

## T001 // Präzise berührungslose Wegsensoren



### Inhalt:

- Einleitung
- Induktive Sensoren auf Wirbelstrombasis
- Kapazitive Sensoren
- Laser-Triangulationssensoren
- Konfokale Sensoren
- Vergleich der Prinzipien

### Einleitung

Berührungslose Wegsensoren tragen immer mehr zur Lösung schwieriger Messaufgaben bei und werden für solche Applikationen eingesetzt, bei denen das Messobjekt bzw. hochempfindliche Oberflächen nicht beschädigt werden dürfen und ein Sensor verschleißfrei arbeiten muss. In der Praxis haben sich neben kapazitiven und konfokalen Sensoren auch Sensoren der Wirbelstromtechnik und der Lasertriangulation bewährt. Berührungslose Sensoren sind in den unterschiedlichsten Ausführungen erhältlich. Sollen diese Sensoren ein Ergebnis mit hoher Genauigkeit liefern, welche sich unter dem Begriff „Präzise Sensoren“ sammeln lassen, verringert sich das Angebot entschieden.

Zur Einordnung von Sensoren unter dem Begriff „Präzise“ haben sich bei Micro-Epsilon folgende Grenzen etabliert, die es zu erfüllen gilt:

Linearität	< 0,2 % d.M.
Auflösung	< 0,005 % d.M.
Messrate	über 5 kHz
Temperaturstabilität	< 0,05 % d.M./K

d.M. = des Messbereichs

Als Spezialist in der berührungslosen Wegmessung verfügt Micro-Epsilon über viele verschiedene Sensoren, die das Kriterium „Präzise“ erfüllen. Trotz dieser Restriktion verbleiben dennoch zahlreiche Produkte am Markt, aus denen für eine bestimmte Anwendung der richtige Sensor gewählt werden muss. Diese TechNote soll die Funktionsweise der einzelnen Verfahren erläutern und dabei helfen, die Auswahl aus den verschiedenen Prinzipien zu erleichtern.

Zu Beachten ist zudem, dass nicht nur der Sensor allein für die erreichbare Präzision verantwortlich ist, sondern vielmehr das Zusammenspiel aus der hochwertigen Elektronik, der Signalaufbereitung und dem Sensor.

### Wirbelstrom-Sensoren



### Kapazitive Sensoren



### Laser-Wegsensoren



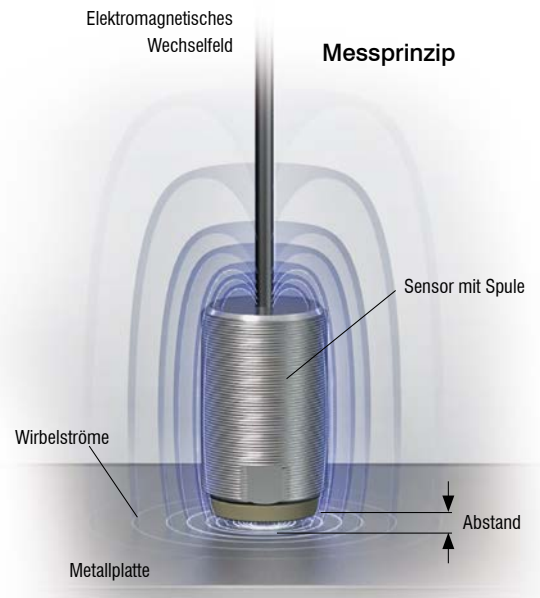
### Konfokale Sensoren



### Wirbelstrom-Messprinzip

Das Wirbelstromprinzip ist im eigentlichen Sinne dem induktiven Messverfahren zuzuordnen. Der Effekt zur Messung via Wirbelstrom beruht auf dem Entzug von Energie aus einem Schwingkreis. Diese Energie ist zur Induktion von Wirbelströmen in elektrisch leitfähige Materialien nötig. Hierbei wird eine Spule mit Wechselstrom gespeist, worauf sich ein Magnetfeld um die Spule ausbildet. Befindet sich nun ein elektrisch leitender Gegenstand in diesem Magnetfeld, entstehen darin - gemäß dem faradayschen Induktionsgesetz - Wirbelströme.

Das Eigenfeld dieser Wirbelströme wirkt entsprechend der Lenz'schen Regel dem Feld der Spule entgegen, was eine Änderung der Spulenimpedanz nach sich zieht. Diese abstandsabhängige Impedanzänderung lässt sich als Amplitudenänderung der Sensorspule als messbare Größe am Controller abgreifen.



### Vorteile von Wegmesssystemen auf Wirbelstrombasis:

- Anwendbar bei allen elektrisch leitenden Objekten, mit ferro- und auch nicht-ferromagnetischen Eigenschaften
- Kleine Sensorbauformen
- Hoher Temperaturbereich durch die Verwendung besonderer Werkstoffe beim Sensoraufbau
- Unempfindlich gegen Schmutz, Staub, Feuchte, Öl, dielektrische Werkstoffe im Messspalt und hohe Drücke
- Hohe Messgenauigkeit

### Einschränkungen in der Anwendung:

- Ausgangssignal und Linearität abhängig von den elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Messobjektwerkstoffes
- Individuelle Linearisierung und Kalibrierung ist erforderlich
- Sensorkabellänge auf 15 m begrenzt
- Sensordurchmesser/ effektiver Messfleckdurchmesser nehmen mit größeren Messbereichen zu



eddyNCDT 3060

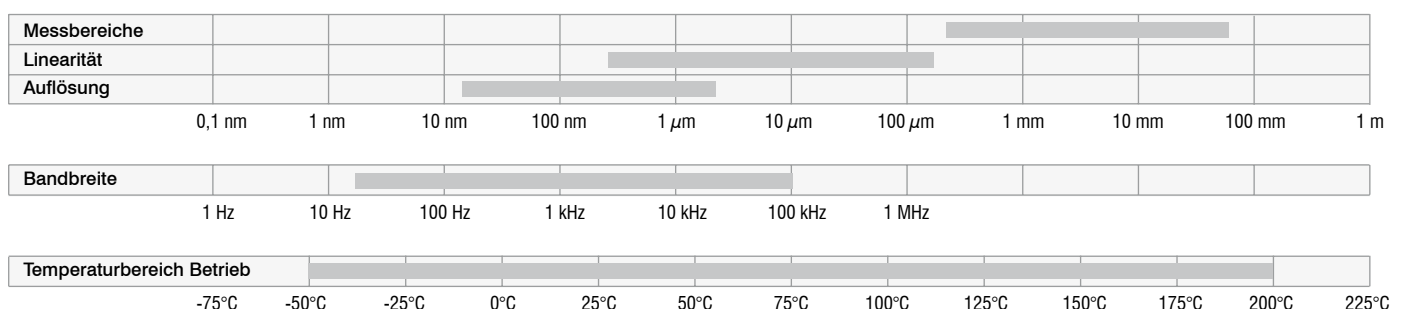
eddyNCDT 3300



eddyNCDT 3001

eddyNCDT 3005

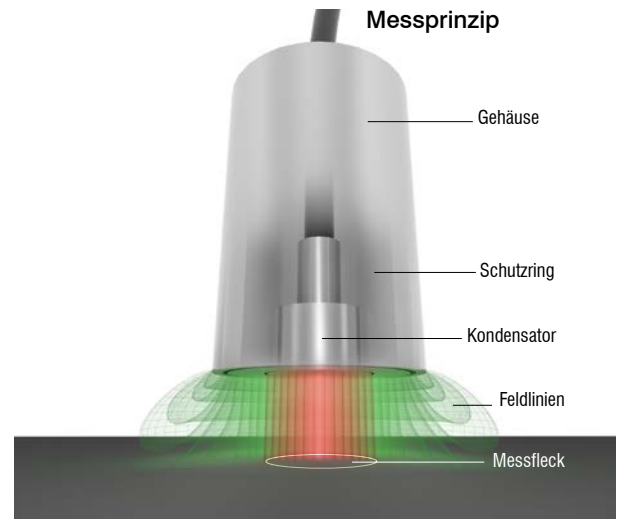
### Leistungs-Spektrum eddyNCDT



## Kapazitives Messprinzip

Beim kapazitiven Messprinzip agieren Sensor und Messobjekt wie ein idealer Plattenkondensator. Durchfließt ein Wechselstrom konstanter Frequenz den Sensorkondensator, so ist die Amplitude der Wechselspannung am Sensor dem Abstand zum Messobjekt (Masse-Elektrode) proportional.

Durch den Aufbau der Sensoren als Schutzringkondensatoren erreicht man in der Realität nahezu eine ideale Linearitätskennlinie. Für eine konstante Messung ist jedoch eine gleichbleibende Dielektrizitäts-Konstante zwischen Sensor und Messobjekt die Prämisse. Kapazitive Sensoren messen auch gegen Isolatorwerkstoffe. Ein lineares Ausgangssignal wird für diese Messobjektgruppe durch elektronische Beschaltung möglich.



### Vorteile kapazitiver Sensoren:

- Gleichbleibende Empfindlichkeit und Linearität für alle leitenden Objekte
- Hohe Temperaturstabilität, da Gehäuse aus Invar und Sensor an der Stirnfläche geklemmt wird
- Auch für Isolatorwerkstoffe als Messobjekt anwendbar
- Hohe Flexibilität in der geometrischen Gestaltung der Sensorbauform (Messelektrode)
- Nanometergenaue Auflösung

### Einschränkungen in der Anwendung:

- Reagiert empfindlich auf Änderungen des Dielektrikums im Messspalt (Messungen im Mikrometer-Bereich sind aber auch bei Staub oder Luftfeuchtigkeit noch möglich)
- Sensordurchmesser und damit effektiver Messfleck nehmen mit größerem Messbereich zu



capaNCDT 6110

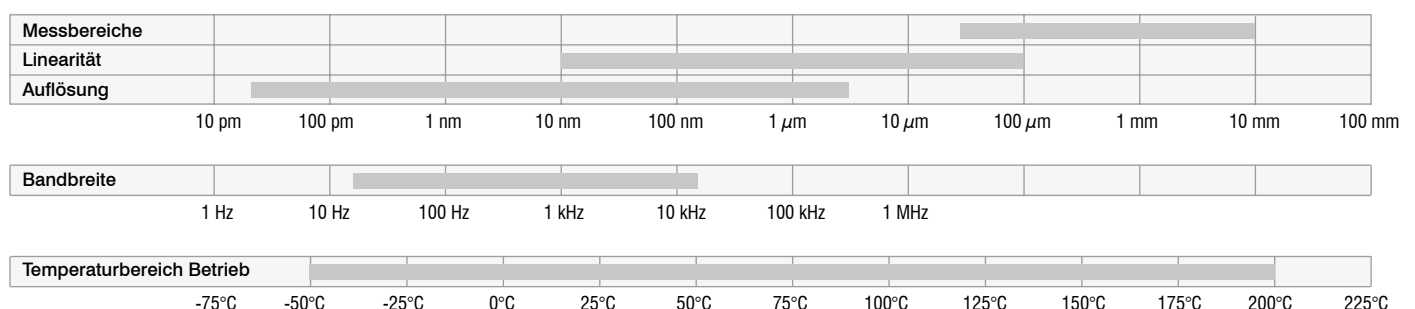


capaNCDT 6200



capaNCDT 6500

### Leistungs-Spektrum capaNCDT



## Messprinzip der Lasertriangulation

Eine Laserdiode emittiert einen Laserstrahl, der auf das Messobjekt gerichtet ist. Die dort reflektierte Strahlung wird über eine Optik entweder auf eine CCD-/CMOS-Zeile oder auf ein PSD-Element abgebildet. Die Intensität der reflektierten Strahlung ist von dem Material des Messobjektes abhängig. Deshalb wird bei den analog arbeitenden PSD-Sensoren und den digitalen Serien 1320/1420 die Empfindlichkeit geregelt. Bei den digitalen CCD-Sensoren der Serien 1750 und 2300 regelt die einzigartige RTSC- bzw. Advanced RTSC-Schaltung (Real Time Surface Compensation) die Intensitätsänderungen ohne Verzögerung aus.

Aus der Lage des Lichtpunktes auf dem Empfangselement wird der Abstand des Objekts zum Sensor berechnet. Die Daten werden, je nach Ausführung, über den externen oder internen Controller ausgewertet und über verschiedene Schnittstellen ausgegeben.

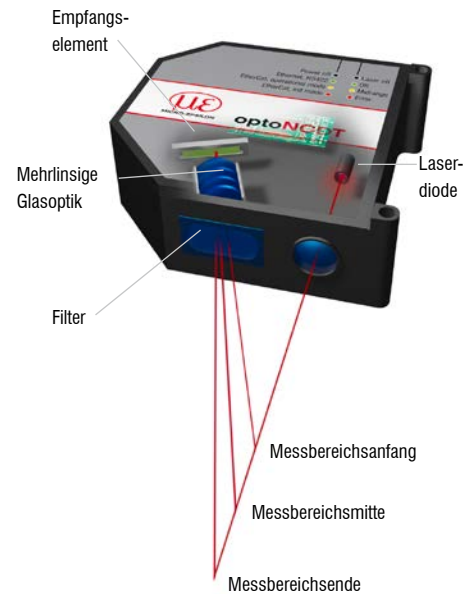
### Vorteile des Triangulationsprinzips:

- Kleiner Messfleckdurchmesser
- Großer Grundabstand zwischen Messobjekt und Sensor
- Große Messbereichsspannen möglich
- Nahezu materialunabhängig

### Einschränkungen in der Anwendung:

- Bedingter Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf die Messgenauigkeit
- Saubere Umwelt im Strahlengang erforderlich
- Große Sensorabmessung in Relation zu konfokalen, kapazitiven und Wirbelstromsensoren
- Für spiegelnde Oberflächen spezielle Variante oder besondere Sensorausrichtung erforderlich

### Messprinzip



optoNCDT 1320/1420



optoNCDT 1750

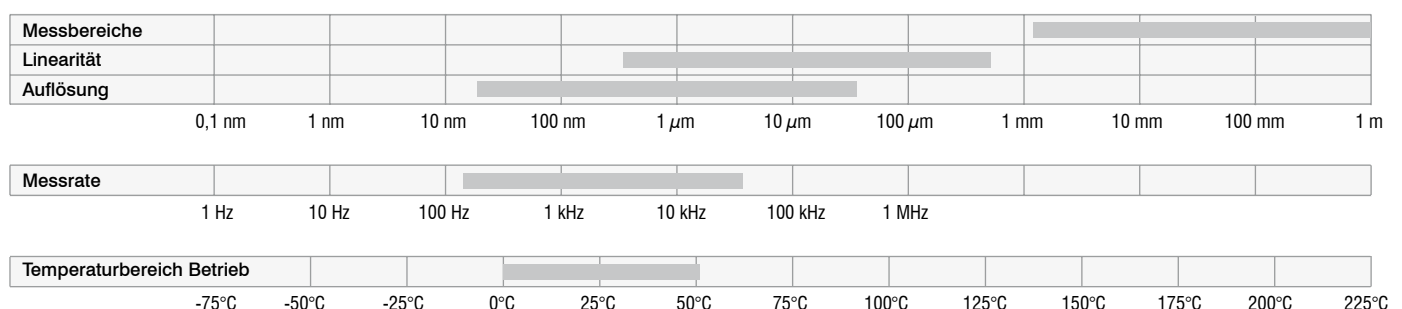


optoNCDT 2300



optoNCDT 2300-2DR

### Leistungs-Spektrum optoNCDT



### Konfokal-chromatisches Messprinzip

Polychromes Licht (Weißlicht) wird, ausgehend von der Lichtquelle in der Auswerteeinheit, über einen Lichtwellenleiter zum Sensor übertragen. Die dort befindlichen Linsen sind so angeordnet, dass durch kontrollierte chromatische Abweichung das Licht in Längsrichtung der optischen Achse in monochromatische Wellenlängen aufgeteilt wird. Diese Optik fokussiert das Lichtbündel auf die Messobjektoberfläche. Abhängig vom Abstand befinden sich damit unterschiedliche Spektralfarben im Fokus. Im Sensorsystem wird diejenige Lichtwellenlänge zur Messung herangezogen, die sich exakt auf dem Messobjekt fokussiert. Das von diesem Punkt reflektierte Licht wird über eine optische Anordnung auf ein lichtempfindliches Sensorelement abgebildet, auf der die zugehörige Spektralfarbe erkannt und ausgewertet wird. Durch eine werkseitige Kalibrierung wird jeder Wellenlänge ein definierter Abstandspunkt zugeordnet.

Dieses Prinzip erlaubt eine Messung auf nahezu allen Oberflächen. Bei transparenten Materialien kann sogar eine Dickenmessung mit nur einem Sensor erfolgen, indem auch das Spektrum der zweiten Oberfläche interpretiert wird.

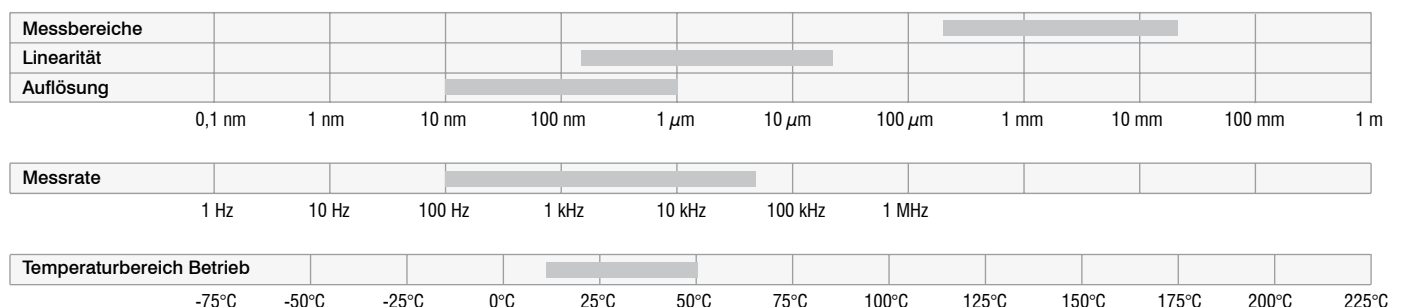
#### Vorteile konfokaler Sensoren:

- Extrem hohe Auflösung im Nanometerbereich
- Oberflächenunabhängige Messung
- Winziger, konstanter Messfleck
- Kompakter Strahlengang
- Einseitige Dickenmessung bei transparenten Messobjekten
- Radiale Messrichtung möglich
- Keine Laserschutzvorschriften, da Weißlicht verwendet wird

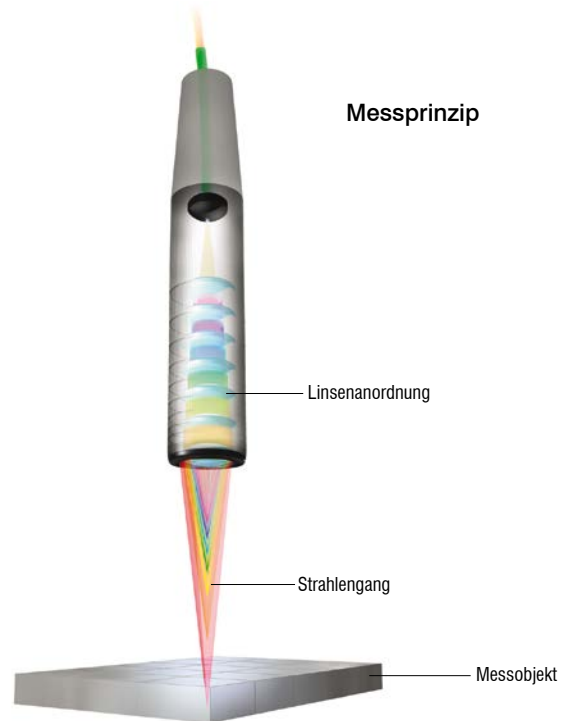
#### Einschränkungen in der Anwendung:

- Begrenzte Distanz zwischen Sensor und Messobjekt
- Saubere Umwelt im Strahlengang erforderlich

#### Leistungs-Spektrum confocalDT



### Messprinzip



Konfokale Miniatur Sensoren IFS2402



Konfokale Hybrid-Sensoren IFS2403



Konfokale Sensoren IFS2405



Konfokale Sensoren IFS2406



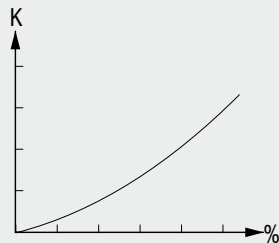
Konfokale Sensoren IFS2407

Glossar, Definitionen

**Temperaturstabilität**

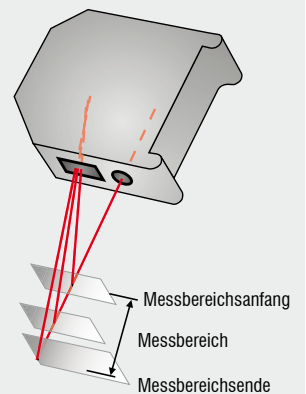
Die Temperaturstabilität gibt den prozentualen möglichen Fehler des Messwertes je Einheit (K oder °C) wieder. Dieser Fehler beruht auf der physikalischen Ausdehnung der verbauten Komponenten oder auf dem Temperatureinfluss auf elektronische Bauelemente.

Diese Ausdehnung hat eine geringfügige Abweichung der Ergebnisse bei unterschiedlichen Temperaturen zur Folge.



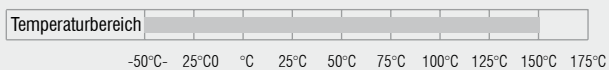
**Messbereich**

Der Messbereich beschreibt den Raum eines Sensors in dem sich das zu messende Messobjekt befinden muss, damit die spezifizierten technischen Daten erfüllt werden. Die äußeren Bereiche dieses Raumes werden mit Messbereichsanfang und Messbereichsende bezeichnet.



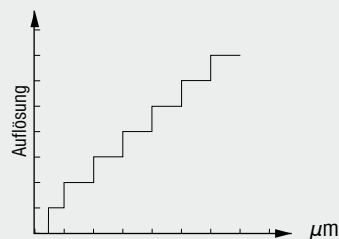
**Temperaturbereich (Betrieb)**

Der Bereich der Umgebungstemperatur, in dem der Sensor ohne irreversible Änderungen seiner Leistungsdaten betrieben werden kann.



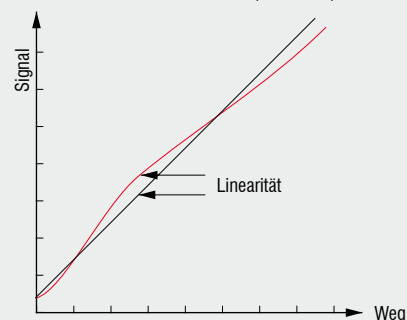
**Auflösung**

Die Auflösung beschreibt die kleinste mögliche Änderung einer Größe, die ein Sensor noch zuverlässig messen kann. Die Auflösung wird in der Praxis aus dem Signal-Rausch-Verhältnis, unter Berücksichtigung des erfassten Frequenzspektrums, bestimmt.



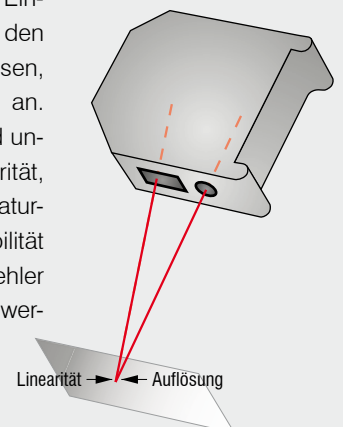
**Nichtlinearität >> Linearität**

Die maximale Abweichung zwischen einer idealen geraden Kennlinie und der realen Kennlinie bezeichnet man als Nichtlinearität bzw. Linearität. Die Angabe erfolgt in Prozent des Messbereichs (% d.M.).



**Genauigkeit**

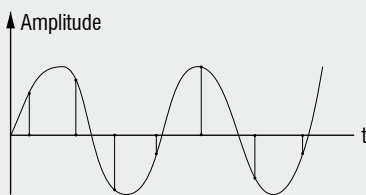
Die Genauigkeit gibt unter Einbezug aller Faktoren, die den realen Messwert beeinflussen, den maximalen Messfehler an. Bestimmende Faktoren sind unter anderem aus der Linearität, der Auflösung, der Temperaturstabilität, der Langzeitstabilität und einem statistischen Fehler (kann rechnerisch entfernt werden).



## Glossar, Definitionen

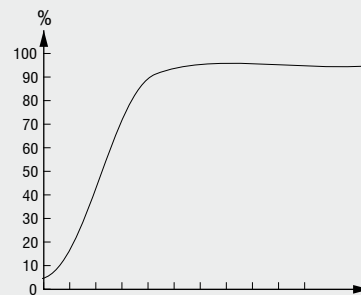
### Abtastrate

Die Abtastrate ist die Häufigkeit, mit der analoge Signale bei einer A/D-Wandlung zeitlich abgetastet werden.



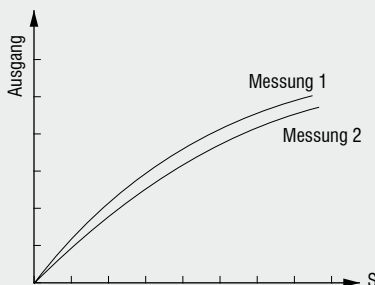
### Ansprechzeit

Ansprechzeit ist diejenige Zeit, die der Signalausgang benötigt um den Signalpegel von 10 % auf 90 % zu steigern. Bei digitalen Messgeräten ist es diejenige Zeit, die benötigt wird, um einen stabilen Messwert auszugeben.



### Reproduzierbarkeit

Quantitative Angabe der Abweichung voneinander unabhängiger Messwerte, die unter gleichen Bedingungen ermittelt werden.



### Signal-Rausch-Verhältnis

Mit dem Signal-Rausch-Verhältnis lässt sich die Qualität eines übertragenen Nutzsignals angeben.

Bei jeder Übertragung von Daten tritt ein Rauschen auf. Je höher der Abstand zwischen Rauschen und Nutzsignal ist, desto stabiler lassen sich die übertragenen Informationen aus dem Signal rekonstruieren. Kommen sich bei der digitalen Abtastung die Rauschleistung und die Nutzsignalleistung zu nahe, kann ein falscher Wert detektiert und die Information verfälscht werden.

## Gegenüberstellung von Anwendungskriterien und Leistungsdaten

Alle Verfahren bieten verschiedene Vorteile und Einschränkungen. Um die von der Messaufgabe abhängige Entscheidung zugunsten eines Prinzips zu vereinfachen, sollen nun die verschiedenen Messverfahren miteinander verglichen werden.

Zur Unterstützung dienen die beiden nachstehenden Tabellen. Die behandelten Messverfahren stellen lediglich das technologische Grundprinzip dar. Aus den verschiedenen Verfahren lassen sich unzählige Anwendungsmöglichkeiten und Modifikationen entwickeln.

Messverfahren	Wirbelstrom	Kapazitiv	Triangulation	Konfokal	
Genauigkeit	■	■	■	■	
Auflösung	■	■	■	■	
Temperaturbereich	bis 40°C	■	■	■	
	bis 90°C	■	□	■	
	bis 150°C	■	■	□	
	über 150°C	■	■	□	
Sensorgroße	■	□	□	□	
Messfleckgröße	□	□	■	■	
Umweltverträglichkeit	■	□	–	–	
Messdistanz (Longrange)	□	–	■	–	
Bandbreite / Messrate	■	□	■	■	
Messobjekt	transparente Objekte	–	■	□	
	Metalle	■	■	■	
	Isolatoren	–	□	■	■
	Oberflächenstruktur	■	■	□	■
	Elektrischer Runout (inhomogene elektro-magnetische Werkstoffe)	–	■	■	■

■ gut □ neutral – problematisch

Technische Daten	Wirbelstrom	Kapazitiv	Triangulation	Konfokal	
Messbereiche	mm	0,4 - 80	0,05 - 10	2 - 1000	0,3 - 30
Linearität	μm	0,4	0,01	0,6	0,15
Max. Auflösung	μm	0,02	0,0000375	0,03	0,01
Bandbreite / Messrate	kHz	bis 100	bis 20	bis 50	bis 70
Temperaturbereich Betrieb (Sensor)	°C	-50 ... +200	- 200 ... +200	0 ... +55	+10 ... +50
Temperaturstabilität	% d.M. / °C	< ± 0,015	< 0,0005	< 0,01	< 0,01