

WHITEPAPER

WEG- UND
WINKELMESSUNG

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	3
2 Verfahren und Technologien für Wegmessungen	4
2.1 Abstandsmessende Lasersensoren	4
2.2 Abstandsmessende Ultraschallsensoren.....	5
2.3 Induktive Wegmessung auf kurze Distanzen.....	6
2.4 Zeilenkameras/Laser-Zeilensensoren: Wegmessung über große Objektbereiche.....	7
2.5 Lichtgitter: Detektion großer Objekte aus weiten Distanzen.....	9
2.6 Inkrementale optische Wegmessung	10
2.7 Seilzuggeber: Besonders einfache Wegmessung	11
2.8 Mechanischer Sensor: Weil taktil manchmal besser ist	11
3 Verfahren und Technologien für Winkelmessungen	13
3.1 Neigungssensoren – besonders einfache Montage.....	13
3.2 Magnetische Winkelsensoren – sehr variabel bei der Montage	14
4 Verfahren und Technologien für Weg- und Winkelmessungen	16
4.1 Magnetische Messsysteme: sehr dynamisch, präzise, schnell und robust	16
4.2 Parametrierbare Drehgeber: schnelle Reaktionen bei hohen Drehzahlen.....	17
5 Übersicht über Technologien zur Weg- und Winkelmessung.....	18
6 Zusammenfassung und Fazit	20
7 Applikationsbeispiele	22
7.1 Füllstandkontrolle durch kleinste Öffnungen	22
7.2 Bündelung verschiedener Signale zu einem Ergebnis	23

1 EINLEITUNG

Weg- und Winkelmessungen sind in nahezu jedem Industriebereich zu finden, denn sie spielen eine zentrale Rolle bei der präzisen Erfassung bspw. von Längen, Positionen, Füllständen und Drehbewegungen, um nur einen kleinen Ausschnitt zu nennen. Ob nun in der Fertigung, Robotik, Automatisierung oder Qualitätssicherung – genaue Messwerte sind eine wesentliche Grundlage für effiziente Prozesse, hohe Produktqualität und die sichere Steuerung von Maschinen. Mithilfe verschiedener Messprinzipien lassen sich mit Ausnahme von abstandsmessenden Füllstandkontrollen sowohl lineare als auch rotatorische Bewegungen erfassen, wodurch Weg- und Winkelmesssysteme letztendlich ein unverzichtbares Bindeglied zwischen mechanischen Abläufen und digitaler Steuerungstechnik bilden.

Wege und Winkel ermitteln ist vor diesem Hintergrund keineswegs trivial. Wer sich die Fülle an potenziellen Einsatzmöglichkeiten für entsprechende Lösungen anschaut, erkennt meist die gesamte Komplexität, die mit den unterschiedlichsten Aufgaben verbunden sind.

Hier nur wenige Beispiele für Wegmessungen: Überwachung und Steuerung von Verkehrswegen in der Automatisierung und Logistik, Positionierung von Werkzeugen an Maschinen und Anlagen, Durchmesserkontrolle von Coils, Überwachung von Einpress- und Fügevorgängen, Kontrolle von Füllständen und Abständen in Tanks oder Behältern, und, und, und.

Die Einsatzbereiche bei der Winkelmessung sind gleichfalls breitgefächert: Positionserkennung und Steuerung in automatisierten Prozessen, Überwachung von Anlagen für Biegeprozesse, Kontrolle von Kippvorrichtungen in der Metallbearbeitung, Positionierung und Nivellierung von mobilen Bau-, Arbeits- und Landmaschinen, Justierung von Werkzeugen und Maschinenachsen, etc.

Genau jetzt stellt sich im Grunde die Frage, wie angesichts der Fülle an möglichen Einsatzbereichen immer die richtige und damit optimale Technologie für die Weg- und/oder Winkelmessung ausgewählt werden kann? Hinzu kommt, dass in vielen Applikationen auch noch ganz bestimmte Eigenschaften von den entsprechenden Lösungen erwartet werden, z. B. unempfindlich gegenüber Schmutz, Feuchtigkeit, Temperatur und Vibrationen, hohe Präzision und Reichweiten, hohe Dynamik und Verfahrensgeschwindigkeiten, Messungen unabhängig von den Materialeigenschaften, hohe Flexibilität, einfache Integration, problemlos zu installieren, einfach zu bedienen, und, und, und.

Dieses Whitepaper stellt verschiedenste Verfahren sowie Geräte zur Weg- und/oder Winkelmessungen von ipf electronic vor und kann somit eine erste Orientierung für die Auswahl einer geeigneten Technologie für eine spezifische Applikation geben. In diesem Zusammenhang wird noch deutlich, dass es mitunter auch weniger bekannte Ansätze für die Erfassung von Weg und Winkel gibt, die hier ebenfalls gezeigt werden.

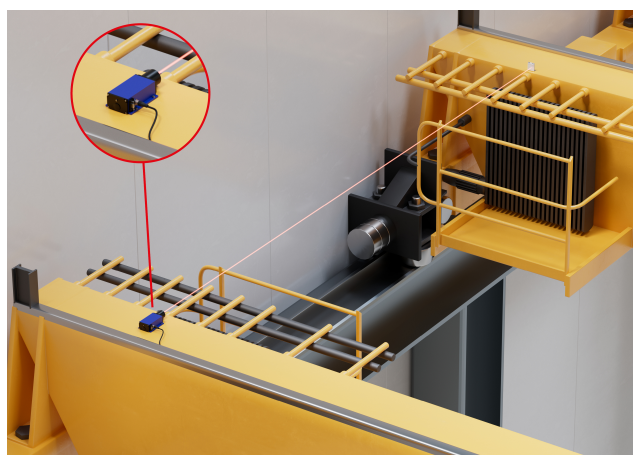
2 VERFAHREN UND TECHNOLOGIEN FÜR WEGMESSUNGEN

Für Wegmessungen bietet ipf electronic eine große Bandbreite an verschiedensten Gerätetechnologien an, z. B. Lasersensoren, Ultraschallsensoren, induktive Sensoren, Lichtgitter, Zeilenkameras, Seilzuggeber oder inkrementale optische Sensoren, um einen kleinen Eindruck zu vermitteln. Nachfolgend werden die einzelnen Lösungen vorgestellt und ihre Funktionsweise im Hinblick mögliche Einsatzfelder beschrieben.

2.1 ABSTANDSMESSENDE LASERSENSOREN

Lasersensoren sind hochpräzise, was im Allgemeinen bekannt ist. Die Geräte von ipf electronic ermöglichen darüber hinaus auch hohe Reichweiten und sind zudem sehr robust. Die Sensoren arbeiten entweder nach dem Phasenvergleichsprinzip oder dem Triangulationsverfahren.

Bei der Phasenvergleichsmessung senden Sensoren wie der **PT23**, **PT73**, **PT90** oder **PT98E294** einen mit einer bestimmten Frequenz modulierten Lichtstrahl aus, der eine periodische Wellenform erzeugt. Der von einem Objekt reflektierte Lichtstrahl trifft phasenverschoben auf den Empfänger des Lasertasters. Die Phasenverschiebung (Differenz zwischen gesendeter und empfangener Lichtwelle) hängt unmittelbar von dem Weg des zurückgelegten Lichts ab und wird in ein Analogsignal (4...20mA, 0...10V) zur Wegmessung gewandelt.



Kollisionsüberwachung einer Kranbahn an einem Brückenkran mit einem **PT90** (Reichweite bis 35.000mm).
(alle Bilder: ipf electronic gmbh)

Sensoren wie der **PT34**, **PT44** und **PT64** funktionieren nach dem hochgenauen Triangulationsverfahren. Hierbei wird der Abstand zu einem Objekt indirekt über den Einfallswinkel des von der Objektoberfläche reflektierten Lichts gemessen. Zur Bestimmung des Einfallswinkels hat der Empfänger des Tasters einen CCD-Zeilendetektor mit einer Vielzahl einzelner Empfangselemente, die zusammengenommen eine Empfängerzeile bilden. Die Position innerhalb dieser Zeile, an der das von einer Materialoberfläche reflektierte Licht auf ein Empfangselement bzw. mehrere Empfangselemente trifft, ist abhängig vom Einfallswinkel des Lichtstrahls. Der Einfallswinkel wird schließlich bewertet und in ein abstandsproportionales Analogsignal ausgegeben.

Die hier vorgestellten Lasersensoren eignen sich ideal, wenn Wegmessungen mit sehr feinen Auflösungen gefragt sind. Die Messungen können nahezu unabhängig von Form, Farbe, Struktur und Oberfläche des zu detektierenden Materials vorgenommen werden. Die Geräte von ipf electronic unterscheiden sich zudem von den weit verbreiteten konventionellen Sensoren in diesem Bereich durch besondere Merkmale. Hierzu gehören Reichweiten bis zu 150m (**PT90** mit Reflektor) und eine absolut zuverlässige Funktionsweise selbst unter besonders erschwerten Einsatzbedingungen, wie sie etwa in der Schwerindustrie vorherrschen. So integriert bspw. der **PT98E294** eine Staubfalle für die Optik.



Abstandmessende Lasersensoren: der PT98E294, PT64, PT23 und PT44 (von links).

Zu den potenziellen Anwendungen dieser hochpräzisen Sensoren gehören u.a. die Kollisionsüberwachung von Kranbahnen an Brückenkränen, die Bauteilpositionierung in automatisierten Fertigungsstraßen, die Positionierung von Robotern in automatisierten Applikationen, Messungen auf schwierigen Oberflächen, z. B. glühenden Metallteilen, Aluminiumschmelzen, etc., hochgenaue Messungen von Materialdicken, -breiten und -durchmessern sowie die Ovalitätskontrolle von Rohren.

2.2 ABSTANDSMESSENDE ULTRASCHALLSENSOREN

Ultraschallsensoren von ipf electronic wie der **UT189023**, **UT129021** oder **UT309023** bieten sich vor allem für berührungslose, verschleißfreie Wegmessungen an, wenn hohe Distanzen zu bewältigen sind oder Materialien mit eher schwierigen Oberflächen detektiert werden sollen.

Die Funktionsweise von Ultraschallsensoren basiert auf dem Echo-Laufzeit-Verfahren. Die Geräte integrieren hierzu einen Schallwandler, der zyklisch Schallwellen aussendet. Anschließend schaltet der Sensor auf Empfang, um die von einem Material reflektierten Wellen bzw. Schallechos zu erfassen. Die Laufzeit des zurückgelegten Schalls zwischen Sender und Empfänger ist proportional zum Abstand des Sensors zu einer Materialoberfläche und resultiert in der Ausgabe eines Analogsignals.



Präzise Abstandsmessungen an einer Klarsichtfolie unter beengten Platzverhältnissen mit einem Ultraschallsensor und Umlenkblech.

Ultraschallsensoren von ipf electronic überzeugen durch hohe Reichweiten von bis zu 6.000mm und erkennen selbst transparente sowie dünne Objekte wie bspw. Folien äußerst zuverlässig. Auch Messungen durch kleinste Öffnungen, wie z. B. Reagenzgläser, sind durch den Einsatz eines Schallreduzieraufsatzes, der den Ultraschall zusätzlich fokussiert, möglich (siehe Applikationsbeispiel am Ende des Whitepapers). Die Geräte sind meist problemlos in Umgebungen mit hoher Schmutzbelastung oder Rauchentwicklung einsetzbar, wobei die Messbereichseinstellung einfach per Teach-In erfolgt. Geräte mit IO-Link-Schnittstelle lassen sich außerdem flexibel konfigurieren.

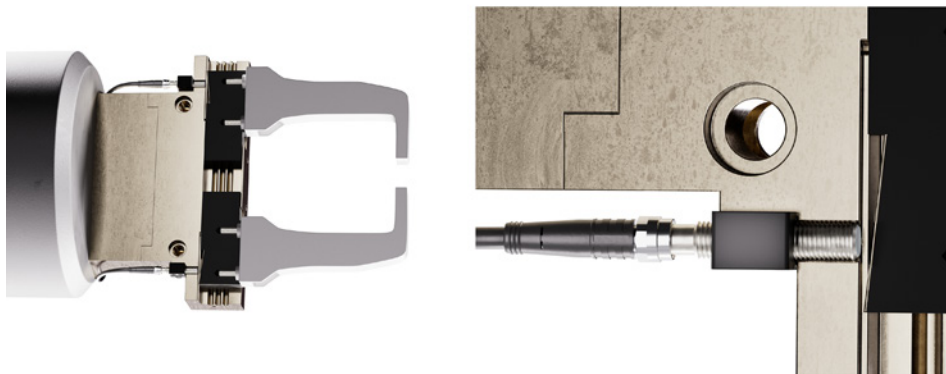
Die Einsatzfelder sind angesichts dieser Merkmale besonders breitgefächert: z. B. sichere Messungen an transparenten Gläsern oder durchsichtigen dünnen Folien, die Füllstandkontrolle in Silos oder Zisternen, die Schlaufenregelung an Haspeln, die Regelung von Bandzügen und Höhenabtastungen in Produktionsanlagen oder die Kollisionskontrolle und Navigation fahrerloser Transportsysteme (FTS).



Ultraschallsensoren von ipf electronic, darunter ein Gerät mit einem Schallreduzieraufsatz (unten) zur Fokussierung der Schallkeule für Messungen durch kleinste Öffnungen.

2.3 INDUKTIVE WEGMESSUNG AUF KURZE DISTANZEN

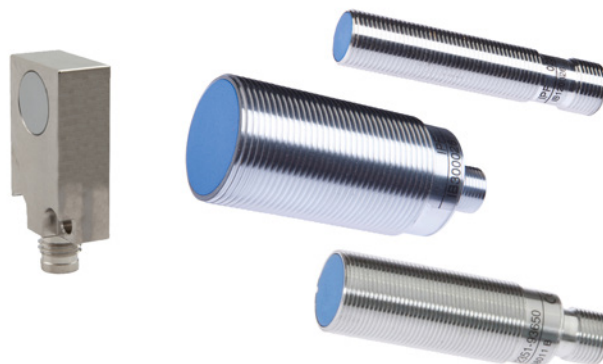
Induktive Sensoren (z. B. **IB120026**, **IB180026**, **IB300026** und **IB98C798**) von ipf electronic erkennen auf kurze Distanzen alle metallischen Objekte, ganz gleich, ob sie sich bewegen oder nicht. Herausragend ist sicherlich das enorme Durchhaltevermögen der sehr robusten und langlebigen induktiven Sensoren selbst in Umgebungen mit hohen Schmutzbelastungen, wie z. B. Staub, Öle, Schmierstoffe, etc.



Genauere Abfrage der Öffnungsweite eines Greifers mit einem induktiven Sensor.

Möglich werden diese hohen Standzeiten u.a. durch die spezielle Funktionsweise der induktiven Sensoren. Vereinfacht dargestellt, bestehen induktive Sensoren aus einer Spule unmittelbar hinter dem Sensorkopf, die Bestandteil eines Schwingkreises ist, gefolgt von der Auswerteelektronik und einer Endstufe beziehungsweise einem Verstärker. Die Schwingkreisspule hinter der aktiven Fläche des Sensors erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Nähert sich ein metallisches Objekt der aktiven Sensorfläche, werden in dem Objekt Wirbelströme induziert, die dem Schwingkreis Energie entziehen. Durch diese Beeinflussung des Schwingkreises lässt sich die Entfernung des Sensors zu einem Objekt ermitteln und in ein abstandsproportionales Analogsignal (4...20mA, 0...10V) ausgeben.

Induktive Sensoren von ipf electronic sind ideal für die zuverlässige, verschleißfreie Wegmessung an allen beweglichen und stationären metallischen Objekte unter rauesten Einsatzbedingungen mit hoher Schmutzbelastung oder starken Vibrationen. Hierbei können auch größere Messbereiche von 4mm bis 20mm abgedeckt werden.



Verschiedene Ausführungen von induktiven Sensoren, darunter ein quaderförmiges Gerät.

Erfahrungsgemäß werden die Lösungen von ipf electronic u.a. sehr häufig für die Abfrage der Öffnungsweite von Greifern, zur Einpresskontrolle von Bauteilen, zur Wegmessung und Abfrage der Drehrichtung z. B. von Kodierscheiben oder zur Positionierung z. B. von Werkstücken oder Bauelementen genutzt.

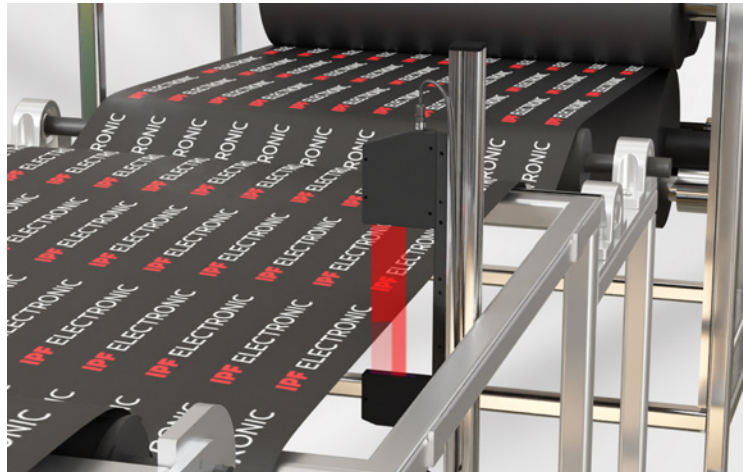
2.4 ZEILENKAMERAS/LASER-ZEILENSENSOREN: WEGMESSUNG ÜBER GROSSE OBJEKTBEREICHE

Laserzeilen-Sensoren als Einweglichtschranken mit Sender (**PS75**) und Empfänger (**PE75**) sind aufgrund des sichtbaren Rotlichts einfach zu installieren und liefern hohe Auflösungen (0,008mm) für hochpräzise Wegmessungen. Die Zeilenkamera **PYSI0317** hat ein C-Mount-Objektivanschluss. Durch die Wahl eines geeigneten Objektivs sind in Kombination mit einer LED-Linienleuchte Wegmessungen über große Objektmessbereiche mit größeren Abständen möglich.

Zeilensensoren von ipf electronic erzeugen als Sender-Empfängersysteme eine Art Lichtvorhang mit einem sehr homogenen linienförmigen Lichtstrahl. Befindet sich bspw. eine Materialbahn im Erfassungsbereich von Sender und Empfänger, wird ihr Schattenbild auf dem Zeilendetektor des Empfängers abgebildet. Der Abdeckungsgrad bzw. die Größe des Schattenwurfs gibt Aufschluss über die jeweilige Position des erfassten Objektes. Die Größe des Schattenwurfs ist somit unmittelbar abhängig von der Bewegung des Objektes in den Lichtstrahl hinein. Die Veränderung des Schattenwurfs wird für hochpräzise Wegmessungen zur Ausgabe eines Analogsignals herangezogen. Die Sender-Empfängersysteme erzielen Reichweiten bis 2.000mm.

Die Funktionsweise der Zeilenkameras von ipf electronic ist vergleichbar. Als Gegenele-

ment (Sender) für die Kamera mit der CCD-Empfängerzeile wird jedoch eine linienförmige Leuchte verwendet. Zeilenkameras arbeiten demnach wie Zeilensensoren abdeckungsproportional. Die Veränderung des Schattenwurfs auf dem Zeilendetektor der Kamera lässt sich daher für hochgenauen Wegmessungen ebenfalls in entsprechende Analogsignale ausgeben.



Sichere Bahnkantenregelung aus größerer Distanz mit einem Sender/Empfängersystem (PS75/PE75).

Laserzeilen-Sensoren oder Zeilenkameras empfehlen sich für die hochgenaue Überwachung größerer Bahnkantenbereiche. Sender-/Empfängersysteme werden aufgrund ihrer hohen Präzision u.a. für die Bahnkantenregelung von dünnen Materialbahnen eingesetzt. Ein weiterer Vorteile solcher Systeme ist in diesem Zusammenhang, dass genaue Messergebnisse selbst bei Höhenschwankungen von Bahnkanten, etwa bedingt durch eine geringe Materialspannung im Fertigungsprozess, erzielt werden.



Zeilenkamera (links) und Laser-Zeilensensoren PE75 (Empfänger) sowie PS75 (Sender).

Potenzielle Einsatzbereiche solcher Geräte sind z. B. verschleißfreie Wegmessungen selbst an dünnen Materialbahnen wie Stoffen, Folien, Papier etc. oder die sehr exakte Bahnkantenregelung sowie die Durchmesserermittlung von Coils, um nur wenige Beispiele zu nennen.

2.5 LICHTGITTER: DETEKTION GROSSER OBJEKTE AUS WEITEN DISTANZEN

An vielen Objekten ist aufgrund ihrer Dimensionen die Wegmessung mit herkömmlichen Sensorlösungen nur schwierig oder gar nicht möglich. Beispiele hierfür sind z. B. die Durchmesserkontrolle von Coils oder die Höhenmessung (Stapelhöhen) in Holzverarbeitenden Betrieben wie z. B. Sägewerke. Für solche und einer ganzen Reihe ähnlicher Aufgaben sind gewissermaßen die Lichtgitter der Reihe **OY41002x** von ipf electronic zuständig. Angesichts flexibel wählbarer Feldhöhen (Messbereich) und Auflösungen (abhängig von der jeweiligen Anzahl der Lichtstrahlen) sind diese Lichtgitter für die zuverlässige Erfassung besonders großer Objekte über weite Distanzen prädestiniert.



Sichere Höhenkontrolle von Paletten mit OSB-Platten mit einem Lichtgitter der Reihe **OY41002x**.

Als Sender-Empfänger-Systeme senden Lichtgitter einzelne Lichtstrahlen anstelle eines homogenen linienförmigen Lichtstrahls wie die im Kapitel 2.4 beschriebenen Laserzeilen-Sensoren. Die Abdeckung bzw. Unterbrechung des Lichtstrahls führt zu einer über ein Analogsignal darstellbaren Weginformation.

Lichtgitter der Reihe **OY41002x** ermöglichen Messbereiche von 75mm bis 2010mm, wobei sich die Auflösungen der Systeme (von 1mm bis 25mm) durch die jeweilige Anzahl von Lichtstrahlen ergeben. Überzeugen können die Lichtgitter außerdem durch sehr hohe Reichweiten, die je nach Ausführung bis zu 8m betragen.



Die Lichtgitter der Reihe **OY41002x** sind für verschiedene Messbereiche mit unterschiedlichen Auflösungen erhältlich.

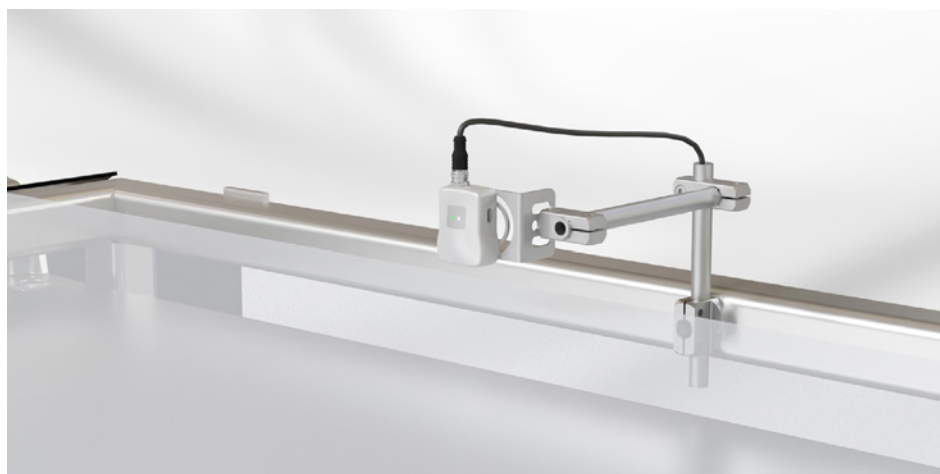
Einsatzbereiche für Lichtgitter wie z. B. die Kontrolle von Coil-Durmessern in der Metallverarbeitung oder Höhenmessungen in der Holzindustrie wurden bereits zu Beginn dieses Kapitels genannt. Aber auch die Bestimmung von zulässigen Fahrzeughöhen etwa in Waschstraßen, an Einfahrten oder Laderampen, die Überwachung der Geschwindigkeit an Förder- und Transportbändern sowie die Abstandsmessung von Objekten in automatisierten Prozessen liefern weitere gute Beispiele für die Vielseitigkeit der Lichtgitter von ipf electronic.

2.6 INKREMENTALE OPTISCHE WEGMESSUNG

Eine vergleichsweise neue Funktionsweise hat der inkrementale optische Sensor **VO33** von ipf electronic, die sich u.a. bei Objekten mit sehr unterschiedlichen Materialoberflächen als äußerst nützlich erweist. Darüber hinaus lässt sich der **VO33** mit einer kostenfreien Software parametrieren, wodurch das Gerät dem Trend zu multifunktionaler Sensorik folgt.

Ein im Sensor integrierter, mit Infrarotlicht arbeitender Sender (Laserklasse 1) sendet periodisch Lichtimpulse aus, die von einer Objektoberfläche reflektiert werden. Ein Fotosensor im Gerät empfängt die Reflexionssignale und erfasst hierbei die Pixeländerungen, die sich von Aufnahme zu Aufnahme aufgrund der unter dem Sensor bewegenden Objektoberfläche ergeben. Anhand diesen Pixeländerungen lässt sich u.a. die zurückgelegte Wegstrecke eines Objektes berührungslos und somit ohne Schlupf erfassen.

Ist der inkrementale optische Sensor während des Betriebs mit einem PC verbunden, kann über die kostenfreie Software auch die Verfahrgeschwindigkeit eines Objektes ermittelt werden. Zusätzlich verfügt der **VO33** über einen Drehgeberausgang, der zwei um 90 Grad phasenversetzte Rechtecksignale A/B liefert. Mithilfe dieser Ausgänge kann z. B. einer Steuerung der Fahrweg zur Verfügung gestellt werden. Ein weiterer Schaltausgang bietet zudem die Möglichkeit, für eine vordefinierte Distanz (z. B. alle 50mm) jeweils einen Nullpunkt zu parametrieren, um bspw. einen Zähler zurückzusetzen oder das Signal z. B. zur Ansteuerung eines automatisierten Zuschnitts von Bandmaterialien in einer SPS zu verarbeiten. Mit Blick auf eine hohe Prozesssicherheit ist der zweite Ausgang außerdem als Alarmausgang parametrierbar.



Berührungslose, schlupffreie und oberflächenunabhängige Wegmessung mit dem VO33.

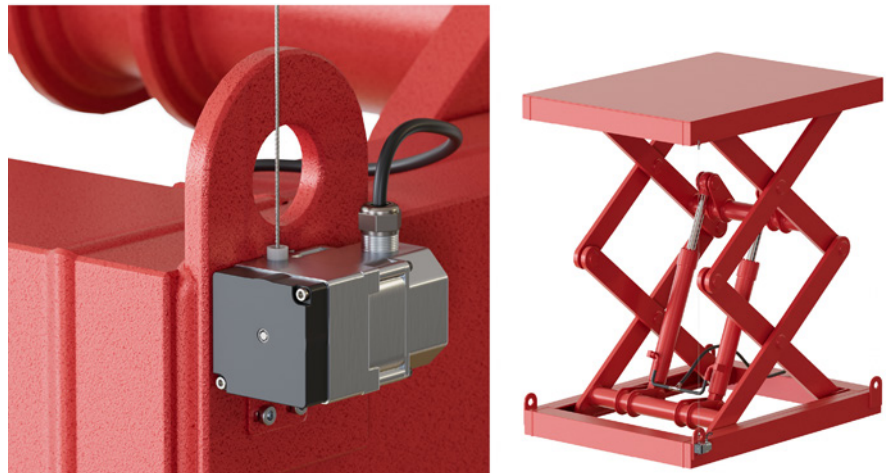
Aufgrund seiner speziellen Funktionsweise erfasst der **VO33** innerhalb einer Tastweite von 15 bis 60mm alle Objekte unabhängig von Material und Farbe. Aufgrund der hohen Abtastrate von 0,9ms kann der Sensor selbst Materialien in schnelllaufenden Prozessen detektieren. Durch die flexible Parametrierung mit der kostenfreien Software bietet das Gerät zudem weitere, für die Praxis nützliche Einsatzoptionen.

2.7 SEILZUGGEBER: BESONDERS EINFACHE WEGMESSUNG

Bereits auf den ersten Blick erschließt sich für Betrachter die Funktionsweise des Seilzuggebers **VS98** von ipf electronic. Das Gerät gehört damit zu den Lösungen, mit denen sich auf überaus unkomplizierte Art und Weise Wegmessungen realisieren lassen.

Im Gehäuse (Seilzugkörper) des Gebers befindet sich ein Seil mit Federrückstellung. Die Öse am Seilanfang wird einfach an ein Objekt befestigt. Bei Bewegungen des Objektes, wird das Seil aus dem Gehäuse gezogen. Anhand der abgewickelten Seillänge wird über ein Potentiometer schließlich die vom Objekt zurückgelegte Wegstrecke ermittelt und als Messwert (4...20mA) am Analogausgang ausgegeben. Das funktioniert im Übrigen auch „indirekt“, z. B. durch Führung des Seils über eine Umlenkrolle.

Der Seilzuggeber **VS98** ist ein Paradebeispiel für eine sehr einfache, zuverlässige absolute Wegmessung, die auch indirekt erfolgen kann, wobei die Messungen über eine Distanz von bis 1.500mm möglich sind. Weitere Eckdaten des **VS98** im robusten Zinkdruckgehäuse sind eine absolute Genauigkeit von 0,15mm und eine hohe Verfahrgeschwindigkeit von bis zu 1m/s.



Einfacher geht's nicht: Positionsmessung an einem Hubtisch mit einem Seilzuggeber.

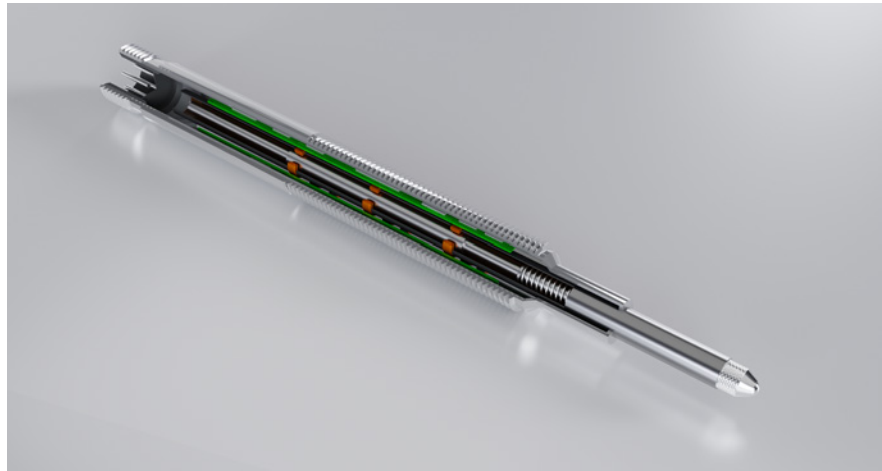
Potenzielle Einsatzbereiche der gleichermaßen einfachen wie sehr zuverlässigen Lösung ergeben sich bspw. bei der Überwachung der Gabelhubhöhe von Gabelstaplern, der Messung der Hubhöhe an vielen Transportmitteln mit Hebevorrichtungen, der Hubmessung an Teleskop- und Hydraulikzylindern, der Positionsmessung an Kranen, Hubwagen, Scherentischen oder Hebebühnen sowie der generellen Überwachung von allen erdenklichen Bewegungsprozessen.

2.8 MECHANISCHER SENSOR: WEIL TAKTIL MANCHMAL BESSER IST

Bislang wurden mit Ausnahme des Seilzuggebers ausschließlich berührungslos arbeitende Sensoren für Wegmessungen vorgestellt. Allerdings existieren eine Vielzahl an Applikationen, in denen nur mechanische Systeme mit taktilem Abfrage eines Objekts bei der Wegmessung zu den gewünschten Ergebnissen führen. Der mechanische Sensor **YM12** von ipf electronic hat eine besonders ausgefeilte Funktionsweise und bietet daher eine sehr robuste und präzise Lösung für eine Reihe solcher Aufgaben.

Der **YM12** arbeitet nach dem Prinzip eines Differentialtransformators (einer speziellen Form eines Transformators). Ein federnd gelagerter Messstab dient hierzu gleichzeitig als beweglicher Kern der symmetrisch zwischen zwei Sekundärspulen angeordneten Erreger-

spule. Sobald sich der Stab nicht mehr in seiner mittleren Stellung (0mm-Position) befindet, wird in einer der beiden benachbarten Sekundärspulen eine Spannung induziert, die über die Ausgabe eines Analogsignals (0...10V) eine Wegmessung ermöglicht.



Der **YM12** im Querschnitt: Der federnd gelagerte Messstab (Kern) mit der Erregerspule und den Sekundärspulen (rot).

Der **YM12** (Messbereich $\pm 5\text{mm}$) ist somit eine gleichermaßen robuste wie hochpräzise Lösung für alle Arten von mechanischen Wegmessungen mit einer Genauigkeit von $<0,1\text{mm}$. Das Edelstahlgehäuse integriert einen Stößel mit gehärteter Spitze und einer Schockfestigkeit bis 200g ($g = \text{Erdbeschleunigung von } 9,81\text{m/s}^2$). Aufgrund seines besonders hochwertigen Industriedesigns lässt sich Sensor auch unter sehr rauen Umgebungsbedingungen (z. B. Nässe, aggressive Chemikalien, erhöhte Temperaturen, etc.) einsetzen.



Taktile Montagekontrolle von Getriebebauteilen mit dem **YM12**.

Die Anwendungsbereiche des **YM12** finden sich überall dort, wo taktile Wegmessungen mit sehr hoher Genauigkeit gefragt sind, z. B. bei der Positionierung von Glasplatten, der Anwesenheitskontrolle von Dichtungen bspw. an Gehäusedeckeln oder bei der Abfrage und Positionierung von kleinen Bauteilen.

3 VERFAHREN UND TECHNOLOGIEN FÜR WINKELMESSUNGEN

Für reine Winkelmessungen bietet ipf electronic derzeit sowohl Neigungssensoren als auch magnetische Winkelmesssysteme an.

3.1 NEIGUNGSSENSOREN – BESONDERS EINFACHE MONTAGE

Neigungssensoren sollten möglichst einfach zu montieren und daher schnell einsatzbereit sein. Doch die Installation der Geräte unter Beachtung der Ausrichtung (Achse, Nullpunkt) erfordert in der Praxis oftmals einiges an Fingerspitzengefühl, wenn nicht gar zusätzliche Hilfsmittel, z. B. Wasserwaage, Laserausrichthilfen oder elektronische Nivellierer vor allem bei besonders präzisen Anwendungen. Ein Aufwand, der bei den Neigungssensoren der Reihe **YN58** von ipf electronic zur Erfassung des Neigungswinkels in X- und Y-Richtung entfällt.

Die Gründe hierfür sind bei den „inneren Werten“ der Sensoren zu finden, denn während der Montage visualisiert ein integriertes LED-Display den Neigungswinkel des Gerätes. Zusätzlich signalisieren um dieses Display angeordnete Fadenkreuz-LED, in welche Richtung (X- oder Y-Richtung) der Sensor momentan geneigt ist. Die Neigungssensoren der Reihe **YN58** sind daher mit Minimalaufwand sofort für den Einsatz bereit.



Einfache Montage und Ausrichtung: Die Neigungssensoren der Reihe **YN58** integrieren hierzu ein LED-Display sowie Fadenkreuz-LED.

Zur Messung der Neigungswinkel ziehen die Sensoren die Erdgravitation heran. Hierzu integrieren sie eine hochgenaue Beschleunigungsmesszelle (MEMS: mikroelektromechanisches System) und geben die Winkel entsprechend der jeweiligen Messachse bzw. Messachsen aus.

Ändert sich ein Winkel zur Erdgravitation, wird das von der Messzelle erfasst. Das entsprechend verarbeitete Signal wird linearisiert und über die beiden Analogausgänge (4...20mA) in einen Wert für die X- und Y-Achse als Winkelinformation ausgegeben.

Die Auflösung des Ausgangssignals beträgt 0,02°. Die Wiederholgenauigkeit liegt bei typ. 0,03° bzw. 0,1%. Für verschiedenste Einsatzbereiche werden die Sensoren mit unterschiedlichen Neigungswinkel-Messbereichen angeboten: von -10° bis +10°, von -45° bis +45° und von -85° bis +85°.



Neigungssensoren der Reihe **YN58** sorgen für eine präzise Ausrichtung des Anstellwinkels eines Kranauslegers und der Ausrichtung der Kranfahrzeuge im Gelände.

Das Einsatzbereiche der Reihe **YN58** sind vor diesem Hintergrund sehr vielfältig, z. B. zur kontinuierlichen Neigungskontrolle an mobilen Maschinen wie bspw. Bagger, Krane, Hebebühnen, Traktoren oder verschiedenste Baumaschinen, zur Überwachung des Anstellwinkels von Kranauslegern, zur sicheren Ausrichtung bzw. Nivellierung von Fahrzeugen und Maschinen im Gelände, zur Überwachung und Ausrichtung von PV-Anlagen sowie Windkraftanlagen, zur Optimierung von Landmaschinen z. B. für präzises Pflügen und Säen, zur Überwachung der Bewegung und Ausrichtung von Industrierobotern, und, und, und.

3.2 MAGNETISCHE WINKELSENSOREN – SEHR VARIABEL BEI DER MONTAGE

Bei den absolut messenden Winkelsensoren der Reihe **MD42002x** handelt es sich um sehr kompakte Geräte, die den gesamten Winkelbereich von 360° abdecken. Die Sensoren lassen sich selbst unter widrigsten Umgebungsbedingungen einsetzen. Ein weiterer Vorteil besteht zudem darin, dass die getrennte Montage von Geber und Sensor viele variable Montagemöglichkeiten eröffnet und die Geräte daher auch ideal für die einfache Integration in bereits bestehende Maschinenbaugruppen sind.

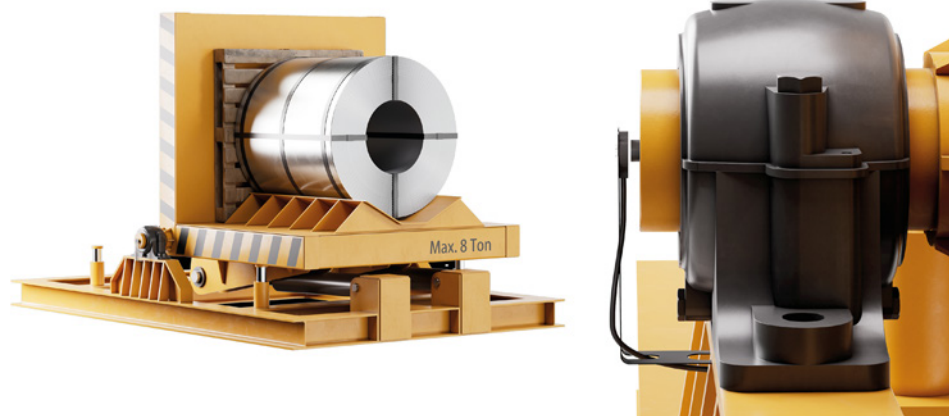
Wie bereits oben erwähnt, bestehen die Geräte aus zwei Hauptkomponenten: einem beweglichen Geber (Magnet) und einem stationären Sensor. Bezogen auf den Sensor ändert sich je nach Drehbewegung des Gebers die Feldlinienrichtung im Raum. Der fest montierte Sensor erfasst die Richtungsänderungen im Feldlinienverlauf, sodass sich die exakte Geberposition zum Sensor ermitteln lässt. Die entsprechend abgeleitete Winkelposition im Bereich von 0° bis 360° wird in ein analoges Strom- oder Spannungssignal (4...20mA, 1...10V) ausgegeben.



Die Winkelsensoren der Reihe **MD42002x** bestehen aus einem beweglichen Geber (links) und einem stationären Sensor (rechts) mit M12-Stecker.

Magnetische Winkelmesssysteme wie die Reihe **MD42002x** sind sehr unempfindlich gegenüber vielen Umgebungseinflüssen wie bspw. Schmutz, Staub, Feuchtigkeit oder Ölen und ermöglichen eine besonders einfache, variable Montage sowie Inbetriebnahme. Als Absolutwertgeber müssen die Geräte vor der Inbetriebnahme weder kalibriert noch referenziert werden, wobei der komplette Winkelbereich von 0° bis 360° abgedeckt wird.

Die Integration in bereits bestehende Industrieanwendungen ist daher problemlos, bspw. für die Positionskontrolle von Wendestationen etwa für schwere Drahtspulen, zur Kontrolle von Kippvorrichtungen in der Metallbearbeitung oder für vielfältige weitere industrielle Steuerungs- und Regelaufgaben.



Muss zum Beispiel der Anstellwinkel einer Coil-Kippstation überwacht werden, bietet sich hierzu ein platzsparender Winkelsensor der Reihe **MD42002x** an.

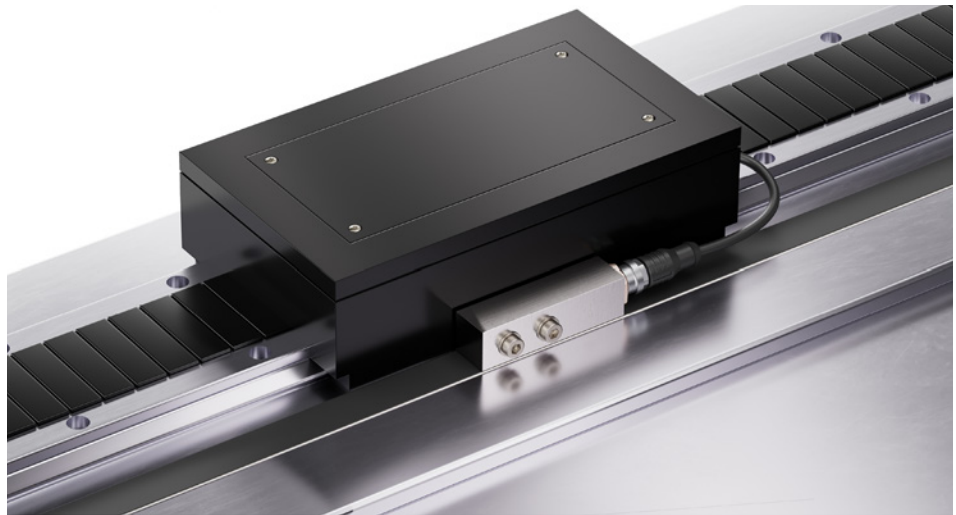
4 VERFAHREN UND TECHNOLOGIEN FÜR WEG- UND WINKELMESSUNGEN

Selbstverständlich gehören zum Portfolio von ipf electronic auch Geräte, die gleich beides beherrschen, also die Weg- und Winkelmessung. Das Angebot erstreckt sich über verschiedenste magnetische Systeme bis hin zu parametrierbaren Drehgebern.

4.1 MAGNETISCHE MESSSYSTEME: SEHR DYNAMISCH, PRÄZISE, SCHNELL UND ROBUST

Wenn eine Produktgruppe bei der Weg- und Winkelmessung das Prädikat „besonders vielseitig“ verdient, dann sind es magnetischen Messsysteme wie **MW10**, **MW11**, **MW20** und **MW09** von ipf electronic.

Die besonders strapazierfähigen Systeme werden vor allem für ihre hohe Dynamik und Verfahrgeschwindigkeiten geschätzt, wobei Lösungen wie der **MW09** durch ihre mobile Anzeige zudem ortunabhängig einsetzbar sind.



Hochgenaue Wegmessung an einer Lineareinheit mit einem magnetischen Messsystem von ipf electronic.

Magnetische Messsysteme von ipf electronic sind eine Kombination aus Magnetband bzw. magnetisiertem Messrad und Tastkopf (Sensor). Auf den Magnetbändern bzw. dem Umfang der Messräder wechseln sich Nord- und Südpole in exakter Polbreite ab. Der Sensor erfasst berührungslos die Magnetfelder (Feldlinien) der Nord- und Südpole und erzeugt hieraus ein hochauflösendes drehgeberähnliches Signal, entweder für genaue Wegmessungen oder über den Drehwinkel für exakte Winkelmessungen. Inkrementale Systeme wie Geräte der Reihen der **MW10**, **MW11** und **MW09** müssen für eine Positionsangabe referenziert werden. Bei Absolutwertgebern mit eindeutiger Abfolge von Nord- und Südpolen wie dem **MW20** ist das nicht notwendig.



Der mobil einsetzbare Inkrementalgeber **MW09**, z. B. für präzise Messungen von Längensschlag und Gehrungswinkel.

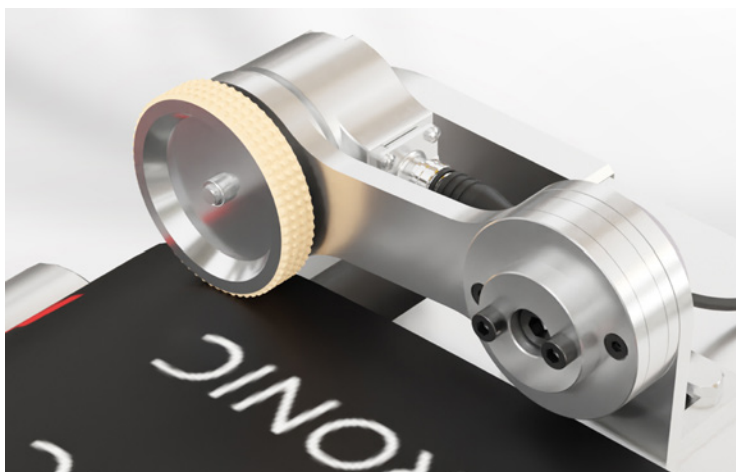
Die magnetischen Systeme von ipf electronic bieten alle Voraussetzungen für verschleiß- und somit schlupffreie Weg- sowie Winkelmessungen, wobei sich die Lösungen selbst in rauen Industrieumgebungen z. B. mit Schmutz und Feuchtigkeit bewähren. Die entweder als Absolutwertgeber oder Inkrementalgeber erhältlichen Systeme überzeugen im praktischen Einsatz vor allem durch hohe Verfahrgeschwindigkeiten von 25m/s und hohen Auflösungen bis 0,01mm. Eine Besonderheit im Portfolio von ipf electronic ist hierbei sicherlich der mobil einsetzbare Inkrementalgeber **MW09**.

Ob in Anlagen und Systemen der Holz- und Metallindustrie, als Bestandteil verschiedenster Anschlagssysteme, für Wegmessungen an Linearachsen, zur Einstellung und Justierung von Werkzeugen an Maschinen oder zur Ermittlung von Drehwinkeln an rotationssymmetrischen oder gewölbten Wellen, in Punkto Präzision gepaart mit Vielseitigkeit, dürften die magnetischen Wegmesssysteme von ipf electronic keine Wünsche offenlassen.

4.2 PARAMETRIERBARE DREHGEBER: SCHNELLE REAKTIONEN BEI HOHEN DREHZAHLN

Drehgeber eignen sich bekanntermaßen besonders für die Weg- und Winkelmessung. Die Geräte von ipf electronic sind zudem über einen PC parametrierbar und lassen sich daher direkt vor Ort auf die jeweils erforderliche Anzahl an Impulsen pro Umdrehung (zwischen 1 und 65.536 Umdrehungen) einstellen. Das eröffnet eine immense Flexibilität beim Einsatz der Drehgeber **VD58982x** von ipf electronic.

Die Inkrementalgeber arbeiten nach dem Prinzip der optischen Abtastung. Sie integrieren hierzu eine Impulsscheibe, auf der sich eine wiederholende (inkrementale) Strichenteilung befindet. Diese wird von einem optischen System abgetastet und durch eine integrierte Elektronik in geberspezifische Ausgangssignale (A, B, 90°) umgesetzt.



Die exakte Längenmessung einer beschrifteten Folie mit einem parametrierbaren Drehgeber und einem geeigneten Messrad.

Für Längen- bzw. Wegmessungen wird die Drehgeberwelle direkt mit einer Umlenkrolle verbunden oder an ein Messrad montiert. Die mit Hohl- oder Vollwelle erhältlichen Encoder eignen sich in diesem Zusammenhang perfekt für Applikationen mit schnelllaufenden Prozessen und hohen Drehzahlen bis max. 6.000U/min. Überdies sind die Drehgeber aufgrund ihrer hohen Schock- und Vibrationsbeständigkeit überaus robust.



Die Drehgeber der Reihe **VD58982x** sind in verschiedenen Ausführungen mit Vollwelle (6mm, 10mm) (links) und Hohlwelle (8mm, 10mm, 12mm) erhältlich.

Aufgrund der bedarfsspezifischen Parametrierung und den verschiedensten Varianten mit Hohl- oder Vollwelle eignen sich die Drehgeber der Reihe **VD58982x** besonders für Industriebereiche mit einem hohen Bedarf an Encodern für unterschiedliche Einsätze. Den potenziellen Anwendungsfeldern sind hierbei kaum Grenzen gesetzt: hochgenaue Überwachung und Steuerung von Verfahrenswegen in der Automatisierung und Logistik, präzise Positionierung von Werkzeugen an Maschinen und Anlagen, sehr exakte Längenmessung an Bandanlagen, hochgenaue Winkelmessung an Biegemaschinen, Überwachung von Gesenkpresse bei Biegevorgängen oder Geschwindigkeitsmessungen bspw. an Wickelanlagen, um nur wenige Beispiele zu nennen.

5 ÜBERSICHT ÜBER TECHNOLOGIEN ZUR WEG- UND WINKELMESSUNG

In der nachfolgenden Tabelle sind nochmals die wesentlichen Merkmale und Besonderheiten der Lösungen von ipf electronic für Weg- und Winkelmessungen zusammengefasst. Hinweis: Die Spalten „Messbereich“ und „Auflösungen“ stehen nicht zueinander in Bezug, sondern können jeweils auch separate Geräte beschreiben. So ist bspw. bei den Lasersensoren der Messbereich von bis zu 150m nicht in Bezug mit der Auflösung von bis zu 6µm zu bringen.

TECHNOLOGIE	WEG	WINKEL	MESSBEREICH	AUFLÖSUNG	BESONDERHEIT	UMGEBUNG
Lasersensoren	✓	✗	bis 150m	bis 6µm	Messungen unabhängig von Form, Farbe, Struktur und Oberfläche	Besonders erschwerte Umgebungsbedingungen
Ultraschallsensoren	✓	✗	bis 6.000mm	1mm	Erfassung auch dünner, transparenter Materialien	Schmutz, Rauch
Induktive Sensoren	✓	✗	4mm bis 20mm	0mm bis 1µm	Extrem hohe Standzeiten	extrem hohe Schmutz- und Feuchtigkeitsbelastung
Zeilenkamera/ Zeilensensor	✓	✗	Abhängig vom Objektiv (Zeilenkamera) bis 2.000mm (Zeilensensoren),	<0,5mm 0,008mm	Ideal für Bahnkantenregelungen z. B. an dünnen Materialien	auch für raue Umgebungen
Lichtgitter	✓	✗	75mm bis 2010mm	1mm bis 25mm	Erfassung besonders großer Objekte	
Inkrementaler Optosensor	✓	✗	15mm bis 60mm		Hohe Abtastrate: 0,9ms Anzeige von Verfahrensweg und Verfahrensgeschwindigkeit	
Seilzugsensor	✓	✗	bis 1.500mm	0,15mm	sehr einfach und zuverlässig	
Mechanischer Sensor	✓	✗	±5mm	<0,1mm	taktile Wegmessung	Nässe, aggressive Chemikalien, erhöhte Temperaturen
Neigungssensor	✗	✓	-10° bis +10° -45° bis +45° -85° bis +85°	0,02° (Ausgangssignal)	Einfache Ausrichtung über LED-Display und Fadenkreuz-LED	Für In- und Outdoor-Anwendungen mit typischen Umgebungsbedingungen
Magnetische Winkelsensoren	✗	✓	0° bis 360°		Ideal für die einfache Nachrüstung	Widrigste Umgebungsbedingungen
Magnetische Messsysteme	✓	✓	Abhängig von Magnetbandlänge: bis 75m (Inkremental), bis 5,12m (Absolut)	bis 0,01mm	Inkrementalgeber MW09 mit mobilem Display	Raue Industrieumgebung, z. B. Schmutz, Feuchtigkeit
Parametrierbare Drehgeber	✓	✓	1 bis 65.536 Inkremente/Umdrehung		Vor-Ort auf Impulsanzahl parametrierbar	Hohe Schock- und Vibrationsfestigkeit

6 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Es gibt eine Vielzahl sehr unterschiedlicher industrieller Aufgabenstellungen für Weg- und Winkelmessungen. ipf electronic deckt mit seinen Technologien die gesamte Bandbreite an Einsatzfeldern ab, ob speziell für die Weg- bzw. Winkelmessung oder aber gleich für beide Disziplinen zusammen.

Abstandmessende Lasersensoren von ipf electronic, die entweder nach dem Phasenvergleichsprinzip oder dem Triangulationsverfahren arbeiten, stehen für hochpräzise Wegmessungen. Die Systeme erzielen hohe Reichweiten bis 150m (mit Reflektor) und erweisen sich im Betrieb als äußerst robust.

Mit Reichweiten bis 6.000mm ermöglichen Ultraschallsensoren ebenfalls viele Freiheiten bei Wegmessungen unabhängig von Form, Farbe oder Transparenz der Objekte. Die Sensoren eignen sich daher u.a. ideal für die Detektion von transparenten dünnen Folien oder für Füllstandmessungen in großen Behältern wie z. B. Silos. Auch die Füllstandserfassung durch kleinste Öffnungen, wie bspw. bei Reagenzgläsern, sind mit den Ultraschallsensoren von ipf electronic möglich.

Bestehen am Einsatzort besonders raue Umgebungsbedingungen, dann ist die Wegmessung eine Aufgabe für induktive Sensoren, die für ihre hohen Nehmerqualitäten bekannt sind. Die Sensoren widerstehen nicht nur extremem Schmutz (Staub, Öle, Schmierstoffe, etc.), sondern sind zudem unempfindlich gegenüber starken Vibrationen. Induktive Sensoren von ipf electronic decken überdies selbst größere Messbereiche von 4mm bis 20mm ab.

Müssen große Objektbereiche überwacht werden, z. B. zur Regelung der Bahnkante von dünnen Materialien, dann sind vor allem die Eigenschaften der Zeilenkameras oder Laser-Zeilensensoren von ipf electronic gefragt. Die Systeme überzeugen durch hohe Reichweiten bis 2.000mm und hohen Auflösungen von 0,008mm (Zeilensensoren). Selbst bei Höhenschwankungen von Bahnkanten durch eine zu geringe Materialspannung im Fertigungsprozess liefern die Geräte genaue Messergebnisse.

Für die Detektion besonders großer Objekte über weite Distanzen, wie etwa die Durchmesserkontrolle von Coils oder die Messung der Stapelhöhe von Spanplatten in der Holzverarbeitung, eignen sich wiederum Lichtgitter. Dank ihrer wählbaren Feldhöhen mit Messbereichen von 75mm bis 2010mm und ihrer unterschiedlichen Auflösungen von 1mm bis 25mm sind die Lichtgitter mit Reichweiten bis 8m überaus flexibel einsetzbar.

Sollen Wege an Objekten unabhängig von ihrem Material und ihrer Farbe ermittelt werden, dann bietet die inkrementale optische Wegmessung mit dem **VO33** ein interessantes Leistungsspektrum. Dabei kann der Sensor noch zusätzliche Aufgaben erfüllen, wie bspw. die Ermittlung einer Verfahrgeschwindigkeit oder die Erfassung eines zuvor für eine bestimmte Distanz parametrisierten Nullpunkts. Darüber hinaus ist der Sensor über einen Drehgeberausgang in der Lage, einen Fahrweg für eine Steuerung zu liefern.

Als besonders einfache und effektive Lösung für die absolute Wegmessung erweisen sich immer wieder Seilzuggeber. Die Geräte von ipf electronic ermöglichen Messungen über die Distanzen bis 1.500mm und überzeugen u.a. durch eine hohe Verfahrgeschwindigkeit von bis zu 1m/s.

Allerdings gibt es oftmals auch Applikationen, in denen eine berührungslose Wegmessung wie mit den zuvor beschriebenen Systemen (mit Ausnahme des Seilzuggebers) nicht infrage kommt. Hier können hochpräzise taktile Verfahren auf Basis von mechanischen Sensoren punkten. Diese Geräte sind nicht nur besonders robust, sondern erledigen zudem alle mechanischen Wegmessungen mit einer hohen Genauigkeit von <0,1mm.

Für Winkelmessungen bietet ipf electronic derzeit Neigungssensoren und magnetische Winkelsensoren an.

Die Neigungssensoren zur Erfassung des Neigungswinkels in X- und Y-Richtung lassen sich anhand eines im Gerät integrierten Displays (Anzeige des Neigungswinkels) und vier Fadenkreuz-LED (Anzeige der Neigungsrichtung) sehr einfach montieren bzw. ausrichten und sind daher schnell einsatzbereit.

Ideal bspw. für die Nachrüstung von bereits vorhandenen Maschinen- oder Anlagenbaugruppen sind die magnetischen Winkelsensoren (**MS42002x**), da sie eine sehr variable Montage ermöglichen und nach der Inbetriebnahme den gesamten Winkelbereich von 0° bis 360° abdecken. Ein weiterer Vorteil: Das Messsystem aus stationärem Sensor und einem beweglichen Geber ist sehr unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen wie bspw. Schmutz, Staub, Feuchtigkeit und Öle.

Wenn sowohl Weg- als auch Winkelmessungen erforderlich sind, hat mit den äußerst vielseitigen magnetischen Messsystemen von ipf electronic in vielen Fällen eine gute Wahl getroffen. Die sehr strapazierfähigen Geräte werden insbesondere für ihre hohe Dynamik und Verfahrgeschwindigkeiten geschätzt, wobei sich der Inkrementalgeber **MW09** als mobil einsetzbares Gerät mit transportablem Display aus dem Angebot hervorhebt.

Überaus schnelle Reaktionszeiten selbst bei sehr hohen Drehzahlen und überdies ein hohes Maß an Flexibilität bieten die Drehgeber von ipf electronic. Die Lösungen mit Voll- oder Hohlwellen sind jederzeit parametrierbar und können daher unmittelbar vor Ort auf die erforderliche Anzahl an Impulsen eingestellt werden. Für Längen- bzw. Wegmessungen werden die Drehgeber entweder direkt mit einer Umlenkrolle verbunden oder aber an einem Messrad montiert. ipf electronic bietet hierzu eine Reihe an Zubehör an, das auf unterschiedliche Aufgabenstellungen abgestimmt ist.

7 APPLIKATIONSBEISPIELE

Nachfolgend zwei Applikationsbeispiele aus der Praxis, die belegen, dass die Technologien von ipf electronic zu Weg- und Winkelmessungen auch spezielle Anforderungen von Kundenseite erfüllen.

7.1 FÜLLSTANDKONTROLLE DURCH KLEINSTE ÖFFNUNGEN

Im Kapitel 2.2 wurden einige abstandsmessenden Ultraschallsensoren von ipf electronic für die abstandsproportionale Wegmessung vorgestellt, darunter auch ein Gerät mit einer Schalldüse, das bei einem Chemieunternehmen eingesetzt wird.

Das Unternehmen füllt an einer automatischen Dosierstation Produkte in kleine Glasflaschen mit sehr kleinen Öffnungen ab. Die zu einer Dosiereinheit transportierten Flaschen erhalten eine exakte Menge einer klaren, transparenten Flüssigkeit. Die Anforderungen: Weil die Produktmenge pro Flasche exakt identisch sein soll, muss jedes Behältnis auf den korrekten Füllstand hin geprüft werden. Darüber hinaus ist an der Dosierstation vor dem Abfüllen die Anwesenheit einer Glasflasche zu überwachen.

Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, wurde eine abdeckungsproportional arbeitende Lichtschranke (Sender-/Empfängersystem) mit linienförmigem Lichtstrahl getestet, um den Füllstand seitlich durch die Flaschen-Glaswand abzufragen. Aufgrund ihrer hohen Transparenz ermöglichte die in den Flaschen enthaltene Flüssigkeit jedoch keine ausreichende Bedämpfung des Sensorsystems, das somit kein eindeutiges Signal liefern konnte. Außerdem erschwerten Lichtbrechungen an der Glasflasche eine zuverlässige Füllstandkontrolle.

Im nächsten Anlauf wurde ein abstandsmessender Ultraschallsensor oberhalb der Flaschenöffnung, die einen Durchmesser von lediglich 10mm hat, positioniert. Auch dieser Versuch misslang, weil Standard-Ultraschalltaster in Abhängigkeit zu ihrer Baugröße einen Schallwandler mit vergleichsweise großer Fläche haben. Die Schallkeule des Sensors erfasste aufgrund ihres großen Öffnungswinkels nicht nur die Flüssigkeit in der Glasflasche, sondern auch den oberen Flaschenrand und zog diesen als erstes auswertbares Signal zur Abstands- und damit Füllstandmessung heran.

Die Ultraschallsensoren der Reihe **UT12** von ipf electronic haben hingegen einen Durchmesser von lediglich 12mm und eignen sich wie der **UT129021** durch den Analogausgang für präzise Füllstandabfragen.

An dem Sensor für die Dosierstation wurde eine Schalldüse montiert, die den Ultraschall zusätzlich fokussiert, um bspw. auch Flüssigkeiten in Behältern mit sehr engen Öffnungen abzufragen. An der Dosiereinheit wurde zudem der **UT129520** mit digitalem Schaltausgang zur Anwesenheitskontrolle installiert, um vor dem Abfüllprozess das Vorhandensein einer Flasche an der gewünschten Position sicherzustellen.



Füllstandkontrolle und Anwesenheitskontrolle mit zwei Ultraschallsensoren an einer Dosierstation.

7.2 BÜNDELUNG VERSCHIEDENER SIGNALE ZU EINEM ERGEBNIS

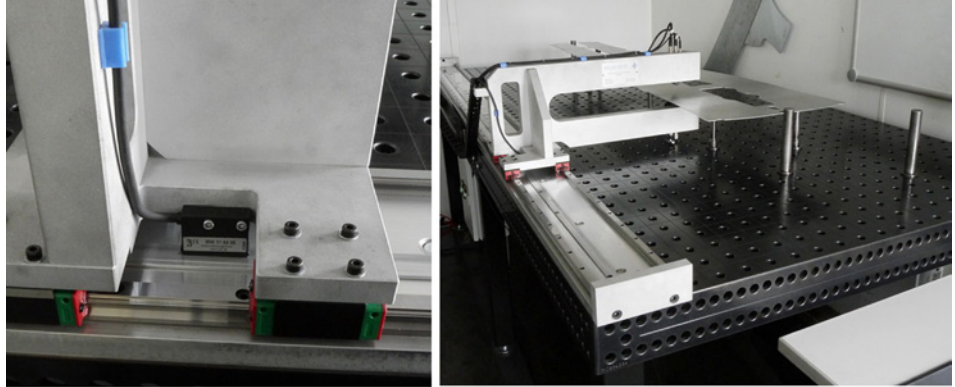
Flexibel gewalzte Blechplatinen für die Warmumformung oder für das Presshärten weisen in der Regel in verschiedenen Segmenten unterschiedliche Materialdicken auf. Bewegen sich die für eine Platine spezifizierten Materialdicken außerhalb der zulässigen Toleranzen und wird dies erste in der Umformtechnik bemerkt, dann werden NIO-Teile produziert und im schlimmsten Fall kommt es zu einem kostspieligen Werkzeugbruch. Ein namhafter Automobilzulieferer prüft daher mit einer speziellen Lösung die kompletten Blechplatinen bereits im Wareneingang.

Das war allerdings nicht immer so. In der Vergangenheit wurden einzelne Blechplatinen aus verschiedenen Lieferchargen mit Handmessgeräten geprüft. Mit solchen Stichproben konnten jedoch nur einzelne Messwerte aus verschiedenen Blechsegmenten ermittelt werden. Das Unternehmen suchte daher nach einer Möglichkeit, einzelne Blechplatinen bereits im Wareneingang auf Basis einer kombinierten Dicken- und Wegmessung wirklich durchgängig zu kontrollieren.

Ein Sondermaschinenbauer entwickelte daraufhin eine Prüfvorrichtung bestehend aus einem Grundtisch zur Aufnahme der Blechplatinen und diversen Auflagepunkten, die zum Teil auch als Anschläge dienen. Das Messsystem ist am Grundtisch montiert und entlang der gesamten Tischlänge manuell verfahrbar. Die Dickenmessung wird in Abhängigkeit von der zurückgelegten Wegstrecke des Messsystems durchgeführt, die mithilfe des **MW100405** von ipf electronic gemessen wird. Für die berührungslose Wegmessung wird der Sensor **MW100405** in einem Abstand von 0,1 bis 2mm über ein Magnetband bewegt, wobei das System eine hohe Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,1\text{mm}$ erreicht.

Die Dickenmessung der Bleche erfolgt hingegen mit einem Master-Slave-System (hochpräzise Lasersensoren **PTSIO292** und **PTSIO274**) von ipf electronic. Der Master ist mit einem Leitrechner verbunden, auf dem sich eine QS-Software zur Analyse der kombinierten Dicken- und Wegmessung befindet. Die Software wandelt die Analogsignale des Master-Slave-Systems als auch die inkrementalen TTL-Signale des Wegmesssystems (**MW100405**) um und synchronisiert sie zu einheitlichen Ausgabeergebnissen.

Abweichungen von den für die Blechplatten zulässigen Toleranzen sind nun durch die vom System gelieferten aussagekräftigen Ergebnisse unmittelbar erkennbar. Somit kann stets sofort reagiert werden, damit keine fehlerhafte Blechlieferte in die Produktion gelangt.



Ein magnetisches Wegmesssystem (links) und Lasersensoren von ipf electronic ermöglichen die durchgängige Kontrolle von Blechplatten direkt am Wareneingang.

