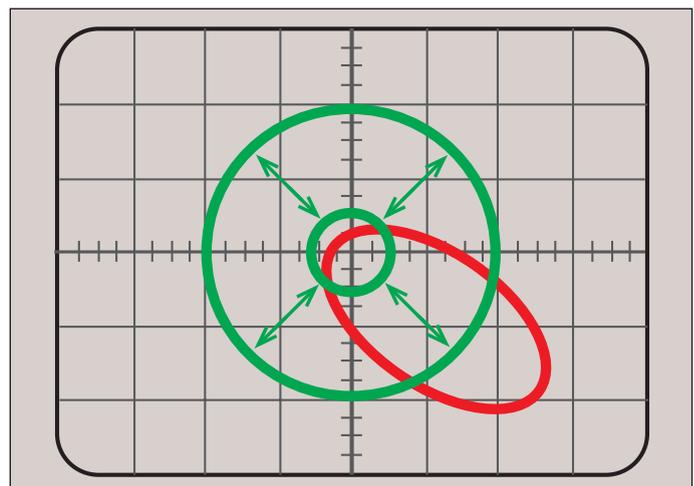
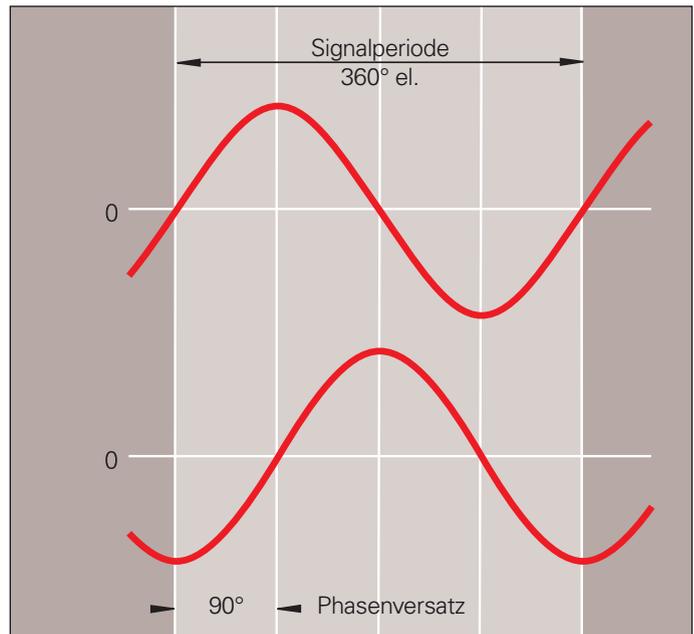
Fällt paralleles Licht durch eine Gitterstruktur, werden in einem bestimmten Abstand Hell-/ Dunkel-Felder abgebildet. Hier befindet sich ein Gegengitter mit der gleichen Teilungsperiode. Bei einer Relativbewegung der beiden Gitter zueinander wird das durchfallende Licht moduliert: stehen die Lücken übereinander, fällt Licht durch, befinden sich die Striche über den Lücken, herrscht Schatten. Photoelemente wandeln diese Lichtänderungen in elektrische Signale um. Die speziell strukturierte Teilung der Abtastplatte filtert dabei den Lichtstrom so, dass annähernd sinusförmige Ausgangssignale entstehen.

In der XY-Darstellung am Oszilloskop ergeben die Signale eine Lissajous-Figur. Bei idealen Ausgangssignalen entsteht ein Kreis in mittiger Position. Abweichungen in Kreisform und Lage verursachen Positionsabweichungen innerhalb einer Signalperiode und gehen somit direkt in das Messergebnis ein. Die Größe des Kreises – er entspricht der Amplitude der Ausgangssignale – darf innerhalb bestimmter Grenzen variieren, ohne die Messgenauigkeit zu beeinflussen.

Abweichungen von der Kreisform bewirken bei Direktantrieben Lärmentwicklung, schlechte Regelgüte und zusätzliche Erwärmung.



Photoelektrische Abtastung nach dem abbildenden Messprinzip mit Stahlmaßband und Einfeld-Abtastung (LIDA 400)



### Geringe Verschmutzungsempfindlichkeit

Fertigungseinrichtungen und Handhabungsgeräte für die Elektronikindustrie erfordern hohes Beschleunigungsvermögen und kompakte Bauformen. Deshalb kommen dafür in der Regel nur offene Messgeräte in Frage, da sie reibungsfrei arbeiten und aufgrund der fehlenden Kapselung extrem klein und damit massearm aufgebaut werden können. Um auch ohne Kapselung des Messsystems eine Robustheit gegen Verschmutzung zu sichern, kommen besondere Abtastverfahren und Fertigungstechnologien zum Einsatz.

Die offenen Längenmessgeräte von HEIDENHAIN arbeiten mit einer **Einfeld-Abtastung**. Dabei wird nur ein Abtastfeld zur Erzeugung der Abtastsignale verwendet. Lokale Verschmutzungen auf der Maßverkörperung (z. B. Fingerabdrücke während der Montage oder Ölablagerungen aus Führungen u. a.) beeinflussen die Lichtintensität der Signalkomponenten und somit die Abtastsignale gleichermaßen. Die Ausgangssignale ändern sich dadurch zwar in ihrer Amplitude, jedoch nicht in Offset und Phasenlage. Sie sind nach wie vor hoch interpolierbar, die Interpolationsabweichungen bleiben gering.

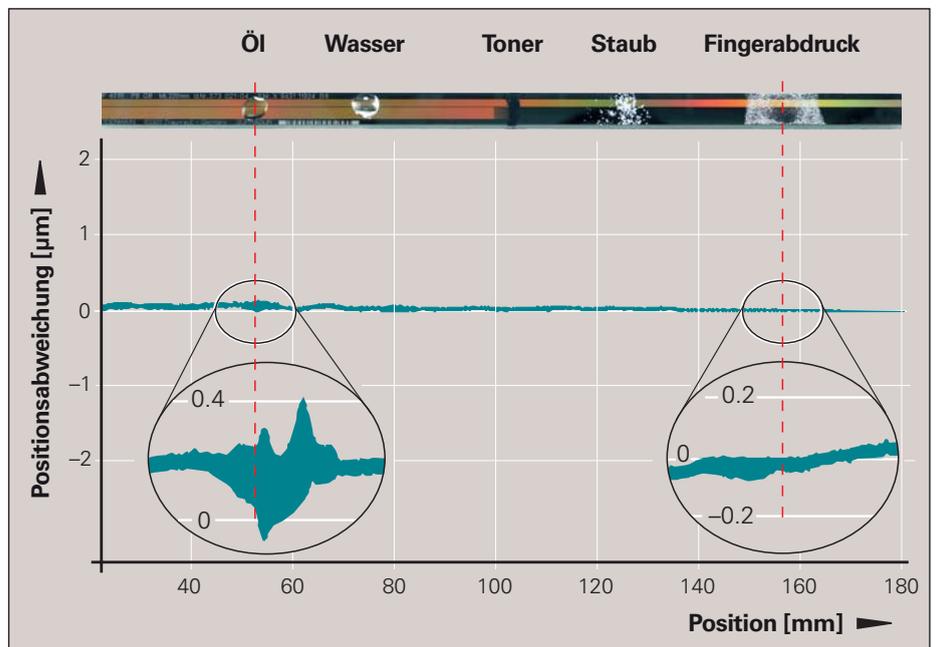
Das **große Abtastfeld** reduziert die Verschmutzungsempfindlichkeit zusätzlich. Je nach Verunreinigung kann auch ein Ausfall des Messgeräts vermieden werden. Besonders deutlich zeigt sich dies bei LIDA 400 und LIF 400 mit einer im Vergleich zur Teilungsperiode sehr großen Abtastfläche von  $14,5 \text{ mm}^2$ . Selbst bei Verunreinigungen mit 3 mm Durchmesser liefern die Geräte hochwertige Messsignale. Die Positionsabweichungen bleiben weit unter den als Genauigkeitsklasse des Maßstabs spezifizierten Werten.

Wesentliche Voraussetzungen für optische Messgeräte mit geringer Verschmutzungsempfindlichkeit sind demnach ein optimiertes Abtastverfahren, das große Abtastfeld sowie die verschmutzungsunempfindliche Teilung.

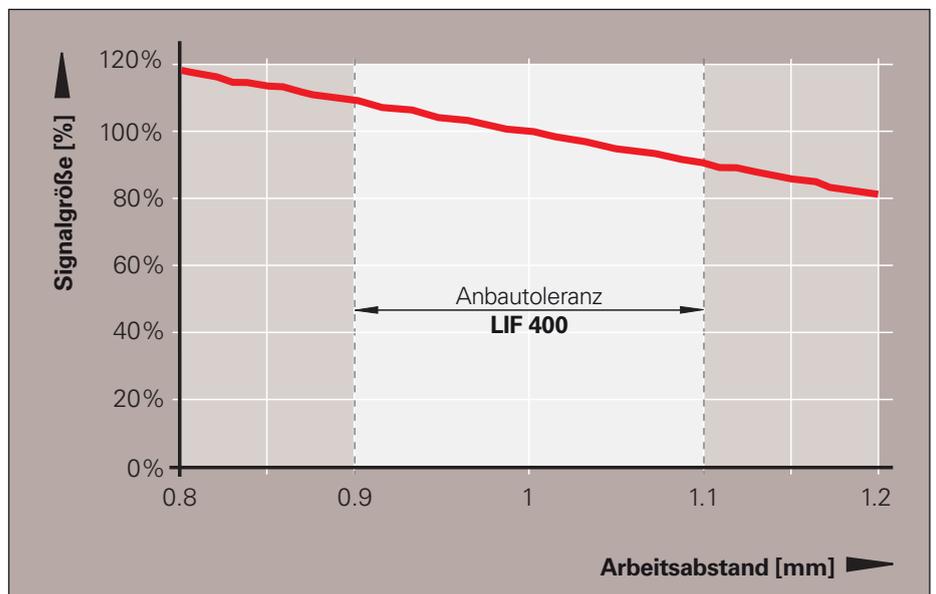
### Praxisgerechte Anbautoleranzen

Mit sehr kleinen Signalperioden sind normalerweise sehr enge Abstandstoleranzen zwischen Abtastkopf und Maßband verbunden. Das interferentielle Abtastprinzip des LIF 400 sowie neuartige Abtastgitter, wie z. B. im LIDA 400, ermöglichen praxisgerechte Anbautoleranzen trotz kleiner Signalperioden. Die Signalamplitude verändert sich innerhalb der Montagetoleranzen nur unwesentlich.

Dieses Verhalten ist für die hohe Zuverlässigkeit der offenen Längenmessgeräte von HEIDENHAIN maßgeblich verantwortlich.



Verschmutzungsverhalten des LIF 400



# Lagemessgeräte für Linearmotoren

Die offenen Längenmessgeräte von HEIDENHAIN sind optimiert für den Einsatz an präzisen und schnellen Maschinen, wie sie in der Elektronik-Industrie und Automatisierungstechnik gefordert sind. Trotz der offenen Bauform weisen sie eine geringe Verschmutzungsempfindlichkeit auf, gewährleisten hohe Langzeitstabilität und sind schnell und einfach zu montieren. Für Linearmotoren eignen sich – aufgrund der geringen Masse und der kompakten Bauform – die Messgeräte der Baureihen LIF ①, LIP ② und LIDA ③ besonders.

Anwendung	Signalperiode	max. Interpolationsfehler	Schnittstelle	Typ
für höchste Genauigkeit	0,128 µm	• 0,001 µm	□ TTL	LIP 372
			~ 1 V <sub>SS</sub>	LIP 382
	2 µm	• 0,02 µm	□ TTL	LIP 471
			~ 1 V <sub>SS</sub>	LIP 481
	4 µm	• 0,04 µm	□ TTL	LIP 571
			~ 1 V <sub>SS</sub>	LIP 581
• für einfache Montage • mit Limit-Schalter und Homing-Spur	4 µm	• 0,04 µm	□ TTL	LIF 471
			~ 1 V <sub>SS</sub>	LIF 481
• für hohe Verfahrensgeschwindigkeit • Limit-Schalter	20 µm	• 0,2 µm	□ TTL	LIDA 47x
			~ 1 V <sub>SS</sub>	LIDA 48x

HEIDENHAIN-Lagemessgeräte für Direktantriebe (Auswahl): Maximalwerte der Interpolationsfehler in Abhängigkeit von der Signalperiode



## HEIDENHAIN

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH**

Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5

**83301 Traunreut, Germany**

☎ +49 (8669) 31-0

☎ +49 (8669) 5061

E-Mail: info@heidenhain.de

[www.heidenhain.de](http://www.heidenhain.de)

### Weitere Informationen:

- Prospekt *Offene Längenmessgeräte*
- Technische Information *Einfeld-Abtastung*

