



Die fünf häufigsten Fehler der Strömungsüberwachung

Ein Leitfaden zum erfolgreichen industriellen Einsatz von kalorimetrischen Strömungssensoren

Inhalt

Grundlagen der Strömungssensorik	3
<u>Einfach erklärt: das kalorimetrische Wirkprinzip</u>	<u>4</u>
<u>Eintauch- vs. Inlinesensor</u>	<u>5</u>
<u>Fünf Fehler, die Sie beim Einsatz von Strömungssensoren nicht machen sollten</u>	5
<u>1. Fehler: Messung und Überwachung verwechseln</u>	<u>5</u>
<u>2. Fehler: einen falschen Referenzpunkt setzen</u>	<u>6</u>
<u>3. Fehler: einen überflüssigen Temperatursensor anschaffen</u>	<u>7</u>
<u>4. Fehler: die doppelte Montage</u>	<u>8</u>
<u>5. Fehler: die falsche Positionierung des Sensors in der Applikation</u>	<u>8</u>
Fazit	10
<u>Glossar – Fachbegriffe der Strömungsmessung, einfach erklärt</u>	11

Bei industriell automatisierten Fluidapplikationen müssen die physikalischen Größen Druck, Temperatur, Füllstand und Strömung bzw. Durchfluss präzise und in Bezug auf das jeweilige fließende Medium erfasst werden. Unter Einsatz der richtigen Komponenten und bei korrektem Einbau lassen sich die Messprozesse präzise, zuverlässig und einfach automatisieren. Mit ihren vielfältigen Einbindungsmöglichkeiten in Bestands- und Neuanlagen erleichtern moderne Automatisierungskomponenten das Engineering ebenso wie eine einfache, intuitive und fehlertolerante Inbetriebnahme.

Das vorliegende Whitepaper zeigt die Fallstricke bei der Implementierung einer industriellen Strömungsüberwachung und unterstützt Anwender so bei der Auswahl des richtigen Sensors sowie der korrekten Installation und Inbetriebnahme. Dazu werden zunächst grundlegende Wirkprinzipien und Begrifflichkeiten geklärt.

Grundlagen der Strömungssensorik

Qualitativ gleichbleibende Ergebnisse mit hoher Güte und ein einwandfreier Betrieb ohne Stillstandzeiten sind das Ziel industrieller Produktionsprozesse. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen nicht nur die richtigen Komponenten mit entsprechenden Qualitätsmerkmalen gewählt werden, auch deren korrekter Einbau und Positionierung im gesamten Applikationsverbund sind entscheidend.

Insbesondere elektronische Strömungs- oder Durchflusssensoren werden bevorzugt eingesetzt, um kritische Abweichungen der Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Durchflusses rechtzeitig und verlässlich zu erkennen. Ein weitverbreitetes Missverständnis ist die Gleichsetzung von Strömungs- und Durchflusssensoren. Strömungssensoren überwachen Strömungsgeschwindigkeiten in Bezug auf einen relativen Referenzwert. Durchflusssensoren hingegen messen den Durchfluss eines Mediums absolut als Volumen- bzw. Massenstrom, unter anderem aufgrund eines definierten Rohrquerschnitts.

Die Wahl des richtigen Wirkprinzips ist abhängig von der jeweiligen Applikation. In diesem Whitepaper konzentrieren wir uns auf Strömungssensoren mit kalorimetrischen Wirkprinzip (auch bekannt als thermodynamisches Wirkprinzip), die sich optimal zur Überwachung von Strömungsgeschwindigkeiten eignen, beispielsweise in der Überwachung von Pumpen (Trockenlaufschutz) oder Kühlkreisläufen (etwa an Schweißrobotern). Für diese Anwendungen sind kalorimetrische Sensoren die erste Wahl, da sie relativ kostengünstig und dennoch ausreichend leistungsfähig für diese sogenannten relativen Überwachungsaufgaben sind.

Ist die Entscheidung für ein Wirkprinzip getroffen, müssen noch Fragen zu den konkreten Applikationsbedingungen und zur Anbindung an die Steuerungsumgebung geklärt werden. Dazu ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Art des zu überwachenden Mediums: gasförmig oder flüssig?
- Ausführung als Kompaktgerät oder mit abgesetztem Fühler
- Widerstands- und Materialbeständigkeit medienberührender und nicht medienberührender Teile

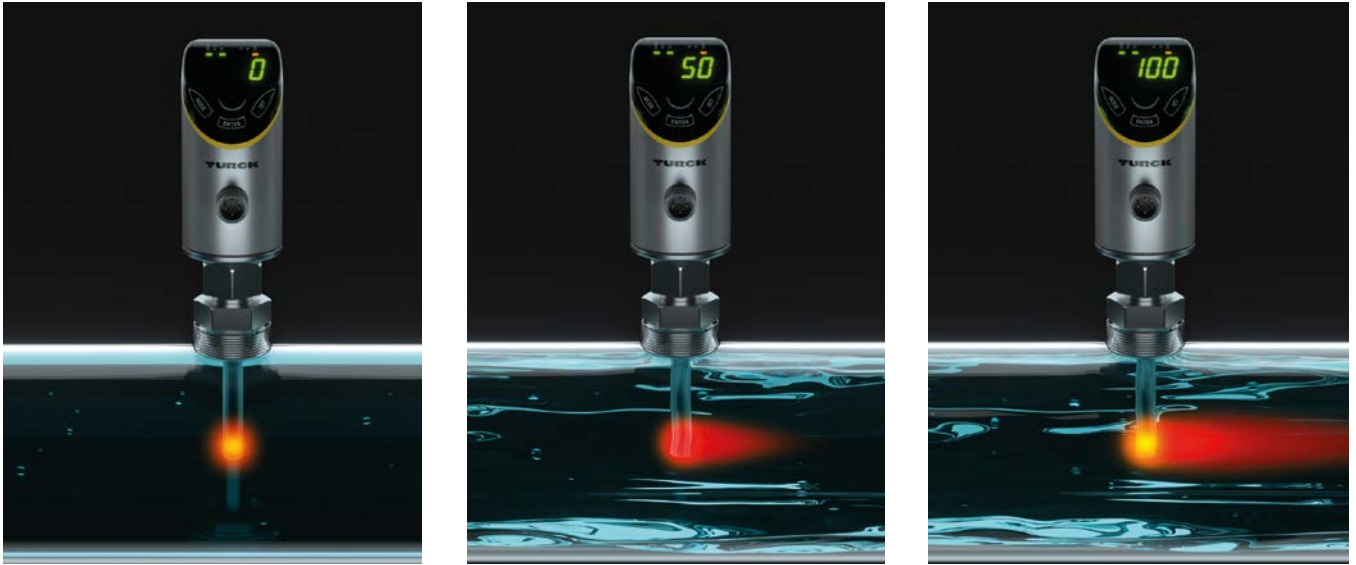
- Einsatz in explosionsgefährdeten bzw. nicht explosionsgefährdeten Bereichen
- Definition weiterer Anforderungen wie Sensorlänge, Temperatur- und Druckbeständigkeit, Art des Prozessanschlusses, Kommunikationsfähigkeit etc.
- Überwachung von einzelnen Referenzwerten oder Referenzbereichen

Einfach erklärt: das kalorimetrische Wirkprinzip

Die Funktionsweise eines kalorimetrisch arbeitenden Strömungssensors basiert auf dem Prinzip der Thermodynamik. Das Prinzip besteht darin, dass das sensitive Element soweit erwärmt wird, bis seine Temperatur die des überwachenden Strömungsmediums hinreichend übersteigt. Somit entsteht ein künstlich erzeugtes thermisches Energiegefälle, auf dessen Basis die Strömung detektiert werden kann. Zwischen dem künstlich generierten thermischen Potenzial und der Geschwindigkeit des Mediums, welches das sensitive Element umströmt, besteht ein kausaler Zusammenhang: Ein schnell fließendes Medium kühlt den aufgeheizten Fühler stärker ab als ein langsam fließendes Medium. An den folgenden zwei extremen Anwendungsfällen lässt sich das Wirkprinzip gut veranschaulichen.

- **Anwendungsfall I: das ruhende Medium ($v_{\text{Medium}} = 0 \text{ m/s}$)**
Das durch den Sensor künstlich erzeugte thermische Potenzial kann sich bei ruhender Strömung maximal ausbilden. Das Bild einer Wärmebildkamera würde eine sphärisch ausgeprägte Wärmeverteilung zeigen. Aufgrund der Wärmeleitfähigkeit des Mediums findet lediglich ein minimaler Wärmeaustausch zwischen Sensor und Medium statt.
- **Anwendungsfall II: das strömende Medium ($v_{\text{Medium}} > 0 \text{ m/s}$)**
Hier findet quasi das genaue Gegenteil statt, denn die bisher kugelförmig ausgeprägte Wärmeverteilung verformt sich aufgrund der anliegenden Strömung in eine sogenannte Wärmekeule, die einer um 90 Grad gedrehten Kerzenflamme gleicht. Je schneller das Medium nun strömt, desto flacher und länger wird die Keule bis zur stilisierten Geraden – ausgerichtet parallel zur Strömung. Durch das strömende Medium wird die Wärmeenergie abtransportiert und das vormals stark ausgeprägte thermische Potenzial geht gegen Null. Sobald dieser Punkt erreicht ist, hat der Strömungssensor auch das obere Ende seines Arbeitsbereichs erreicht. Alle Werte zwischen den geschilderten Extremen bilden den nutzbaren Arbeitsbereich, der dem Anwender zur Strömungsüberwachung zur Verfügung steht.

Im Glossar am Ende dieses Whitepapers stellen wir Ihnen alternative Wirkprinzipien sowie die wichtigsten Fachbegriffe der Strömungsüberwachung vor.



Der Messfühler eines kalorimetrischen Strömungssensors wird an einer Seite beheizt. Zwei Sensoren im Fühler ermitteln jeweils die Temperaturen an beiden Seiten. Die Temperaturdifferenz wird umso kleiner, je schneller das Medium fließt.

Eintauch- vs. Inlinesensor

Man unterscheidet zwei zentrale Bauformen: den Eintauchsensor und den Inlinesensor. Der Eintauchsensor zeichnet sich dadurch aus, dass er als Messfühler in ein Rohr oder andere durchströmte Leitungen montiert wird. Eintauchsensoren funktionieren in der Regel auf Basis des kalorimetrischen Messprinzips und werden für reine Überwachungsaufgaben eingesetzt. Inlinesensoren hingegen bilden einen Teil des Rohres und werden selbst durchströmt. Aufgrund ihrer Bauform erlauben sie, weitere physikalische Wirkprinzipien zu beherbergen, und werden daher meistens in Verbindung mit einer Durchflussmessung eingesetzt. Denn geometriebedingt verfügt diese Bauform bereits einen vordefinierten Rohrquerschnitt, der zur internen Berechnung des Durchflusswerts verwendet werden kann.

Fünf Fehler, die Sie beim Einsatz von Strömungssensoren nicht machen sollten

1. Fehler: Messung und Überwachung verwechseln
 „Wo liegt denn der Unterschied zwischen relativer Überwachung und absoluter Messung?“ Insbesondere im Bereich industrieller Fluidapplikationen kommt diese Frage immer wieder auf. Mit der korrekten Definition von Messung und Überwachung steht und fällt der Aufgaben- als auch der Einsatzbereich der jeweiligen Sensorik. Der Unterschied zwischen Messung und Überwachung verbirgt sich in den Adjektiven relativ und absolut.

Messung

Messungen liefern absolute Werte. Diese Messwerte beziehen sich auf eine absolute Referenz. Typischerweise sind diese mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Wobei es sich mit der sogenannten Ungenauigkeit ebenso verhält wie mit den Unkosten oder dem Unkraut. Denn eigentlich sollte es die Begriffe überhaupt nicht geben. Was es jedoch gibt, sind Kosten, Kräuter und eben Genauigkeiten. Üblicherweise reden Fachleute immer dann von Mes-

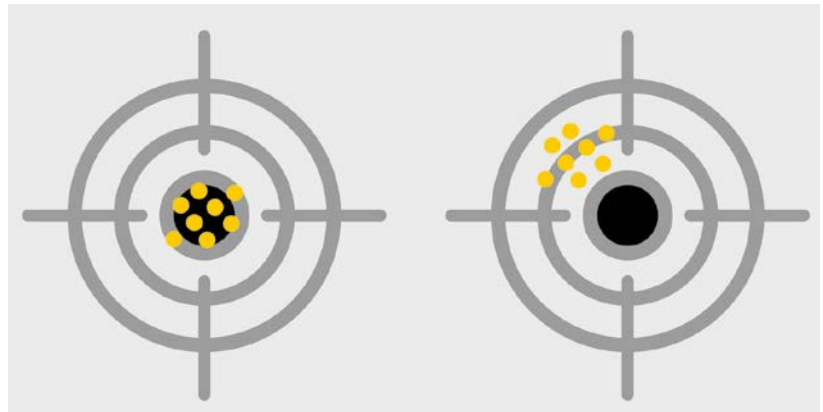
sungen, wenn die absoluten Werten auch eine entsprechende Genauigkeit besitzen. Dennoch kann auch das Messen mit einer geringeren Genauigkeit mit gutem Gewissen als echtes Messen bezeichnet werden.

Überwachung

Sobald physikalische Größen wie etwa die Strömungsgeschwindigkeit hinsichtlich ihrer Tendenzen beobachtet werden, spricht man im Bereich der industriellen Fluidtechnik typischerweise von einer Überwachung – im konkreten Fall von einer Strömungsüberwachung. Womit die Hauptaufgabe eines klassischen Strömungssensors definiert wäre: Er überwacht die Strömungskonditionen eines Mediums hinsichtlich einer Erhöhung oder Verringerung seiner Geschwindigkeit. Die genutzten Referenzpunkte werden entweder unmittelbar über den Sensor selbst zur Verfügung gestellt oder erfolgen in Bezug auf eine relative Referenz in der Steuerung.

Fazit

Eine absolute Messung lässt sich auch für Überwachungszwecke nutzen und ist sozusagen ‚abwärtskompatibel‘. Eine relative Überwachung kann aber keine ‚echte‘ Messung ersetzen.

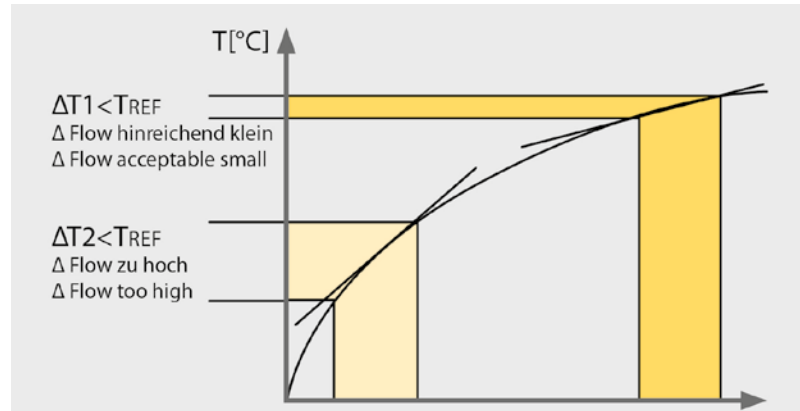


Der Unterschied zwischen Messung und Überwachung: Die linke Scheibe zeigt Werte einer Messung, die nicht nur nah beieinander liegen, sondern auch im Bezug zur Scheibe alle in der Mitte liegen. Rechts: Eine Überwachung liefert lediglich im Bezug zueinander ausreichend präzise Werte, die eine gute Wiederholgenauigkeit aufweisen, aber in Bezug auf den absoluten Wert (den Mittelpunkt) nicht aussagekräftig sind.

2. Fehler: einen falschen Referenzpunkt setzen

Was haben Strömungssensoren mit Fieberthermometern gemeinsam? Der Anwender muss die Applikationsbedingungen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme und Sensoreinstellung berücksichtigen. Denn der Zustand zum Zeitpunkt der Einstellung des Referenzwertes ist entscheidend für die Aussagekraft der späteren Strömungsüberwachung.

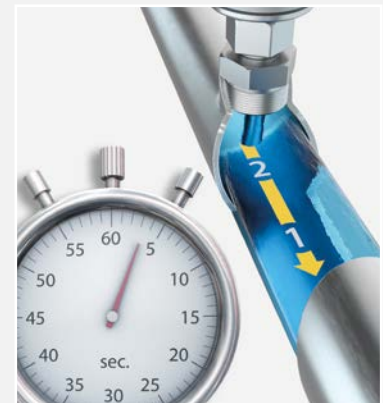
Das lässt sich am Beispiel eines Fieberthermometers veranschaulichen: Besteht der Verdacht auf eine erhöhte Körpertemperatur, misst man Fieber. Ein valides Ergebnis der Körpertemperatur erhält der Betroffene erfahrungsgemäß erst dann, wenn ihn das Fieberthermometer mit einem Piepton darauf aufmerksam macht, dass die Temperatur nun vom Display abgelesen werden kann. Ein zu frühes Ablesen sorgt meist dafür, dass eine zu geringe Temperatur angezeigt wird. Ein zu spätes Ablesen lässt die Temperatur zwar nicht steigen, verursacht aber gewisse Unsicherheit bei der Interpretation des Ergebnisses. Zudem kostet das späte Ablesen mehr Zeit als nötig. Es ist also wichtig, den Wert am Fieberthermometer so früh wie möglich und so spät wie nötig abzulesen.



Wenn die Veränderung des Deltas zu hoch ist (steile Kurve), dann liegt noch keine konstante Strömung vor oder der Fühler heizt sich noch auf. Der Sensor gibt den Teach erst frei, wenn Delta-Flow ausreichend flach ist.

Delta-Flow

Bei den Strömungssensoren der Reihe FS+ unterstützt eine vergleichbare Funktion den Anwender dabei, systematische Fehler beim Einstellen des Referenzpunktes auszuschließen. Diese Delta-Flow-Überwachung schaltet sämtliche Teach-Funktionen erst mit dem Erreichen einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit frei. So vermeidet Delta-Flow ganz automatisch, dass der Sensor zu einem Zeitpunkt eingelernt wird, zu dem sich die Strömungsverhältnisse aufgrund der Systemträgheit noch stark verändern.



3. Fehler: einen überflüssigen Temperatursensor anschaffen

Die physikalischen Größen in Fluidapplikationen – Druck, Füllstand, Strömung, Durchfluss und Temperatur – werden meist je durch einen eigens dafür vorgesehenen Sensor erfasst. Mit Rückblick auf das Wirkprinzip eines kalorimetrisch arbeitenden Strömungssensors fällt auf, dass solche Sensoren – quasi als Nebenprodukt – immer auch die Medientemperatur erfassen, um Strömung detektieren zu können. Daher ist es bereits mit Bordmitteln der kalorimetrischen Sensoren möglich, neben der Strömung auch die Medientemperatur zu überwachen.

In vielen Fluidapplikationen, die eine zusätzliche Indikation der Medientemperatur erfordern, ist das ein enormer Vorteil, da sich der Einsatz separater Temperatursensoren zumeist erübrigt. Vielmals kommt es bei der Überwachung eines Kühlkreislaufs gar nicht auf das Grad Celsius an. Es ist ausreichend zu wissen, ob das Medium 20 oder 40 Grad hat. Für Genauigkeit bis zu +/-7 Kelvin reicht die interne Temperaturmessung aus.

Lediglich da, wo exaktere Temperaturwerte gefordert werden, die die Kalorimetrie nicht mehr leisten kann, lohnt sich der Einsatz eines separaten Temperatursensors mit höherer Genauigkeit.

4. Fehler: die doppelte Montage

Klassische Eintauch-Strömungssensoren verfügen über eine zylindrische, metallische Sensorspitze, in der sich das sensitive Element befindet, das ins zu überwachende strömende Medium eintaucht. Typischerweise verfügen Eintauchsensoren über spezielle Prozessanschlüsse, die es ermöglichen, den Strömungssensor einfach in den eigentlichen Prozess zu integrieren.

Bei einer Durchflussmessung müsste die Lage der Sensorspitze in Bezug zur überwachten Strömung beachtet werden. Denn die interne Anordnung des sensitiven Elements in der Eintauchspitze gibt eine Ausrichtung vor. Um zur Durchflussmessung die volle Performance eines Sensors zu nutzen, muss der Fühler exakt ausgerichtet sein.

Bei einer relativen Strömungsüberwachung hingegen spielt die rotatorische Ausrichtung eine vernachlässigbar kleine Rolle. Denn mit dem eigentlichen Einstellvorgang des Sensors (Teach-Prozess) wird dieser mit seiner spezifischen Lage in Bezug auf seine Anströmrichtung verknüpft und erfasst die Strömung somit hinreichend sensitiv. Die Fehlerquelle für Eintauchsensoren liegt somit nicht in der falschen Montage, sondern vielmehr in einer nachträglichen Veränderung der Fühlerausrichtung ohne erneutes Einlernen des Referenzwerts.

FS+

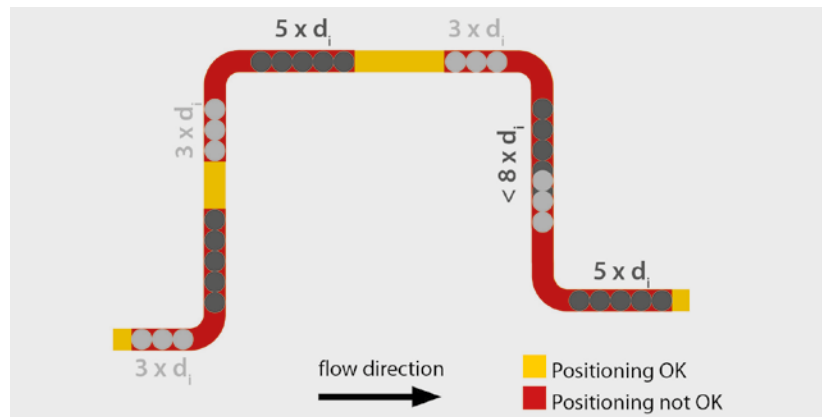
Nur bei sehr geringen Fließgeschwindigkeiten (unter 3 cm/s) muss der FS+ entsprechend der Markierung am Sensor ausgerichtet zur Anströmrichtung montiert werden. In allen anderen Fällen ist die Ausrichtung des Sensors nicht relevant. Der um 340 Grad drehbare Sensorkopf kann auch nach der Montage passend zum Anwender ausgerichtet werden.



5. Fehler: die falsche Positionierung des Sensors in der Applikation
Die Positionierung des Sensors innerhalb geschlossener Strömungssysteme spielt eine entscheidende Rolle, denn viele Faktoren haben Einfluss auf das Überwachungsergebnis.

Strömungsprofil

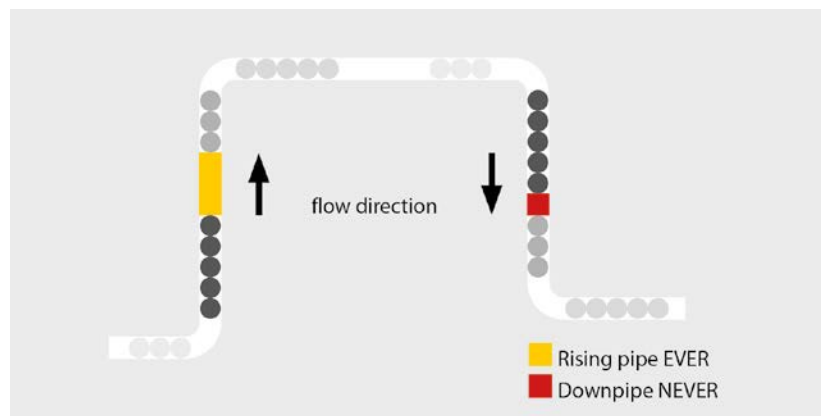
Strömt ein Medium durch ein Rohr ohne Störkörper, ergibt sich ein laminares Strömungsprofil. Es zeichnet sich durch ein inhomogenes Geschwindigkeitsprofil aus. Die minimale Strömungsgeschwindigkeit findet man an der Innenwand des Strömungskanals, im Mittelpunkt des Rohrquerschnitts liegt die höchste Strömungsgeschwindigkeit vor. Turbulente Strömungen hingegen bilden sich bei sehr hohen Geschwindigkeiten oder an Störstellen wie Biegungen, Krümmungen, Ventilen, Pumpen oder Filtern aus. Hier entstehen Verwirbelungen und chaotische Strömungsprofile. Bei extremen Verwirbelungen setzt man vor dem Sensor einen Strömungsgleichrichter ein.



Nur in den gelben Bereichen ist eine Montage des Sensors empfehlenswert.

Ablagerungen und Luftpolster

In industriellen Fluidapplikationen ist davon auszugehen, dass die geförderten Medien verunreinigt oder prozessbedingt mit Partikeln durchsetzt sein können. In vielen Anwendungen kommen daher Filter zum Einsatz, die aber nicht immer und überall anwendbar sind. So ist es durchaus möglich, dass sich das Medium über die Betriebszeit mit Schlamm- und Schwebstoffen anreichert, die sich typischerweise am Boden des Strömungskanals ablagern. Auch Luftposter – der Gegenpart der ‚Schwereteilchen‘ – können sich bei unzureichend entlüfteten Applikationen im Bereich der oberen Rohrwand ansammeln und das Medium verdrängen. Im Grunde genau so, wie sich beim Höhlen- oder Eistauchen Luftreservoirs durch die ausgestoßene Atemluft des Tauchers an der Unterseite der Höhlen- bzw. Eisdecke ansammeln. Die Sensoren zur Stömungsüberwachung sollten daher immer mittig in Steigleitungen installiert werden, niemals in Falleleitungen.



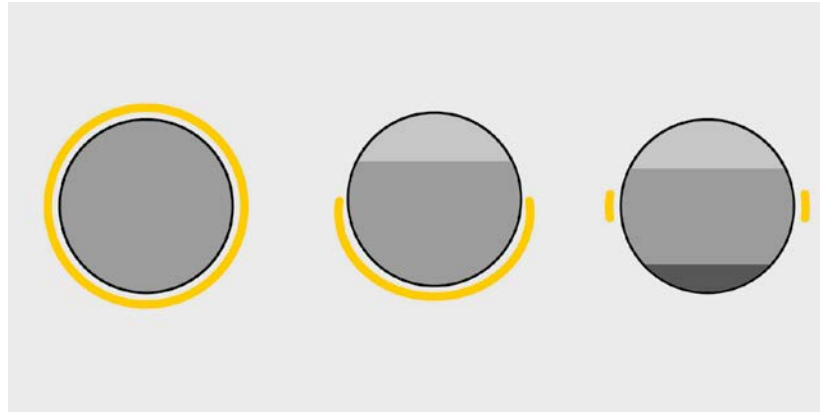
In senkrechten Leitungen sollte die Montage in Steigleitungen erfolgen, da die Verdichtung des Mediums dort für ein homogenes Strömungsbild sorgt.

Thermischer Kurzschluss

Ein Kurzschluss ist nicht nur im Bereich der Elektrotechnik unerwünscht. Auch im Bereich der Thermodynamik lassen sich Kurzschlüsse beobachten. Diese thermischen Kurzschlüsse entstehen, wenn ein thermisches Potenzial einen direkten Weg zum Potenzialausgleich findet. Dieser Weg wird thermische Brücke genannt und zeichnet sich durch relativ hohe Wärmeleitfähigkeit aus. Das Potenzial strebt danach, sich selbst auszugleichen. Auf die Sensorpositionierung angewendet, heißt das, dass ein Kontakt der zumeist metallischen Fühlerspitze zur gegenüberliegenden Wand der Rohrleitung vermieden werden muss.

Optimale Position des Sensors

Für optimale Überwachungsergebnisse ist es ratsam, die Messung an einem Punkt im Rohrsystem zu installieren, die eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung verspricht. Deshalb empfiehlt es sich, sogenannte Ein- und Auslaufstrecken vor und nach dem Strömungssensor einzuhalten. Also Streckenabschnitte, an denen kein Störkörper im Rohr sitzt sowie ausreichend Abstand zu Biegungen oder Verjüngungen garantiert ist. Zudem sollte die Fühlerspitze möglichst mittig im Rohrquerschnitt positioniert werden.



Die gelben Bereiche zeigen gute Sensorpositionen bei unterschiedlichen Rohrbedingungen an. Lufteinschlüsse und Ablagerungen reduzieren die Zahl der möglichen Positionen der Strömungssensoren.

Fazit

Aufgrund ihres simplen, wartungsarmen Aufbaus und ihrer nahezu universellen Anwendbarkeit sind kalorimetrische Strömungssensoren zur industriellen Strömungsüberwachung anderen Konzepten in vielen Punkten überlegen, vor allem unter Kostenaspekten. Sofern sie bestimmungsgemäß zur Strömungsüberwachung eingesetzt werden, reicht ihre Genauigkeit aus. Wenn die dargestellten Fehler vermieden werden, liefern sie äußerst zuverlässige Ergebnisse bei hoher wirtschaftlicher Effizienz.

FS+ Strömungssensoren

Als Teil der Fluid+ Sensorfamilie überwachen die FS+ Strömungssensoren flüssige Medien nach dem kalorimetrischen Prinzip und bieten daher die Möglichkeit, zusätzlich zur Strömung die Medientemperatur zu erfassen. Das zweifarbige LED-Band auf der Benutzeroberfläche zeigt wahlweise Strömungs- oder Temperaturwerte an. Anwender haben die Wahl zwischen Geräten mit zwei Ausgangsfunktionen: entweder analog (4...20 mA) oder als Transistor mit automatischer PNP/NPN-Erkennung und Kommunikation über IO-Link 1.1. Das Schaltverhalten ist zwischen „Normally Open“ (NO) und „Normally Closed“ (NC) einstellbar. Der FS+ ist ebenso einfach montier- wie bedienbar. So kann etwa die Fühlerspitze im Medium beliebig ausgerichtet werden. Unabhängig davon lässt sich das Sensorgehäuse auch nach der Montage frei in einem Bereich von 340 Grad drehen, zur komfortablen Ausrichtung von Display und elektrischem Anschluss. In der Handhabung bietet der FS+ praktische Features wie einen Sperrmechanismus oder die Möglichkeit, den Sensor sowohl auf vorherige Einstellungen (Undo-Funktion) als auch auf die Werkseinstellungen zurückzusetzen. Um Schaltpunkte einzulernen, stehen zwei Modi zur Verfügung: Mit Quick-Teach können Anwender binnen weniger Minuten eine Referenzströmung definieren und direkt am Sensor die Überwachung von Abweichungen einstellen. Alternativ lassen sich in der Anwendung aber auch Maximal- und Minimalwerte bestimmen. Eine wesentliche Erleichterung ist dabei die Delta-Flow-Überwachung, die sämtliche Teach-Funktionen erst dann freischaltet, wenn eine konstante Strömung erreicht ist.



Glossar – Fachbegriffe der Strömungsmessung, einfach erklärt

Arbeitsbereich (Erfassungsbereich)

Der Arbeits- bzw. Erfassungsbereich gibt den Bereich der Prozessgröße an, für die der Sensor ein standardisiertes Ausgangssignal liefert. Der Bereich ist typischerweise von der Wärmeleitfähigkeit des Mediums abhängig. Der Erfassungsbereich begrenzt zwar das auswertbare Ausgangssignal, nicht aber die maximal zulässige Strömungsgeschwindigkeit.

Bereitschaftszeit

Die Bereitschaftszeit ist ein Zeitfenster, in dem der Sensor seinen Betriebszustand erreicht. Erst nach Ablauf der Bereitschaftszeit ist der Sensor betriebsbereit und kann eingestellt bzw. sein Ausgangssignal valide zur Auswertung genutzt werden.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit bezieht sich typischerweise auf das Sensorgehäuse. Bis zum angegebenen Höchstdruck liefert der Sensor ein stabiles Ausgangssignal, ohne dass dieser Schaden nimmt. Anwendungsbedingte Verschraubungskonstruktionen können jedoch differierende Druckfestigkeiten aufweisen, die auch geringer ausfallen können.

Medientemperatur

Der meist als Wertepaar angegebene Medientemperaturbereich gibt an, innerhalb welcher Grenzen der Sensor eingesetzt werden kann, ohne Schaden zu nehmen und valide Ausgangssignale zu liefern.

Nennströmung

Da die Ausgangskennlinie kalorimetrischer Strömungssensoren typischerweise nicht linear ist, werden alle weiteren Kenngrößen auf den zur Nennströmung passenden Arbeitspunkt bezogen.

Reaktionszeit

Die Reaktionszeit ist ein kumulierter Wert und besteht aus der Ein- und Ausschaltzeit. Die Einschaltzeit ist definiert als die Zeit, in der der Sensor eine Änderung der Prozessgröße erfasst, verarbeitet und entsprechend ausgegeben hat. Aufgrund der charakteristischen Sensorkennlinie verkürzt sie sich bei niedrigen und erhöht sich bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten. Bei der Ausschaltzeit verhält es sich genau anders herum, sodass die Reaktionszeit als konstant angesehen werden kann.

Reynolds-Zahl

Die einheitslose Reynolds-Zahl wird in der Strömungslehre dazu verwendet, die Strömungsart zu bestimmen. Denn grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Strömungsarten differenzieren: die laminare Strömung ohne Verwirbelungen und die turbulente Strömung mit Verwirbelungen.

Laminare Strömung	$Re < 2320$
Turbulente Strömung	$Re > 2320$

Temperaturgradient

Der Temperaturgradient legt die maximale Temperaturänderung eines Mediums pro Zeiteinheit fest, der ein Sensor ohne Fehlfunktion folgen kann. Er ist ein Maß für die Güte eines Strömungssensors.

Umgebungstemperatur

Die Umgebungstemperatur gibt die maximal und minimal zulässige Außentemperatur an, in der Sensor per Spezifikation betrieben werden darf.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit (auch Wärmeleitkoeffizient) beschreibt die Stoffeigenschaft, die den Wärmestrom durch ein Material auf Grund der Wärmeleitung bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit gibt Auskunft darüber, wie gut ein Material thermische Energie leitet.

Magnetisch-Induktiv

Der magnetisch-induktive eignet sich ausschließlich für leitfähige Medien. Beim Anlegen eines Magnetfeldes induzieren die bewegten Ladungsträger in der Strömung eine elektrische Spannung, die senkrecht zur Bewegungsrichtung und dem angelegten Magnetfeld an der Rohrwand abgegriffen werden kann. Die Größe der abgegriffenen Spannung ist proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit (Rechte-Hand-Regel).

Vortex-Effekt

Hinter einem in die Strömung eingebauten Störkörper bildet sich die so genannte Karmann'sche Wirbelstraße aus. Periodisch lösen sich an beiden Seiten des Störkörpers Wirbel ab. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Frequenz der auftretenden Wirbel und der Strömungsgeschwindigkeit. Tendenziell eher ungünstig in Verbindung mit abrasiven Medien (Brückenpfeiler im Fluss).

Coriolis-Effekt

Eignet sich zur Messung des Massenstroms von strömenden Flüssigkeiten oder Gasen in einem geschlossenen Strömungssystem. Ein vom Medium durchflossener Rohrbogen wird dabei in Schwingung versetzt und die dabei entstehende Coriolis-Kraft gemessen (Gartenschlauch-Prinzip).

Doppler-Effekt

Durch das Aussenden und Empfangen von Ultraschall innerhalb des Mediums können relative Frequenzverschiebungen detektiert werden. Verschiebungen der Ausgangsfrequenz in Bezug auf die erfasste Eingangsfrequenz sind ein Maß für die Fließgeschwindigkeit des Mediums. Notwendig sind reflektierende Partikel wie feine Luftbläschen oder Schmutzpartikel innerhalb des Mediums (Rot-Blau-Verschiebung im All).

Laufzeit-Verfahren

Die Geschwindigkeit des ausgesendeten Ultraschallsignals überlagert sich mit der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums. Läuft der Ultraschallimpuls mit der Strömung, so verringert sich die Laufzeit, während sich die Laufzeit in entgegengesetzter Laufrichtung erhöht. Aus der Messung der Laufzeitdifferenz lässt sich das Maß für die Strömungsgeschwindigkeit ableiten. (#fahren gegen den Wind).

Bernoulli-Venturi-Effekt

Beim sogenannten Wirkdruckverfahren wird der Rohrquerschnitt in Form einer Blende oder Düse signifikant verengt. Da der Volumen- und Massenstrom an allen Stellen innerhalb des Rohrleitungssystems gleich groß sein muss, entsteht somit zwangsläufig ein Druckgefälle, aus dem sich die Durchflussmenge ableiten lässt. (warum fliegt ein Flugzeug)

SAW-Verfahren

Interdigitalwandler werden von einem elektrischen Signal angeregt und erzeugen und detektieren akustische Oberflächenwellen. Diese breiten sich auf der Rohroberfläche aus und koppeln unter einem spezifischen Winkel auch in die Flüssigkeit aus. Die Wellen erzeugen so Empfangssignale bei einmaligem und mehrmaligem Durchlaufen der Flüssigkeit. Beides erfolgt in als auch entgegen der Durchflussrichtung. Die Laufzeitdifferenzen sind proportional zum Durchfluss.

Kalorimetrisches Verfahren

Das kalorimetrische Verfahren wird auch thermodynamisches Wirkprinzip genannt. Hier wird das sensitive Element gegenüber dem Strömungsmedium aufgeheizt. Strömt das Medium, wird die in dem Element erzeugte thermische Energie durch das Medium abgeführt. Das lässt sich messen und daraus die Strömungsgeschwindigkeit ableiten.

Autor | Raphael Scholzen, Produktmanager Strömungssensoren Turck

**Weitere Informationen**

[Auf einen Blick: Strömungssensoren FS+](#)
[Produktseite Strömungssensoren](#)

Kontakt

Hans Turck GmbH & Co. KG | 45466 Mülheim an der Ruhr, Germany
T +49 208 4952-0 | F +49 208 4952-264 | kontakt@turck.de

Over 30 subsidiaries and
60 representatives worldwide!