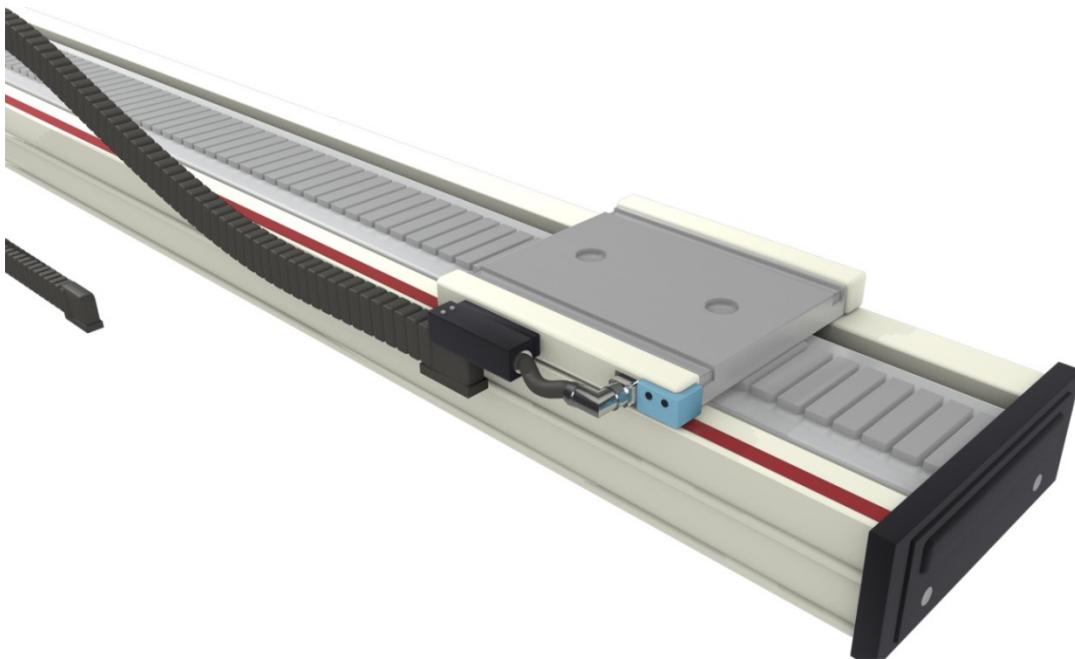




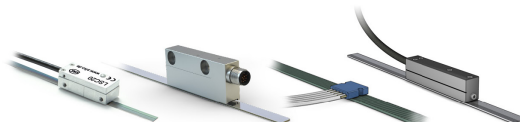
WHITEPAPER

# Hohe Produktivität mit offenen Motorfeedback-Systemen

**Auswahlkriterien für Motorfeedbacklösungen auf Basis optischer, magnetischer, induktiver und kapazitiver Messsysteme**

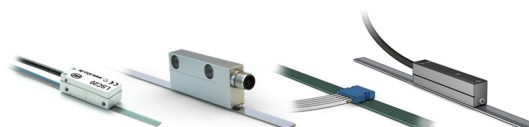


**Zur exakten Steuerung linearer und rotativer Direktantriebe werden Motorfeedbacklösungen basierend auf dem optischen, dem magnetischen, dem kapazitiven und dem induktiven Messprinzip angeboten. Die Entscheidung für ein bestimmtes System ist sehr stark anwendungsorientiert. Für die Auswahl einer perfekt passenden Motorfeedbacklösung gibt es drei Hauptkriterien: Präzision, Unempfindlichkeit gegenüber mechanischen und äußeren Einflüssen und Preis. In diesem Whitepaper werden die Vor- und Nachteile der vier Messprinzipien anhand dieser Kriterien vorgestellt. Beispiele, Zeichnungen, Tabellen und Bildern erleichtern die Systemauswahl für jede erdenkliche Anwendung.**

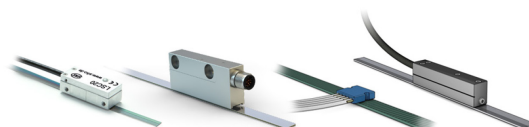


## INHALT

1	Einleitung: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit .....	4
2	Übersicht über lineare und rotative Direktantriebe .....	5
2.1	Der Unterschied zwischen Linear- und Torquemotoren .....	5
2.2	Anforderungen an Motorfeedbacklösungen .....	7
3	Technologien offener Messsysteme für Motorfeedback .....	9
3.1	Optische Systeme .....	10
3.1.1	Glasmaßstab sowie Auflicht- und Lasertechnik im Vergleich .....	10
3.1.2	Vor- und Nachteile der optischen Systeme .....	12
3.2	Magnetische Systeme .....	13
3.2.1	Technologie der magnetischen Systeme .....	13
3.2.2	Sonderanwendung bei Portalantrieben .....	14
3.2.3	Vor- und Nachteile der magnetischen Systeme .....	14
3.3	Kapazitive Systeme .....	15
3.3.1	Technologie kapazitiver Systeme .....	15
3.3.2	Vor- und Nachteile kapazitiver Systeme .....	16
3.4	Induktive Systeme .....	17
3.4.1	Technologie induktiver Systeme .....	17
3.4.2	Vor- und Nachteile induktiver Systeme .....	18
3.5	Tabellarische Übersicht und Gegenüberstellung der Systeme .....	18



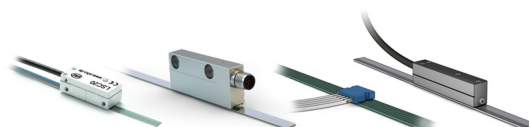
4	Anwendungsgebiete .....	20
4.1	Handlingautomation .....	20
4.2	Bearbeitungssysteme.....	21
4.3	Robotertechnik.....	23
4.4	Pick-and-Place .....	24
4.5	PCB-Bearbeitung .....	25
4.6	Analyse- und Medizintechnik.....	26
5	Fazit .....	28



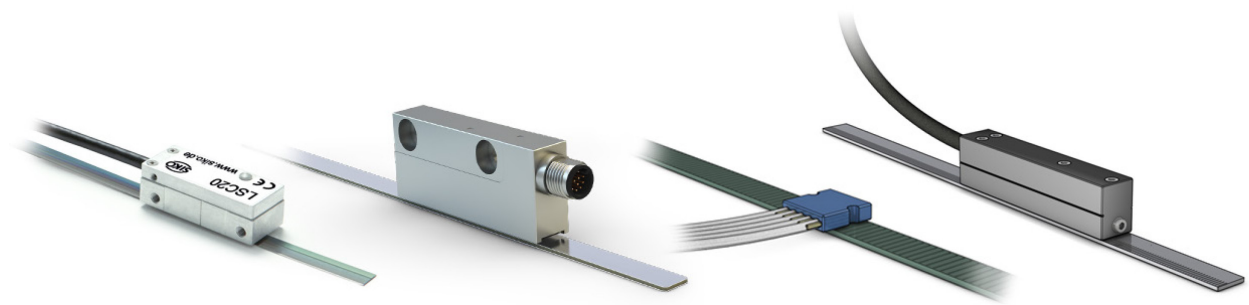
## 1 Einleitung: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit

In der Industrieautomation sind effiziente und zuverlässige Antriebe eine wichtige Voraussetzung für eine hohe Produktivität. Maschinen und Anlagen können schneller, sicherer und ressourcenschonender arbeiten, wenn die Antriebe kontrolliert und exakt geregelt werden. Grundlage hierfür sind Encoderlösungen, die den spezifischen Ansprüchen der Produktionsumgebung an das Messsystem gerecht werden und zudem präzise Werte für die Längen- und Positionsmessung erfassen. Rotative und lineare Motorfeedback-Systeme werden in elektrischen Antrieben eingebaut, um Geschwindigkeiten zu messen und Motorpositionen zu erfassen. Die Spezifikationen dieser Messsysteme sind dabei so unterschiedlich wie die Anwendungsbereiche, in denen die Sensoren zum Einsatz kommen. Der Auswahl eines passenden Messsystems liegt somit folgender Leitgedanke zugrunde: die Kombination aus geforderter Präzision bei möglichst geringer Beeinträchtigung durch externe Einflüsse, so dass eine wirtschaftliche Lösung erzielt wird. Die Leistungsfähigkeit des Messsystems auch unter rauen Umgebungsbedingungen ist zusammen mit der Genauigkeit und der Wirtschaftlichkeit des Systems eines der Hauptargumente für die Auswahl der geeigneten Messtechnik.

In den letzten Jahren hat sich in der Längenmesstechnik basierend auf diversen Anforderungen ein breites Produktspektrum entwickelt. Die optischen Systeme sind die, die für diese Art von Anwendung schon am längsten am Markt sind. Seit Beginn der 2000er Jahre haben sich weitere Technologien etabliert, die auf dem magnetischen, dem induktiven und dem kapazitiven Messprinzip basieren. Diese Systeme erreichen technologisch gesehen noch nicht die sehr hohen Genauigkeitsklassen der optischen Systeme. Die optischen Systeme sind aber im Vergleich zu den drei anderen Verfahren empfindlicher gegenüber äußeren Einflüssen, wie Staub oder Flüssigkeiten und auch mechanischen Einflüssen, wie Vibration und Schockbelastung. Nehmen zudem wirtschaftliche Kriterien Einfluss auf die Auswahl eines geeigneten Messsystems, können die magnetischen Systeme gegenüber den optischen, induktiven oder kapazitiven im Vorteil sein – immer abhängig von der jeweiligen Anwendung.



Damit Endanwendern die Orientierung im Bereich der Motorfeedback-Systeme leichter fällt, werden im Folgenden die grundlegenden Aspekte des optischen, magnetischen, induktiven und kapazitiven Messprinzips erklärt und miteinander in Beziehung gesetzt. Somit entsteht ein Leitfaden für die Auswahl eines maßgeschneiderten, für die jeweilige Anwendung passenden Positionsmesssystems linearer und rotativer Direktantriebe.

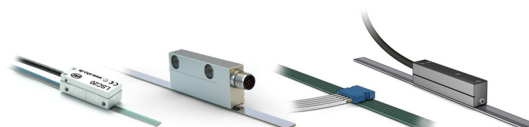


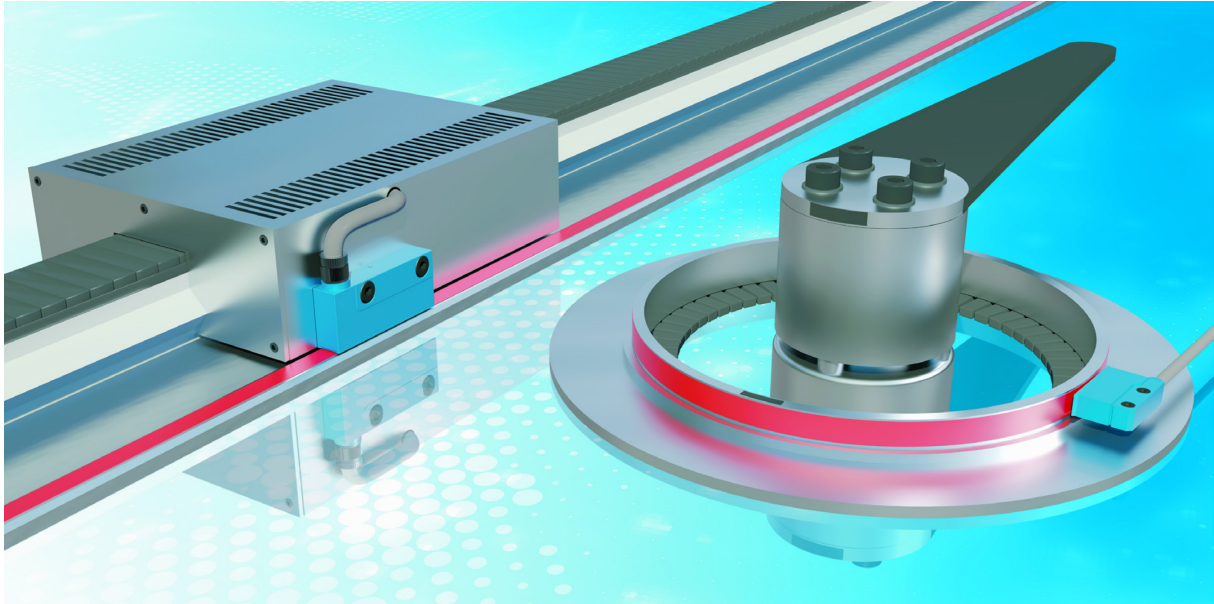
**Abbildung 1: Physikalisch unterschiedliche Lösungen zur Positionserfassung (v.l.: optisch, magnetische, kapazitiv, induktiv)**

## 2 Übersicht über lineare und rotative Direktantriebe

### 2.1 Der Unterschied zwischen Linear- und Torquemotoren

Bei Direktantrieben sind der Elektromotor und die angetriebene Maschine direkt verbunden, auf ein Getriebe wird verzichtet. Unterschieden werden lineare und rotative Direktantriebe in einem breiten Größen- und Leistungsspektrum. Bei den rotativen Direktantrieben sind es vor allem die Torqueantriebe, die in ihrer Verbreitung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die translatorischen Linearantriebe sind oftmals als Positionierantriebe im Bereich der Werkzeugmaschinen zu finden. Linearmotoren werden dort eingesetzt, wo es auf ein sehr gutes Kraft-Masse-Verhältnis und einen optimalen Gleichlauf ankommt. Sie eignen sich besonders für Aufgaben, bei denen es auf höchste Bahngenauigkeit und konstante Geschwindigkeit ankommt.

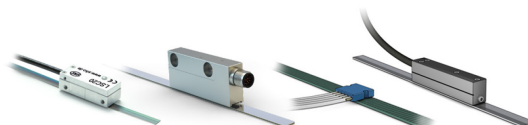




**Abbildung 2: Motorfeedbacklösungen an Linear- und Torquemotoren (schematische Darstellung)**

Ein linearer Direktantrieb kann mit einem aufgeklappten Motor verglichen werden. Die eingesetzten Drehstrommotoren haben Magnete als Permanentmagnete ausgebildet und eine Spule, durch die der Strom beaufschlagt wird. Das entstandene Wechselfeld sorgt dafür, dass sich die Spule in diesem Magnetfeld bewegt oder – je nachdem, was mechanisch fixiert ist – auch die Magnetleiste. In diesem Fall ist die Spule auf einem Schlitten montiert, der sich über eine Linearführung an den Magneten entlang bewegt.

Torquemotoren sind ideal für Anwendungen, bei denen ein hohes Drehmoment kombiniert mit einem idealen Gleichlaufverhalten gefordert ist. Rotative Direktantriebe funktionieren ähnlich wie die linearen. Die Spule wird bei den rotativen Motoren dagegen in dem Magnetkreis gedreht. In der Regel verfügen Torquemotoren über eine durchgehende Hohlwelle, um Kabel oder Druckluftleitungen hindurchführen zu können, wie es z. B. bei Roboteranwendungen erforderlich ist.



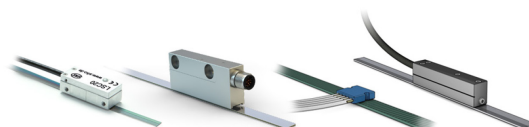
Bei beiden Systemen wird die Anforderung gestellt, dass ein Motorfeedback, also ein Positionsfeedback, benötigt wird, da in der Regel eine mechanische Ankopplung wie etwa ein Getriebe fehlt.

## 2.2 Anforderungen an Motorfeedbacklösungen

Das Motorfeedback ist der Überbegriff für die Positionsrückmeldung von linearen und rotativen Systemen. Es geht um Systeme bestehend aus Motor und Regelung – ein elektrischer Antrieb steuert den Motor und das Messsystem fungiert als Bindeglied zur Folgeelektronik bzw. zum Regler, der dem Motor wiederum ein Signal gibt, in welche Richtung, mit welcher Geschwindigkeit und mit welcher Präzision er zu verfahren hat. Das Messsystem wird in diesen Anwendungen als Motorfeedbacksystem bezeichnet.

An Motorfeedbacksysteme werden grundsätzlich drei Hauptkriterien gestellt: Zum einen stellt die Präzision in Bezug auf die Messgenauigkeit und die Wiederholgenauigkeit eine entscheidende Rolle. Pauschal lässt sich festlegen: Je länger die Messstrecke, desto weniger bestehen Anforderungen an die Präzision und desto eher können magnetische Systeme zum Einsatz kommen.

Die Unempfindlichkeit oder der Schutz gegenüber mechanischen Einflüssen wie Schock Vibration und beeinträchtigenden Umgebungsbedingungen wie Flüssigkeiten, Schmiermittel, Staub etc. sind die zweite Anforderung an das Gesamtsystem. Wenn diese Einflüsse auf das Messsystem wirken, können nur bestimmte Systeme eingesetzt werden. Bei der Glasbearbeitung beispielsweise hat man es mit sehr viel Wasser zu tun, das zur Kühlung des Bearbeitungswerkzeugs verwendet wird. Die optischen oder kapazitiven Messsysteme reagieren sehr empfindlich bei Feuchtigkeit. Demzufolge scheiden diese bei derartiger Anwendung aus und es kommen nur induktive und magnetische Lösungen in Frage.



Das dritte entscheidende Kriterium ist der Preis. So kann es bei bestimmten linearen Systemen teuer werden, wenn eine längere Strecke mit der Messsensorik ausgestattet werden muss. Zum Vergleich: magnetische Maßstäbe sind ca. 60% günstiger als optische Maßstäbe.

Wenn es um Motorfeedback geht, spielen in erster Linie die genannten Punkte eine Rolle. Doch auch Aspekte wie die passende Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Motor und Regler auszuwählen, wie auch die Frage, ob das System ein inkrementelles oder ein absolutes sein muss, sollten bei der Auswahl einer Motorfeedbacklösung im Vorfeld geklärt werden. Bei einem inkrementellen System sollte berücksichtigt werden, dass beim Einschalten der Betriebsspannung eine Referenzposition angefahren werden muss, damit der Motor gezielt von einer festgelegten Stelle an beginnen kann zu fahren. Bei absoluten Messsystemen ist diese Referenzfahrt nicht erforderlich. Bei Systemen für rotative Anwendungen spielt es eine Rolle, dass der maximale Durchmesser der Welle Einfluss auf die Wahl des geeigneten Messverfahrens nimmt.

Grundsätzlich haben sich aufgrund des technischen Fortschritts im Bereich der Reglertechnik auch andere Anforderungen z. B. an die Präzision von Motorfeedbacklösungen ergeben. Moderne Regler sind heutzutage in der Lage, mit kosteneffizienten Systemen so zu arbeiten, dass die Motoren bereits weitgehend in absoluter Laufruhe arbeiten. Das war vor rund 15 Jahren noch nicht der Fall. Dennoch ist die Entscheidung für ein bestimmtes System immer noch sehr stark anwendungsorientiert.

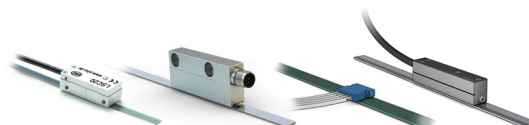




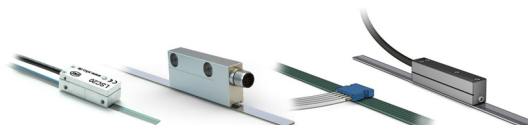


Abbildung 3: Moderne Controllerlösungen: unerlässlich für effiziente Lösungen in der Antriebstechnik

### 3 Technologien offener Messsysteme für Motorfeedback

Zu Erfassung des Motorfeedbacks werden vorwiegend offene Messsysteme ohne Kapselung oder mechanische Kopplung an die Antriebe verwendet. Denn mit offenen Systemen lässt sich die Auslegung des Maßstabs flexibel handhaben. Bei geschlossenen Systemen sind Maßstab und Sensorik eine Einheit und dadurch weniger anpassungsfähig. Bei offenen Systemen können jedoch Stäube und Feuchtigkeit nur mit hohem Aufwand ferngehalten werden. Beispielsweise werden Dichtlippen einbaut, die das Eindringen von Schmutz verhindern, oder Verschmutzungen im laufenden Betrieb mit Druckluft abgesaugt. Diese Vorkehrungen nehmen wiederum Einfluss auf die Kosten für das gewählte Verfahren.

Bei Anforderungen mit sehr hoher Präzision wie etwa bei Hochleistungswerkzeugmaschinen sind sie jedoch unabdingbar.



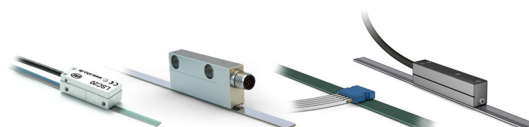
Alle vier in diesem Whitepaper beschriebenen Systeme können als offene Systeme ausgelegt werden. Die magnetischen, kapazitiven und induktiven gelten zudem als berührungslose Systeme, bei denen kein Kontakt zwischen Maßstab und Sensorik erforderlich ist. Dadurch können sie nahezu verschleißfrei eingesetzt werden. Auch die optischen Verfahren funktionieren im Prinzip berührungslos – mit einer Ausnahme: Optische Sensorik basierend auf Glasmaßstäben verfügt indirekt über eine Führung und einen mechanischen Schutz und ist somit nicht zu 100 Prozent berührungs- bzw. kontaktlos.

Im Folgenden werden vier Messsysteme für Motorfeedbacklösungen hinsichtlich ihrer Funktionsweise beschrieben und die Vor- und Nachteile in Bezug auf mögliche Anwendungen beleuchtet.

### **3.1 Optische Systeme**

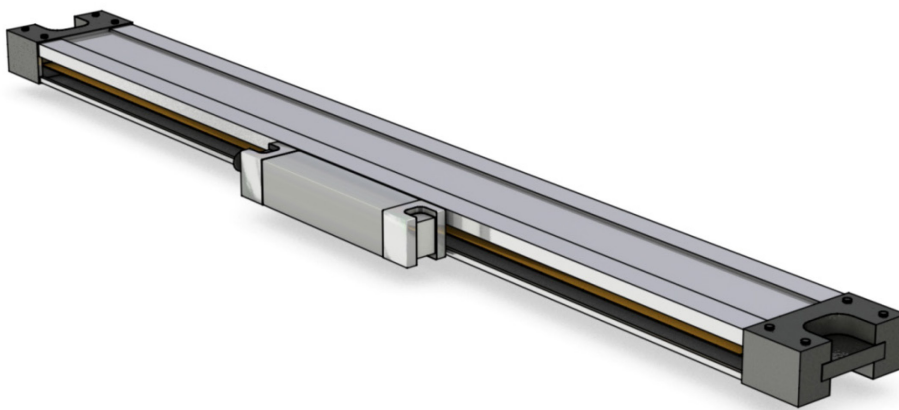
#### **3.1.1 Glasmaßstab sowie Auflicht- und Lasertechnik im Vergleich**

Bei den optischen Systemen unterscheidet man zwischen Systemen basierend auf Glasmaßstäben sowie auf der Auflicht- bzw. Lasertechnik. Bei der laserbasierten Technik werden Informationen auf einem optischen Maßband mithilfe des Talbot-Effekts ausgewertet. Die Helligkeitsverteilung ist gitterförmig in definierten Abständen angeordnet. Hinter dem Sensorkopf wird ebenfalls eine Gitterstruktur aufgebracht. Dieses Gitter wird von monochromen Wellen bestrahlt, sodass man hinter dem Gitter eine breitere Lichtverteilung erhält. Die Positionswerte werden als digitale Zählimpulse (A, B, R) an die Nachfolgeelektronik weitergegeben.

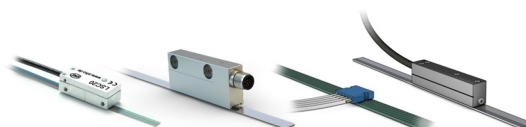


Die laserbasierten Systeme verwenden i.d.R. ein dünnes Metallband als Maßstab. Das Besondere ist hierbei, dass der Maßstab so flexibel ist, dass er aufgewickelt bzw. gerollt werden kann. Das ist ein Vorteil im Vergleich zu den Glasmaßstäben, bei denen der Glasträger – wenn auch mechanisch fragil –starr ist. Er wird geschützt in einem Profil aufgebracht und ist somit nicht biegsam. Der Sensorkopf wird über die Skala am Glasmaßstab geführt und liest diese ab.

Der Glasmaßstab hat dagegen den Vorteil, dass er sehr präzise ausgelegt werden kann. Es können Messgenauigkeiten von mindestens 3 Mikrometer oder deutlich besser erreicht werden. Die Mikrometerabweichung pro Meter Messlänge ist bei den Glasmaßstäben über die gesamte Länge sehr gering. Sie kommen daher überwiegend bei kürzeren Messlängen zum Einsatz. Für Strecken von mehreren Metern wird es aufwändig und damit teuer, die langen Stäbe aus Glas zu transportieren. Ein weiterer nachteiliger Aspekt der Glasmaßstäbe: Sie können mechanischen Einflüssen wie Schock und Vibration weniger gut standhalten. Es besteht dabei die Gefahr, dass der Maßstab zerbricht und das komplette Messsystem Schaden nimmt. Unter diesen Bedingungen ist für das Messsystem ein Schutz gegenüber Schock- und Vibrationsbelastungen notwendig.



**Abbildung 4: Hochpräziser Glasmaßstab mit geführtem Sensorkopf**

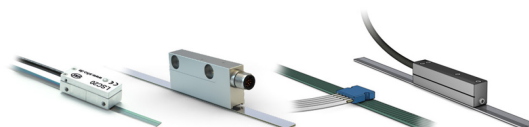


### 3.1.2 Vor- und Nachteile der optischen Systeme

Der wichtigste Vorteil der optischen Maßstäbe ist die hohe Präzision und die feine Auflösung. Die Genauigkeit eines optischen Sensors liegt etwa bei  $\pm 5$  Mikrometern, die Auflösung bei 0,05 Mikrometern. Die kleinste Gitter- oder Maßstabsteilung, ein relevantes Kriterium für die Genauigkeit, beläuft sich bei den optischen Systemen in der Regel auf 20 Mikrometer. Das ist der kleinste Messschritt, der auf dem Maßstab aufgebracht ist. In der Elektronik werden die Werte dann interpoliert und auf eine kleinere Teilung heruntergerechnet, die dann im nachfolgenden Regler verarbeitet wird. Mit den optischen Systemen können eine hohe Dynamik, schnelle Verfahrgeschwindigkeiten, gepaart mit der Anforderung an Präzisionsspezifikationen wie Genauigkeit, Wiederholgenauigkeit und hohe Auflösung erreicht werden.

Ein weiterer Vorteil der optischen Systeme liegt in der Unempfindlichkeit gegenüber magnetischen Störeinflüssen. Beim Einsatz von Linearmotoren beispielsweise treten elektromagnetische Felder auf, die die Positionswerte magnetischer Sensoren beeinflussen können. Doch der magnetische Fremdeinfluss der Linearmotoren ist nur dann kritisch, wenn Sensorkopf und Maßband zu nah am Motor angebracht sind. Abhilfe schaffen ein definierter Sicherheitsabstand zwischen Sensor und Motor oder eine Abschirmung. Dies ist in der Regel dann möglich, wenn die Platzverhältnisse ausreichend konzipiert sind.

Darüber hinaus sind die optischen Messsysteme empfindlicher gegenüber Einflüssen aus der Umgebung wie Staub, Späne, Öle oder Fette. Auch Temperaturschwankungen und hohe Luftfeuchtigkeit, die eine Betauung auf den Codestreifen nach sich zieht, können die optischen Systeme beeinträchtigen. Um Schmutz und Feuchtigkeit von der Sensorik fernzuhalten, müssten aufwändige Schutzgehäuse implementiert werden, die wiederum den Preis für das Messsystem erhöhen.

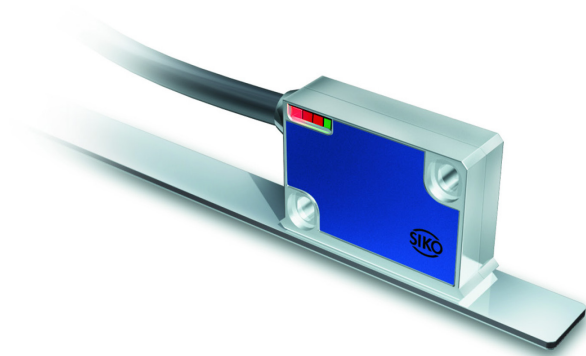


Hinsichtlich der Kosten kann man grundsätzlich sagen, dass die optischen Sensoren teurer sind als beispielsweise die magnetischen. Die Kosten eines optischen Sensors sind etwa doppelt so hoch wie die eines magnetischen Sensors. Der Preis von optischen Maßbändern ist um das zwei- bis zweieinhalbfache teurer als der von magnetischen Bändern.

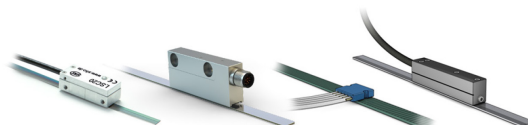
## 3.2 Magnetische Systeme

### 3.2.1 Technologie der magnetischen Systeme

Bei den magnetischen Messsystemen verfährt der Sensor berührungslos über ein Magnetband, das auf eine wenige zehntel Millimeter starke Stahlträgerschicht aufgebracht ist. Die Magnetisierung des Maßstabs erfolgt mit definierten Polteilungen. Das bedeutet, dass über das Abtasten der Magnetpole ein Signal erzeugt wird, das in digitale Signale umgewandelt wird. Diese werden von einer Nachfolgeelektronik verarbeitet. Die Sensorik erkennt die Teilung des Bandes und wandelt die Information hochauflösend in eine Weginformation um.



**Abbildung 5: Seit Jahren bewährte Lösung zur Positionserfassung linearer und rotativer Direktantriebe: Hochauflösend inkrementaler Magnetsensor von SIKO MagLine**



### 3.2.2 Sonderanwendung bei Portalantrieben

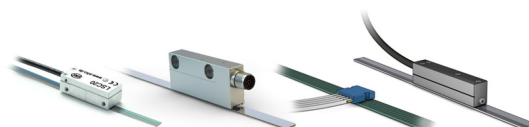
Portalantriebe werden z.B. mit sehr langen Linearmotoren umgesetzt, mit der Anforderung möglichst schnell von einem Punkt zum anderen zu fahren. Die Anforderung an die Genauigkeit und Präzision sind nicht allzu groß. Dennoch gibt es bei den Portalantrieben eine Besonderheit. Die Firma SIKO bietet als einziger Anbieter für magnetische Motorfeedbacklösungen die Möglichkeit, die Magnete des Motors über eine bestimmte Länge aufgereiht als Maßstab zu verwenden. Mit einer eigens dafür entwickelten Sensorik kann hier die Motorleiste als Maßstab verwendet werden. Der Vorteil für den Kunden besteht darin, dass er keinen zusätzlichen Maßstab benötigt und sich dadurch Kosten spart. Einzige Einschränkung: Es gibt hier keine Lösung von der Stange. Das System muss immer explizit angepasst werden.

### 3.2.3 Vor- und Nachteile der magnetischen Systeme

Magnetische Sensoren sind gegenüber Verschmutzung, Ölen und Feuchtigkeit resistent. Ein magnetischer Maßstab funktioniert z. B. auch in einem Ölbad. Ein Einsatzspektrum, das auch bei den induktiven Systemen denkbar wäre.

Da die Magnetsensorik zudem relativ stabil bei mechanischen Einwirkungen wie Schock und Vibration funktioniert, eröffnet sich dem Anwender ein breites Feld an Einsatzmöglichkeiten, z. B. für Anlagen und Systeme im Außenbereich oder bei Werkzeugmaschinen. Die robuste magnetische Messtechnik eignet sich sogar für extreme Anwendungsbereiche wie der Stein- oder Glasbearbeitung. Ein weiterer Vorteil ist die flexible Handhabung der Magnetbänder: Der Anwender kann das Band als Rollenware auf Lager legen und selbst konfektionieren.

Bei den magnetischen Maßstäben erfolgt die Codierung des Maßstabs mit verhältnismäßig groben Strukturen. Das erlaubt zum Teil relativ große Leseabstände bis zu mehreren Millimetern. Mit anderen Systemen ist dies nicht möglich. Bei den optischen Systemen beispielsweise ist die Gitterstruktur sehr klein ausgeführt und der Abstand zwischen Maßstab und Sensorkopf darf nur ein paar Zehntel Millimeter betragen.



Die induktive Technologie lässt im Wesentlichen Maßstabsteilungen mit einem Millimeter zu. Auch hier ergeben sich Leseabstände von ein paar Zehntel Millimetern. Aufgrund des Messprinzips ist hier eine verhältnismäßig großvolumige Leseelektronik erforderlich. Bei den magnetischen Systemen können die Leseköpfe hingegen etwas kleiner sein.

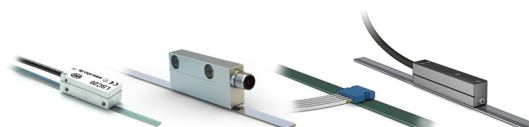
Im Vergleich zu den optischen Systemen verfügen die magnetischen grundsätzlich über eine niedrigere Absolutgenauigkeit, Auflösung und Wiederholgenauigkeit. Ein magnetischer Sensor kann zudem durch magnetische Störquellen von außen beeinflusst werden – ein Nachteil in Bezug auf die Messgenauigkeit.

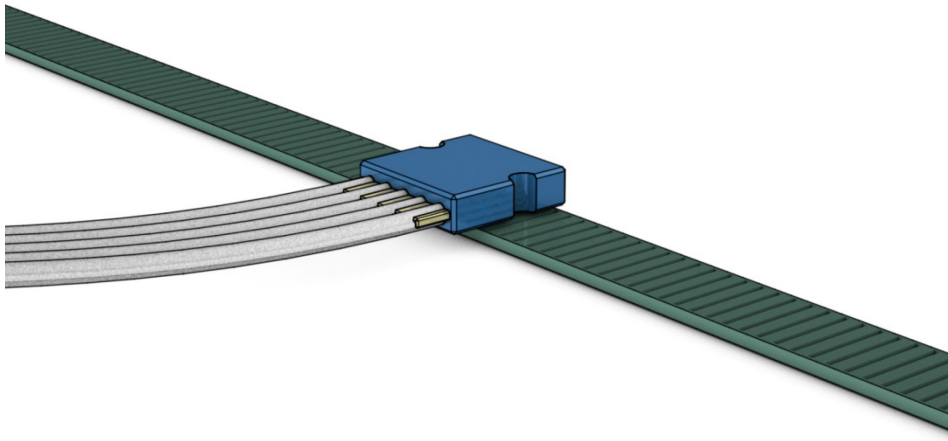
### **3.3 Kapazitive Systeme**

#### **3.3.1 Technologie kapazitiver Systeme**

Das kapazitive Messprinzip ist mit einem Kondensator vergleichbar. Das System basiert auf zwei sich relativ zueinander veränderbaren Platten. Die Veränderung der Position erzeugt dabei ein elektrisches Signal, das wiederum zur Positionsermittlung verwendet wird. Der Maßstab besteht dabei aus einem PCB.

Die kapazitiven Systeme werden aufgrund ihrer Bauart in der Regel rotativ für Torquemotoren eingesetzt. Aber auch lineare Anwendungen sind realisierbar, wobei die Länge der Massstäbe prinzipbedingt eingeschränkt sind. Sie kommen vor allem im Handlingsbereich zum Einsatz, wo konstante Bedingungen vorherrschen.



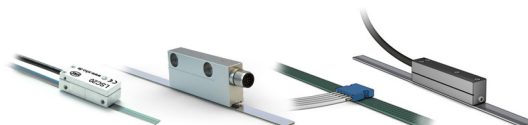


**Abbildung 6: Kapazitiver Maßstab in kleiner, kompakter Bauform**

### 3.3.2 Vor- und Nachteile kapazitiver Systeme

Bei den kapazitiven Systemen steht die Kostenfrage im Vordergrund. Sie haben den Vorteil, dass das Material sehr günstig ist. Die kapazitive Sensorik ist auch deshalb ideal, weil sie von der Bauform her exakt auf bestimmte, vor allem rotative, Motortypen passt. Dieser Aspekt ist allerdings auch einschränkend für den Einsatz dieser Systeme, da sie somit fixiert auf ein paar wenige Bauformen sind. Preislich lassen sich sowohl mit den induktiven als auch mit den magnetischen Systemen sehr einfach vergleichbare Lösungen anbieten. Bei den optischen Systemen ist es allerdings schwieriger, rotative Motorwellen mit optischen Maßstäben zu versehen. Dieser Aufwand würde sich einem unverhältnismäßig höheren Preis niederschlagen.

Der gravierende Nachteil kapazitiver Systeme ist, dass sie sehr feuchteempfindlich sind. Einige Einsatzgebiete, bei der beispielsweise für die Kühlung der Werkzeuge Wasser oder Kühlflüssigkeit eingesetzt werden muss, schließen die kapazitive Sensorik somit aus.





### 3.4 Induktive Systeme

#### 3.4.1 Technologie induktiver Systeme

Bei den induktiven Systemen sind die Maßstäbe so beschaffen, dass eine Struktur eingätzt wird – in etwa vergleichbar mit den optischen Systemen. Auf diese Weise entstehen feine Strukturen, die in ein Stahlband eingätzt sind. Die Maßstäbe lassen sich ähnlich lang wie die magnetischen ausführen. 30 bis 70 Meter aufgewickelte Maßstäbe sind machbar. Die Elektronik funktioniert so, dass der Sensor über mehrere kleine Spulen verfügt. Die Spulen werden mit Strom beaufschlagt und durch das Wandern über diese Felder bzw. Schlitze wird die Charakteristik der Spulenströme verändert. Daraus wird die relative Bewegung bzw. die Position errechnet.

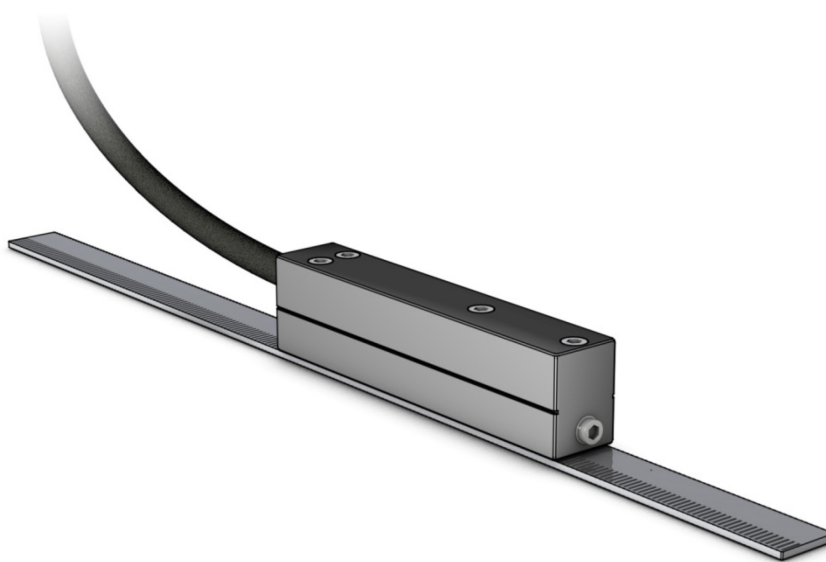
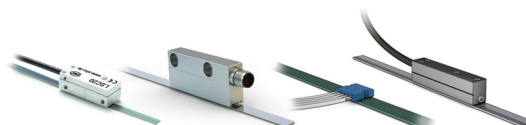


Abbildung 7: Induktive Messsysteme vereinen Präzision, hohe Auflösung und Wiederholgenauigkeit



### 3.4.2 Vor- und Nachteile induktiver Systeme

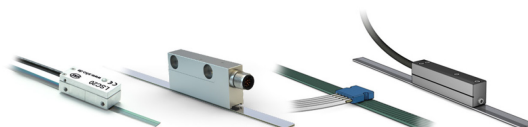
Die Spezifikation hinsichtlich Genauigkeit und Auflösung ist bei magnetischen und induktiven Messsystemen nahezu vergleichbar. Die induktiven Systeme haben einen entscheidenden Vorteil: sie sind unempfindlicher gegenüber externen magnetischen Feldern. Das ist eines der Hauptargumente für die induktiven Messsysteme.

In Bezug auf den Preis kann man sagen, dass das induktive System in der Regel teurer ist als das magnetische. Die Elektronik der induktiven Lösungen gestaltet sich in Bezug auf die Hardware aufwendiger. Bei den Maßstäben ist der Preis in etwa vergleichbar.

### 3.5 Tabellarische Übersicht und Gegenüberstellung der Systeme

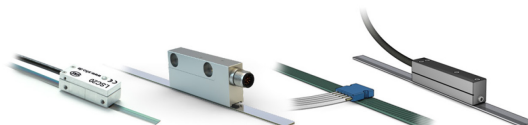
Jedes der vier genannten Systeme zeigt seine Vor- und Nachteile konkret auf die jeweilige Anwendung bezogen. Die Kriterien wie Präzision, Belastbarkeit und Preis bestimmten die Auswahl für ein optisches, magnetisches, kapazitives oder induktives System.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die zentralen Entscheidungsmerkmale.



**Tabelle 1: Beispielhafte Übersicht mit Auswahlkriterien für Motorfeedbacklösungen, basierend auf flexiblen Maßstäben**

		Optisches Messsystem	Magnetisches Messsystem	Kapazitives Messsystem	Induktives Messsystem
Präzision	<i>Absolutgenauigkeit</i>	hohe Systemgenauigkeit $\pm 2 \mu\text{m}$ und besser	Systemgenauigkeit $\pm 10 \mu\text{m}$	Systemgenauigkeit max. $\pm 25 \mu\text{m}$	hohe Systemgenauigkeit $\pm 3 \mu\text{m}$
	<i>Wiederholgenauigkeit</i>	sehr hohe Wiederholgenauigkeit	Wiederholgenauigkeit max. $\pm 1 \mu\text{m}$	Wiederholgenauigkeit $1 \mu\text{m}$	sehr hohe Wiederholgenauigkeit
	<i>Auflösung</i>	sehr hohe Auflösung $0,2 \mu\text{m}$ und feiner	niedrigere Auflösung max. $0,2 \mu\text{m}$	sehr hohe Auflösung $0,02 \mu\text{m}$	sehr hohe Auflösung $0,25 \mu\text{m}$ und feiner
Belastbarkeit	<i>Mechanische Einflüsse wie Schock und Vibration</i>	Empfindlich	Robust	relativ Robust	Robust
	<i>Einflüsse aus der Produktionsumgebung</i>	empfindlich bei Staub, Späne, Öle oder Fette sowie Temperaturschwankungen und hoher Luftfeuchtigkeit	stabil bei äußeren Einflüssen	sehr empfindlich bei Feuchtigkeit	stabil bei äußeren Einflüssen
	<i>Magnetische Einflüsse</i>	unempfindlich	sensibel (Sicherheitsabstand einhalten)	unempfindlich	unempfindlich
Wirtschaftlichkeit		relativ teure, weil hochpräzise Lösung	preislich ähnliches Niveau wie kapazitive Messsysteme	Preisvorteil aufgrund geringer Materialkosten	hinsichtlich der Elektronik teurer als magnetische Messsysteme



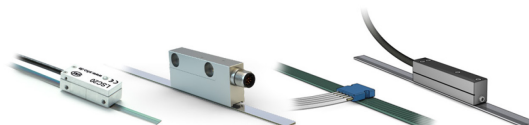
## 4 Anwendungsgebiete

Bei der Auswahl eines passenden Messsystems kommt es darauf an, die Anforderungen an die Präzision und die Wahrscheinlichkeit, dass externe Bedingungen darauf Einfluss nehmen, abzuwägen und in Einklang zu bringen. Darüber hinaus hängt die Entscheidung für ein optisches, magnetisches, induktives oder kapazitives System auch von wirtschaftlichen Faktoren ab. Im Folgenden werden Anwendungsbeispiele anhand dieser Kriterien vorgestellt.

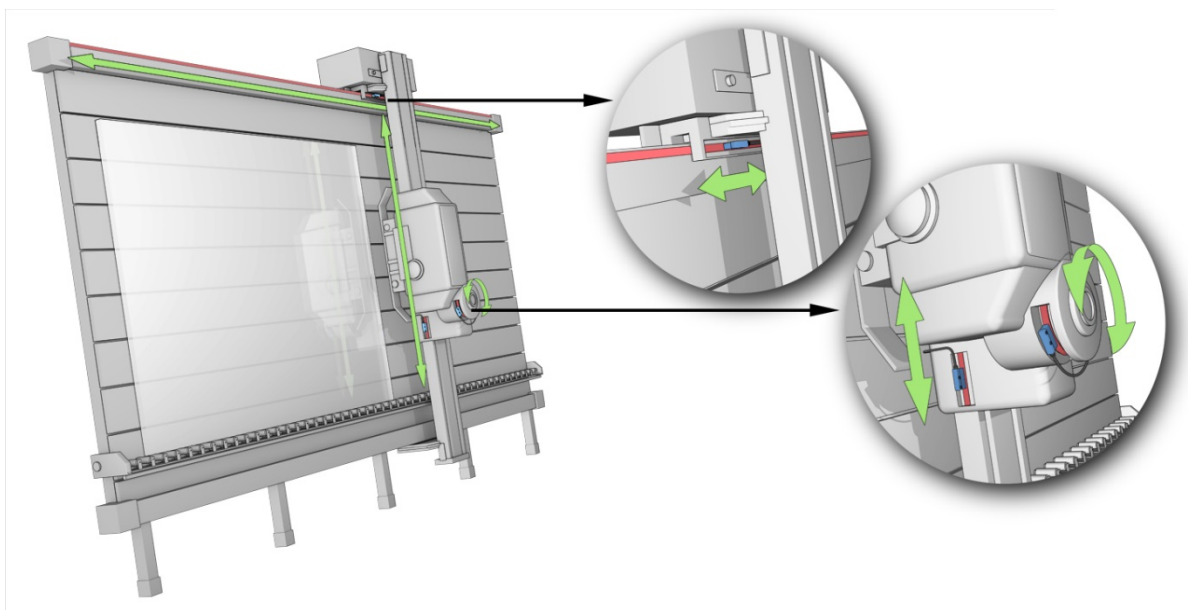
### 4.1 Handlingsautomation

Bei der Handlingsautomation sind die Anforderungen zum Teil sehr unterschiedlich. Wenn kleine Bauelemente auf einer Leiterplatte mit einer hohen Wiederholgenauigkeit im hundertstel Millimeter-Bereich über Tausende von Pads platziert werden, sind die Anforderungen deutlich höher als in der Robotertechnik. Dort werden Bewegungen von einer Stelle zu anderen ausgeführt, die mehrere Meter überwinden sollen.

Ein Beispiel aus der Automatisierung im Elektronikbereich ist die Konfektionierung von Smartphones in hohen Stückzahlen. Eine hohe Anzahl von Komponenten muss dabei sehr schnell und kosteneffizient montiert werden. Die PCB-Leiterplatten sind schon bestückt, die einzelnen Komponenten müssen aber noch zusammengeführt werden. Hier können Automaten eingesetzt werden, die Anforderungen an die Positionierung im Zehntel-Millimeter-Bereich erfüllen. Die Montagezuführung mit Wiederholgenauigkeit und Präzision von einem Zehntel-Millimeter sind vollkommen ausreichend. Es besteht folglich eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass induktive oder magnetische Systeme zu Einsatz kommen. Denn eine extrem hohe Präzision wie bei den optischen Systemen ist dort nicht notwendig.



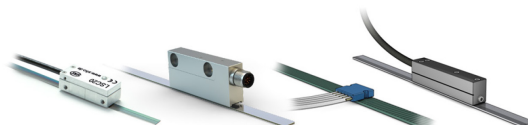
Bei der Handlingsautomation am Beispiel der Abfülltechnik kommt es darauf an, dass etwa beim Abfüllen von Mineralwasser in PET-Flaschen ein gewisses Maß an Feuchtigkeit auftritt. Systeme wie die optischen oder kapazitiven, die dadurch beeinträchtigt werden, kommen hier eher nicht in Frage. Bei der Verpackungstechnik wie der Kartonagenbearbeitung fällt hingegen immenser Staub an, der sich auf den Maßstäben absetzen könnte. Die optischen Systeme müssten zwangsläufig gereinigt werden, die kapazitiven und magnetischen nicht.



**Abbildung 8: Lineare Direktantriebe mit magnetischen Motorfeedbacklösungen im Einsatz an Glasbearbeitungszentren**

## 4.2 Bearbeitungssysteme

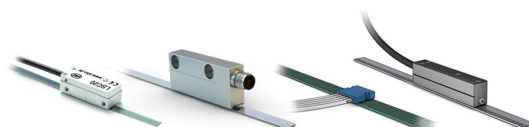
Zu den Bearbeitungssystemen gehört beispielsweise die CNC-betriebene Holzbearbeitung. Es werden dort unter anderem Konturen gefräst, um Strukturen in einer Türe oder einem Möbelstück zu erhalten. Durch das Bearbeiten der Werkstoffe aus Holz oder Holzverbundstoffen entsteht Staub, was die induktiven oder magnetischen Systeme in den Vordergrund rückt.



Dieses Szenario passt analog auch zu Systemen in der Steinbearbeitung oder Glasbearbeitung. In der Fensterfertigung arbeitet man mit relativ langen Linearmotoren, um die Werkzeuge schnell zwischen den Bearbeitungsstationen zu transportieren.

Dort ist eine hohe Dynamik und schnelles Verstellen der Achsen notwendig, was das magnetische System unter diesen Einsatzbedingungen prädestiniert.

Ein weiteres Beispiel sind sogenannte Nutzentrenner. Hierbei wird ein relativ großer Leiterplatte-Nutzen, auf der viele kleine Leiterplatten aufgearbeitet sind, in kleinere Einheiten gefräst. In der Regel sind das einige Dutzend kleine PCBs, die mit Stegen an der Hauptplatine gehalten werden. Auch hier wird durch das Fräsen sehr viel Staub produziert. Somit sind auch hier in der Regel die Systeme der magnetischen Messtechnik im Einsatz, weil sie sehr robust gegenüber diesen Einflüssen sind. Zum anderen sind magnetische Messsysteme sehr kompakt und somit für diese Art kleiner Anlagen ideal geeignet. Induktive Systeme würden mehr Platz benötigen und kommen daher weniger in Frage.

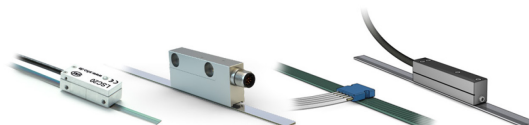




**Abbildung 9: Auch bei Anwendungen mit sehr starken Verschmutzungen sind Motorfeedbacklösungen auf magnetischer Basis problemlos einsetzbar**

### 4.3 Robotertechnik

In der Robotertechnologie sind fast alle Systeme möglich. Die Roboterarme sind in der Regel gekapselt und enthalten Torquemotoren kleiner bis mittlerer Baugröße. Die Auswahl hängt von der Spezifikation der Anwender ab.



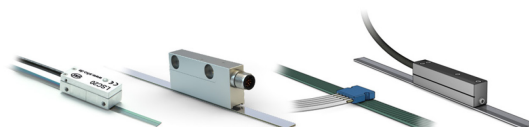


**Abbildung 10:** Kundenspezifische, sehr kleine und kompakte Bauformen magnetischer Systeme ermöglichen die Integration z.B. in Robotergelenke

#### 4.4 Pick-and-Place

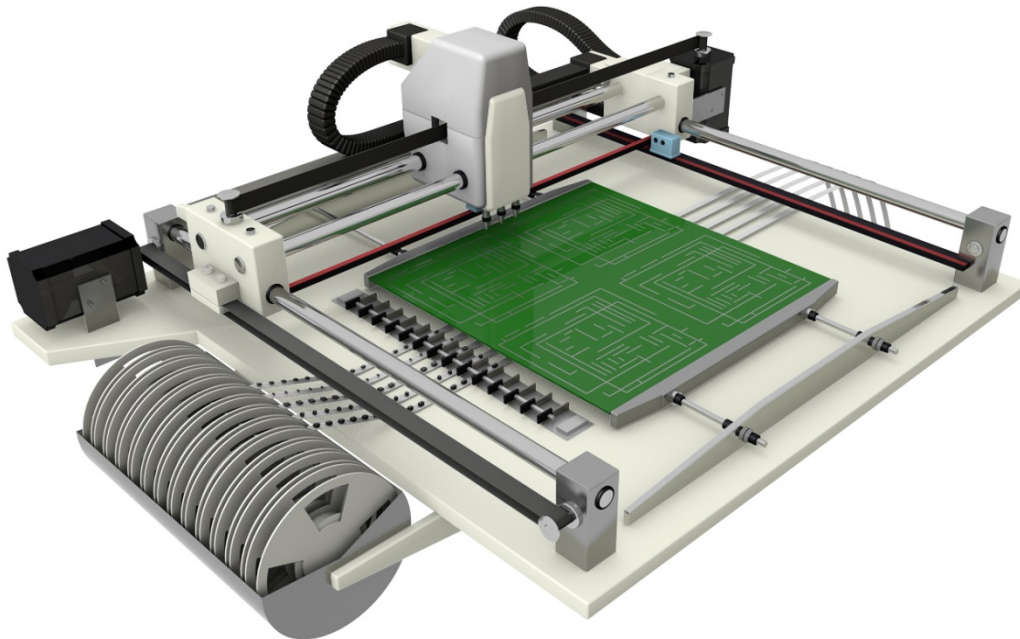
Eine hohe Präzision ist bei der automatischen Bestückung von Leiterplatten gefragt. Die Bauelemente wie Widerstände, Kondensatoren und Mikrochips müssen exakt auf der PCB-Platte positioniert werden, bevor sie gelötet werden. Vorrangig kommen hier optische und induktive Systeme zum Einsatz.

Wenn die Packungsdichte allerdings nicht sehr hoch ist und wirtschaftliche Aspekte eine Rolle spielen, können auch andere Messsysteme wie die magnetische Messtechnik eingesetzt werden. Zwar sind die Bauelemente, mit denen Leiterplatten bestückt werden, sehr klein und müssen im Bestückungsautomaten präzise geführt und positioniert werden,





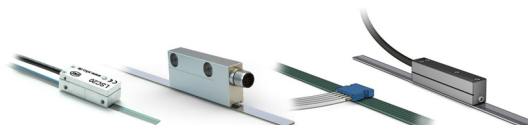
doch je nach Anforderung an die Genauigkeit kann ein magnetischer Sensor ausreichend sein.

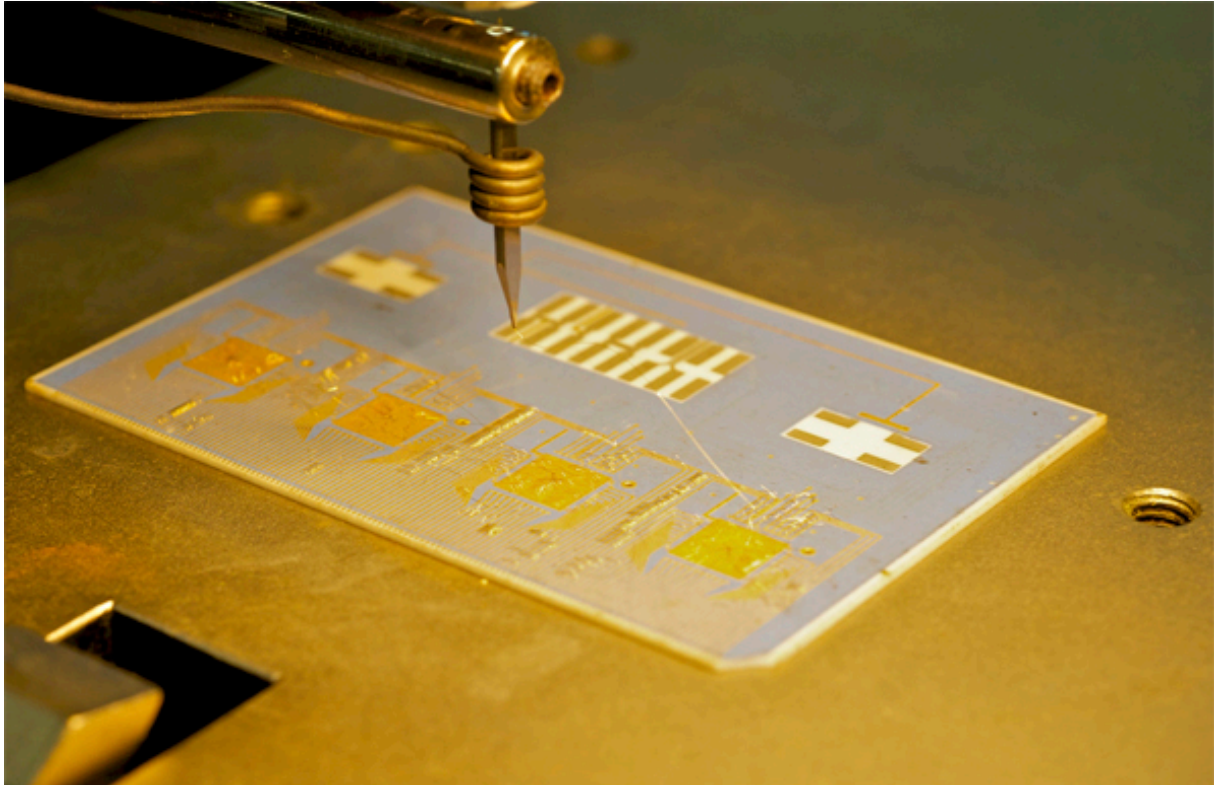


**Abbildung 11: Pick-and-Place Anlage bestückt mit Linearantrieben und magnetischen Maßstäben zur Positionserfassung**

#### 4.5 PCB-Bearbeitung

Die optischen Sensoren kommen auch in Fertigungsmaschinen und Inspektionsmaschinen in der Halbleiterindustrie zum Einsatz. Unter Reinraumbedingungen werden hier beispielsweise Chips mit Gold- oder Aluminiumdrähten kontaktiert. Bei integrierten Schaltkreisen wird die Funktion der elektronischen Bauelemente oberflächennah ca. 1 Mikrometer tief integriert. Ein Prozess, der absolute Präzision und damit den Einsatz optischer Sensoren erfordert, die zu 100 Prozent hysteresefrei sind.

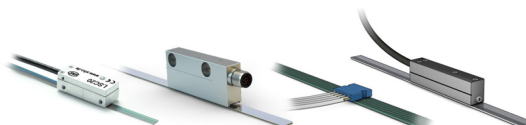




**Abbildung 11: Hochpräzise Positionieraufgaben, wie z.B. an Wire-Bondern, werden i.d.R. mit optischen Messsystemen gelöst**

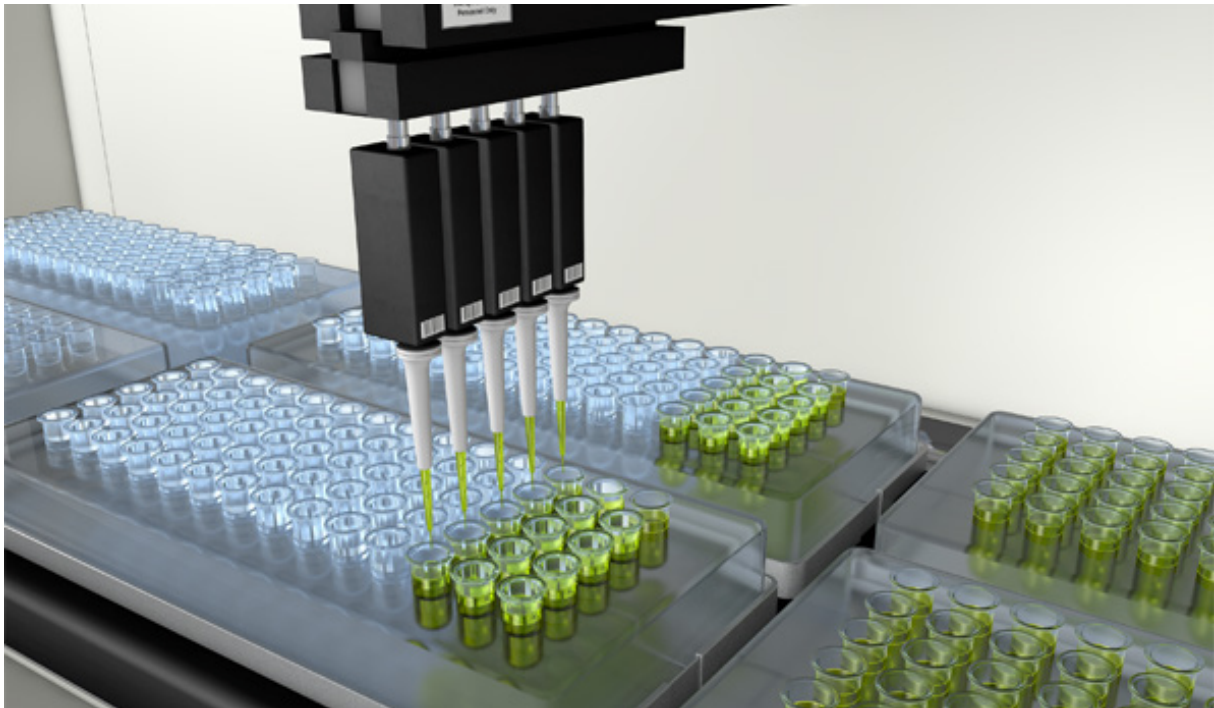
#### **4.6 Analyse- und Medizintechnik**

In der Medizin- und Analysetechnik entscheiden die Genauigkeitsanforderungen über den Einsatz eines geeigneten Messsystems. Bei der Positionierung von Patientenliegen im Computer Tomographen (CT) kann z. B. die magnetische Messtechnik für die Einstellung der Höhe, Neigung und Lage verwendet werden. Auch die Röhre des CT – ein großer Torquemotor mit einem Hohlwellendurchmesser von 800 Millimetern oder mehr – kann mit einem Magnetsenor versehen sein. Die Absolutgenauigkeit spielt hierbei eine untergeordnete Rolle, wegen der hohen Dynamik beim Scannen des Patienten kommt es hier mehr auf

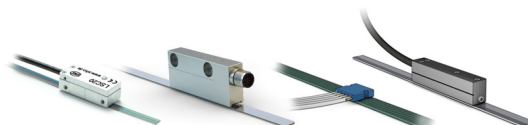


schnelle Reproduzierbarkeit und hohe Wiederholgenauigkeit an.

Hohe Anforderungen an die Wiederholgenauigkeit werden dagegen in der Analysetechnik an das Messsystem gestellt. Im Bereich Liquidhandling sind z.B. magnetische Systeme implementiert. Hier geht es darum, dass Pipettier-Roboter Flüssigkeiten aus Proben-Vorratsbehältern in sehr genauen und kleinen Mengen in hoher Geschwindigkeit aufnehmen, transportieren und wieder abgeben. Die einmal abgefahrene Position darf beim nächsten Mal nur in geringfügiger Abweichung angefahren werden, denn die einzelnen Proben befinden sich in unmittelbarer Nähe zueinander.



**Abbildung 13: High-Speed-Pipettier-Anlagen, bestückt mit absolut messenden magnetischen Motorfeedbacklösungen**



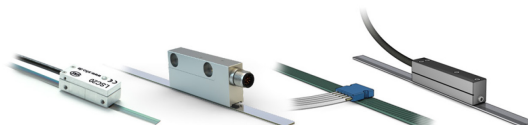
## 5 Fazit

Die optischen Systeme sind im Vergleich zu den magnetischen Systemen wie auch den induktiven und kapazitiven Systemen am längsten auf dem Markt und in vielen Anwendungen per se das verwendete System zu Erfassung des Motorfeedbacks. Zudem gilt bei der Auswahl eines geeigneten Längenmessverfahrens, dass optische Messverfahren immer dann Vorrang haben, je genauer die Messung sein muss.

Die neueren Systeme sind somit vor allem in Anwendungen, die weniger Anforderungen an die Präzision stellen, eine echte Alternative – hauptsächlich aus wirtschaftlichen Gründen. Vergleicht man die optischen mit den magnetischen Systemen bezogen auf die Kosten so lässt sich Folgendes feststellen: Je länger die Gesamtlänge der zu messenden Einheit ist, desto stärker wirkt sich der Preisvorteil der magnetischen gegenüber der optischen Lösung aus. Stellt man die neueren Technologien gegenüber, kommen die Vorteile der magnetischen Messtechnik im Vergleich zu den kapazitiven oder induktiven ebenfalls in Bezug auf wirtschaftliche Aspekte zum Tragen. Die kapazitiven Systeme sind aufgrund geringer Materialkosten preislich etwas attraktiver als die magnetischen, jedoch kommen sie hinsichtlich ihrer Robustheit nicht an die magnetischen heran. In Einsatzgebieten, in denen mit einem gewissen Maß an Feuchtigkeit zu rechnen ist, können kapazitive nur mit aufwendigen und teuren Schutzgehäusen implementiert werden.

Wenn die Einflüsse aus der Produktionsumgebung sehr groß sind und mit Belastungen durch Schock, Vibration, Schmutz oder Schmiermitteln zu rechnen ist, kommen die optischen Systeme aufgrund ihrer mechanischen Fragilität und Empfindlichkeit in den meisten Fällen nicht zum Einsatz. Die geringe Anfälligkeit der magnetischen gegenüber Verschmutzungen durch Späne und Schmierstoffe hat hierbei deutliche Vorteile gegenüber den früher fast ausschließlich eingesetzten optischen Glasmaßstäben. Eine wesentliche Stärke des optischen Systems liegt wiederum in der magnetischen Unempfindlichkeit, die sie für Anwendungen im Bereich der Lineartechnik oftmals prädestiniert.

In die Entscheidung für eine Motorfeedbacklösung basierend auf optischer, magnetischer,





kapazitiver oder induktiver Messtechnologie fließen mehrere Faktoren ein: Die Anforderung an die Präzision (Auflösung, Absolut- und Wiederholgenauigkeit), an die Empfindlichkeit gegenüber magnetischen Störfeldern und gegenüber Einflüssen durch Umgebungsbedingungen sowie an wirtschaftliche Aspekte. Die jeweilige Messtechnik-Lösung orientiert sich dabei ganz konkret an der Anwendung und den spezifischen Erfordernissen an die Messaufgabe.

Die Firma Siko hat sich seit 1963 als Messtechnik-Anbieter für unterschiedliche Aufgaben wie Längen-, Winkel- und Drehzahlmesstechnik sowie das Messen von Neigung oder Geschwindigkeit etabliert. Die optischen und magnetischen Motorfeedbacklösungen von Siko decken sowohl Anwendungsgebiete unter rauen Umgebungs- und Produktionseinflüssen ab wie auch anspruchsvolle Messaufgaben mit hoher Präzision.

#### **Ansprechpartner:**

SIKO GmbH  
Weihermattenweg 2  
79256 Buchenbach  
[www.siko-global.com](http://www.siko-global.com)

#### **Produktbereich MagLine**

**Andreas Wiessler**  
Bereichsleiter MagLine  
Tel.: +49 7661 394-358  
E-Mail: [andreas.wiessler@siko.de](mailto:andreas.wiessler@siko.de)

