



Quelle: panthermedia

## 0,1 % = 0,5 % – Stimmt das so? Beherrschen Sie das Einmaleins der Genauigkeitsangaben bei Drucksensoren?

**Genauigkeit hat ihren Preis. Je genauer eine Messung sein soll, desto teurer ist die Messtechnik. Noch teurer aber wird es, wenn durch mangelnde Genauigkeit des Sensors die Qualität des damit hergestellten Produktes leidet. Bei der Auswahl des richtigen Sensors sollte daher auch die Genauigkeit eine entscheidende Rolle spielen. Dazu muss man sich aber erst einmal in dem Wirrwarr der Genauigkeitsangaben zurechtfinden.**

Der Begriff »Genauigkeit« existiert lediglich im Sprachgebrauch der Anwender. Er ist in keiner Norm definiert. Dennoch ist er in vielen Datenblättern von Sensoren zu finden. Leider gibt es kein gemeinsames Verständnis darüber, was Genauigkeit bedeutet. Es gibt nicht »die Genauigkeit«, sondern eine Vielzahl von genauigkeitsrelevanten Angaben. Alle zusammen beschreiben die »Genauigkeit« eines Gerätes.

Die genauigkeitsrelevanten Faktoren für Drucksensoren sind normenübergreifend einheitlich definiert. Dennoch lassen sich die Herstellerangaben kaum miteinander vergleichen, denn welche und wie Genauigkeitsangaben im Datenblatt spezifiziert werden, ist Herstellersache.

Selbst wenn zwei Hersteller die gleichen Begriffe verwenden, so ist leider nicht sichergestellt, dass auch das Gleiche damit gemeint ist. Häufig werden wichtige Zusätze einfach weggelassen. In der Praxis bedeutet dies: Zwei Geräte, die auf den ersten Blick die gleiche »Genauigkeit« zu haben scheinen, können sich bei näherer Betrachtung drastisch unterscheiden. Entsprechend gibt es natürlich auch den umgekehrten Fall, wie Abb. 1 zeigt.

Warum zwei Sensoren, die scheinbar derart unterschiedlichen Genauigkeitsklassen angehören, in Wirklichkeit eine nahezu identische Genauigkeit haben, wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

### Die übliche Angabe

Für viele Praktiker ist die aussagekräftigste und daher am häufigsten genannte Genauigkeitsangabe die Nichtlinearität. Fälschlicherweise wird die Nichtlinearität häufig als Linearität bezeichnet. Die Nichtlinearität beschreibt, wie »krumm« oder wie »nicht-linear« eine Kennlinie ist. Sie beschreibt die größtmögliche Abweichung der Kennlinie von einer Referenzgeraden.

Es gibt prinzipiell drei Methoden, diese Referenzgerade zu ermitteln: die Grenzpunkteinstellung, die Kleinstwerteneinstellung (BFSL) und die Anfangspunkteinstellung. Wobei letztere aber eher selten anzutreffen ist.

Bei der Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung geht die Referenzgerade durch den Kennlinienanfang und -ende; während bei der BFSL-Methode (Best Fit Straight Line) die Referenzgerade so gelegt wird, dass die maximale positive und negative Abweichung gleich groß ist. Die Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung liefert im Vergleich

zur Kleinstwerteneinstellung deshalb den betragsmäßig größeren Fehler. Sie ist jedoch für den Anwender messtechnisch am leichtesten nachvollziehbar. Die Nichtlinearität nach Kleinstwerteneinstellung hingegen ist in vielen Fällen der aussagekräftigere Wert. Er beschreibt das Potenzial der Kennlinie. Wie groß der Unterschied zwischen der Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung und nach der BFSL-Methode tatsächlich ist, hängt allerdings von der typischen Form der Kennlinie des jeweiligen Drucksensors ab. Die Nichtlinearität nach Grenzpunkteinstellung kann dabei bis zu Faktor zwei größer sein.

Leider ist vielen Datenblättern nicht eindeutig zu entnehmen, nach welcher Methode die Nichtlinearität ermittelt wurde. Eine Vergleichbarkeit der Angaben ist deshalb häufig nur nach Rücksprache mit dem Hersteller möglich. Die Nichtlinearität lässt sich aus Anwendersicht häufig nur mit entsprechendem Aufwand minimieren. Zum Beispiel, indem in der nachgeschalteten Elektronik an Hand von Stützpunkten die Fehler herausgerechnet werden. Hierzu ist ein hoch präzises Normal notwendig (Abb. 2).

### Die typische Angabe

Kein Gerät ist wie das andere. Das gilt auch für die Genauigkeit von Drucksensoren. Tatsächlich wird bei einer Vielzahl von Geräten die Nichtlinearität deutlich besser sein, als der im Datenblatt spezifizierte maximale Wert. Nur so ist sichergestellt, dass



▲ Abb. 1: Vergleich

die durch Toleranzen und Streuungen bedingte Abweichung einen bestimmten Maximalwert sicher nicht überschreitet. Diese (bessere) Genauigkeit wird als typischer Wert bezeichnet. Entsprechende Genauigkeiten werden deshalb bei vielen Exemplaren mit »typ.« gekennzeichnet (Abb. 3). Wie viele Geräte diese »typische Genauigkeit« tatsächlich einhalten, wird von fast keinem Hersteller eindeutig spezifiziert. Man kann aber üblicherweise davon ausgehen, dass eine

»typische Genauigkeit« dem 1-Sigma-Wert nach der Gauß'schen Normalverteilung entspricht. Das heißt: ca. 68,27% der Geräte halten den typischen Wert ein. Für den Anwender bedeutet also die Angabe einer typischen Genauigkeit, dass der Hersteller nicht garantiert, dass 100% der ausgelieferten Geräte die angegebene Genauigkeit einhalten. Je nach Streuung der Messwerte kann der maximale Wert um das zwei- bis dreifache größer sein als der typische

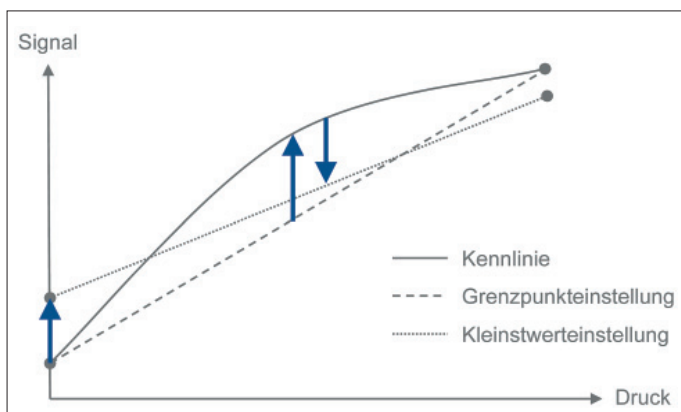


Abb. 2: Nichtlinearität

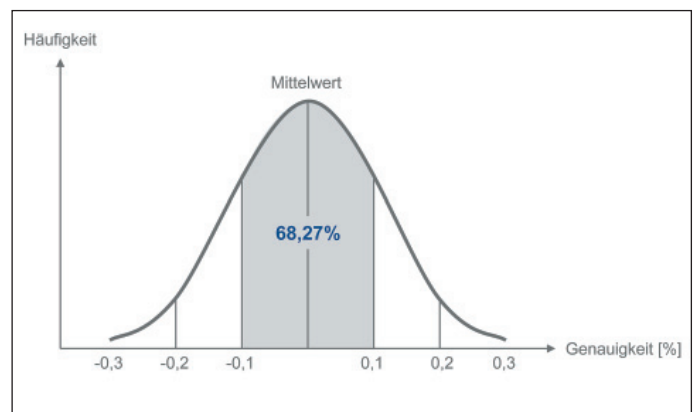


Abb. 3: Typische Werte

Wert. Typische Werte sind im Übrigen nicht nur bei Nichtlinearitäten, sondern auch bei vielen anderen Genauigkeitsangaben anzutreffen.

## Die ehrlichste Angabe

Der wohl »ehrlichste« Wert ist die Messabweichung. Sie ist ohne Aufwand direkt aus der Kennlinie ablesbar und beinhaltet alle relevanten Fehler bei Raumtemperatur wie Nichtlinearität, Hysterese, Nichtwiederholbarkeit und Messabweichung am Messbereichsanfang und -ende. Wenn der Anwender sein Gerät bei Raumtemperatur betreibt, ist dies der Fehler, mit dem er tatsächlich seinen Druck erfasst (Abb. 4).

Die Messabweichung ist die größte Abweichung der tatsächlichen Kennlinie von der idealen Kennlinie. Die Hysterese ist definiert als die maximale Abweichung der Kennlinien im Aufwärts- und Abwärtsgang. Unter Nichtwiederholbarkeit versteht man die größte Abweichung aus drei Messungen unter identischen Bedingungen.

Von Herstellerseite wird die Messabweichung leider nur selten spezifiziert, weil sie verständlicherweise größer ist als die Nichtlinearität. In der Regel wird die Nichtlinearität angegeben und die Messabweichung im Messbereichsanfang und -ende separat aufgeführt. Letztere werden in der Praxis als Nullpunkt- und Spannefehler bezeichnet, wobei die Spanne die Differenz aus Messbereichsanfang und -endwert ist. Die Hysterese und die Nichtwiederholbarkeit sind so ziemlich die einzigen

Fehler, mit denen man leben muss. Alle anderen Fehler lassen sich mit entsprechendem Aufwand minimieren oder gar eliminieren.

Am einfachsten und anschaulichsten funktioniert dies beim Nullpunktfehler. Der Anwender kann ohne großen Aufwand im drucklosen Zustand den Nullpunktfehler ablesen und als Offset in seine Auswerteeinheit einpflegen.

Um den Spannefehler zu eliminieren, muss der Druck am Messbereichsende exakt angefahren werden. Das ist häufig nicht möglich, da keine entsprechende Druckreferenz zur Verfügung steht. Damit der Drucksensor am Ende nicht schlechter misst als zuvor, sollte der Referenzdruck mindestens dreimal genauer sein als die angestrebte Genauigkeit.

## Die Gradangabe

Egal ob Nichtlinearität oder Messabweichung: all diese Genauigkeitsangaben beschreiben einen Drucksensor bei Raumtemperatur. Liegt jedoch die Arbeitstemperatur höher oder niedriger, so muss man mit einem zusätzlichen Temperaturfehler rechnen.

Der Temperaturfehler wird häufig als Temperaturkoeffizient angegeben, bezogen auf ein Intervall von 10 K. Dabei werden die Fehler des Nullpunktes und der Spanne getrennt aufgeführt. Ein Gerät, das bei Raumtemperatur noch eine ausreichende Genauigkeit bietet, kann bereits bei 10 K Abweichung einen doppelt so großen Fehler haben (Abb. 5).

Was viele nicht wissen: Um den Fehler im Endwert zu berechnen, müssen die Temperaturkoeffizienten von Nullpunkt und Spanne aufaddiert werden.

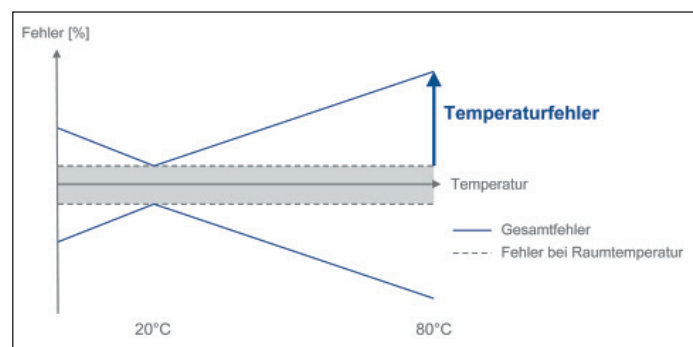
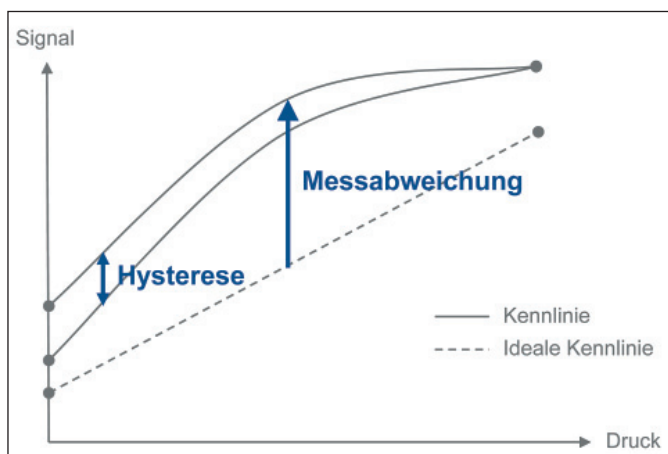
Temperaturfehler entstehen übrigens durch Abweichungen der Mediums- aber auch der Umgebungstemperatur.

Der Temperaturfehler lässt sich bei konstanten Arbeitstemperaturen noch relativ einfach abschätzen, sofern aber Ihre Anwendung einen größeren Temperaturbereich abdeckt, wird der Aufwand erheblich größer. Leider gehen noch immer sehr viele Anwender davon aus, dass Drucksensoren innerhalb des Bemessungstemperaturbereichs gar keinen zusätzlichen Temperaturfehler haben. Dabei ist der Bemessungstemperaturbereich lediglich der Bereich, in dem die spezifizierten Temperaturkoeffizienten gelten – aber keinesfalls gleich Null sind.

## Die langfristige Angabe

Die Genauigkeitsangaben in Datenblättern beschreiben üblicherweise den Zustand des Gerätes am Ende des Produktionsprozesses. Bereits beim Verlassen des Herstellers, seines Lagers, beim Transport etc. kann das Gerät Bedingungen ausgesetzt werden, die seine Genauigkeit nachhaltig beeinflussen.

Jedes auch noch so präzise und hochwertige Gerät ändert im Laufe seines Lebens seine Genauigkeit. Diese Ver-



▲ Abb. 5: Temperaturfehler

◀ Abb. 4: Messabweichung und Hysterese

änderung bezeichnet man als Langzeitdrift bzw. Langzeitstabilität. Die Größenordnung dieser Drift wird maßgeblich durch die Einsatzbedingungen bestimmt, d. h. den Drücken, Temperaturen und anderen Einflüssen, denen das Gerät ausgesetzt wird. In manchen Fällen trägt die Stabilität wesentlich mehr zum Gesamtfehler bei als z. B. die Nichtlinearität. Werte die zwei- bis dreimal höher liegen sind nicht unüblich.

Angaben zur Stabilität in den Herstellerdatenblättern sind so gut wie nicht vergleichbar. Die unterschiedlichen Normen beschreiben zum Teil sehr unterschiedliche Tests zur Ermittlung der Stabilität. Zudem ist keiner dieser Tests ein wirkliches Abbild der realen Einsatzbedingungen. Kann es auch nicht sein, denn diese sind von Anwendung zu Anwendung viel zu unterschiedlich. Die Stabilitätsangaben gelten folglich nur für den Einsatz unter Laborbedingungen bzw. Referenzbedingungen.

Doch selbst für den Einsatz bei Referenzbedingungen ist es kaum möglich, zu vergleichbaren Aussagen zu kommen. Zeit lässt sich nun mal leider nicht raffen. Und alle Bemühungen, durch Temperaturschocks und andere Methoden einen Zeitraffereffekt zu simulieren, sind und bleiben Bemühungen.

Von Herstellerseite wird meistens

empfohlen, Drucksensoren einmal pro Jahr zu kalibrieren, d. h. auf die Einhaltung ihrer Spezifikation zu überprüfen. Dabei geht es weniger darum, das Gerät nachzustimmen als die tatsächlich erfolgte Veränderung des Gerätes, sprich die Drift, zu erfassen. Fällt diese größer aus als der vom Hersteller spezifizierte Wert, so ist dies ein Indiz dafür, dass ein Gerätefehler vorliegt. Es versteht sich, je größer die Instabilität ausfällt, desto wahrscheinlicher ist der Sensor defekt. In diesem Fall kann bei weiterer Verwendung die Sicherheit des Prozesses nicht länger gewährleistet werden.

Für diese Überprüfung muss kein großer Aufwand getrieben werden, oft reicht es schon, den Nullpunkt im drucklosen Zustand auf eventuelle Veränderungen zu überprüfen. Sind weder die Überprüfung in der Anlage noch der Ausbau des Gerätes möglich, so sollten Sie wenigstens Wert auf eine sehr gute Stabilität legen und diese in Ihrer Genauigkeitsanforderung mit berücksichtigen.

### Immer noch unsicher?

Leider sind das noch längst nicht alle möglichen Fehlerquellen. Vibrationen, elektromagnetische Störungen, die Einbaulage des Sensors, die Hilfenenergie und sogar die Bürde der Auswerteeinheit können zusätzlich die

Genauigkeit Ihres Drucksensors negativ beeinflussen. Deshalb ist in vielen Fällen eine individuelle Beratung durch einen Fachmann sinnvoll.

Wie genau ist Ihr Drucksensor wirklich? Ist er so gut wie Sie erwartet haben? Oder ist er zu gut? Welche Fehler für Sie relevant sind und welche nicht, können letztendlich nur Sie beurteilen. Welche Produkteigenschaften dafür entscheidend sind und wie diese in Ihre Anwendung optimal zur Geltung kommen, erklären gerne die Anwendungsberater der Hersteller. Das stellt sicher, dass Sie Ihre Prozessziele mit optimalem Einsatz erreichen. Wir beraten Sie gerne, um herauszufinden, welche Genauigkeit sie heute haben und welche Sie wirklich benötigen.

#### ▶ INFO

Autor:  
 Michèle Beyer (Dipl.-Ing. FH)  
 Produktmanagement  
 WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG  
 Geschäftsbereich TRONIC

Kontakt:  
 Monika Adrian  
 Marketing Vertriebs Service  
 WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG  
 Alexander-Wiegand-Str. 30  
 63911 Klingenberg  
 Phone: +49 9372 132-9972  
 Fax: +49 9372 132-423  
 E-Mail: m.adrian@wika.de  
 www.wika.de

## Flexibel und voller Energie

DuraAct™ ist eine flexible Keramik die als Aktor, Sensor oder Energieerzeuger arbeiten kann. Sie wird beispielsweise zur aktiven Schwingungs- und Schallisolierung eingesetzt oder zur Deformationskontrolle und Stabilisierung sowie in der Adaptionik.

- Große Verformung möglich
- Kostengünstig, robust
- Struktur Integration
- Energieautarke Systeme

Für weitere Infos sind wir für Sie da: **Electronica · Halle A2, Stand 412**

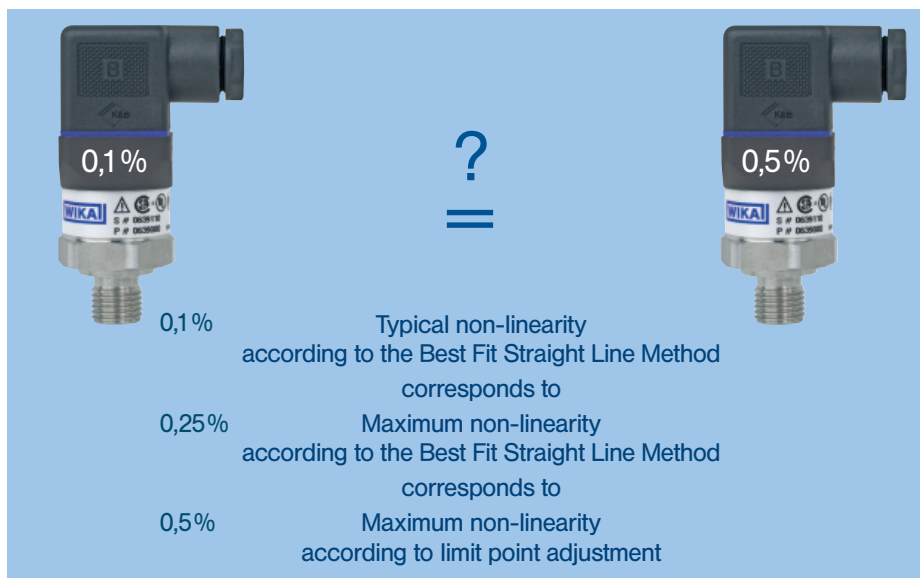
PI Ceramic GmbH · Tel. +49 36604 882-0 · [www.piceramic.de](http://www.piceramic.de)



# Do You Know the Accuracy of your Pressure Sensor?

## Find your Way Out of the Waze of Accuracy Data?

**Accuracy has its price: The more accurate measurement, the more expensive the measuring instruments. On the other hand, a lack of accuracy might cost even more, in particular if the product quality suffers because of it. Therefore accuracy should play an important role when deciding upon a sensor. However, you can only make the right choice if you find your way in the “maze” of accuracy data. Here the author explains the most important parameters and selection criteria using the example of an industrial pressure sensor.**



▲ Fig. 1: Comparison

The term “Accuracy” exists only in the users' language. It is not defined in any standard. Nevertheless, it can be found in many data sheets for sensors. Unfortunately, there is no common idea of what accuracy means. There is not “one accuracy” but a large number of different specifications with regard to accuracy, all of them together describe the “accuracy” of a device.

The relevant factors for pressure sensors with regard to accuracy are defined uniquely across all standards. Yet manufacturers' data can hardly be compared to each other as the manufacturers decide for themselves what information is specified in the data sheet and how.

Even if two manufacturers use the same terms, it cannot be guaranteed that

they both mean the same. Frequently, important additions are just left out. This means: Two devices having the same “accuracy” at first sight might differ considerably if looked at more closely. The same applies for the opposite case as the example in figure 1 demonstrates.

The following sections explain the reason why two different sensors presumably belonging to different accuracy classes have almost identical accuracy.

### Non-linearity

For many users, non-linearity is the most significant and therefore most often used accuracy datum. However, non-linearity is often incorrectly referred to as linearity. Non-linearity

describes how “curved” or “nonlinear” a characteristic curve is. It describes the highest possible deviation between characteristic curve and ideal straight line.

Generally, there are three methods for determining this ideal straight line: Limit point adjustment, minimum value adjustment (BFSL) and origin adjustment, with the last being the most unusual.

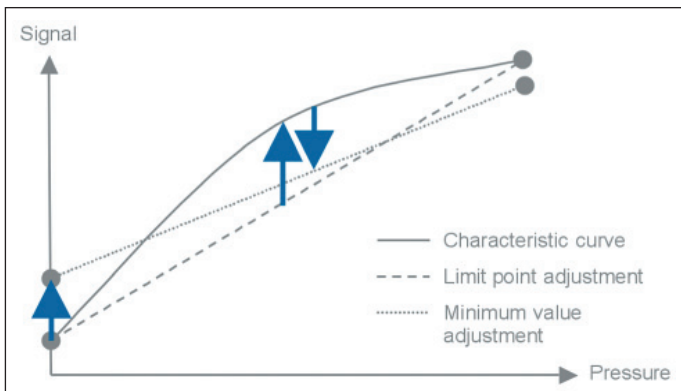
In the case of non-linearity according to limit point adjustment, the ideal straight line goes through the initial and end point of the curve; with the BFSL method (Best Fit Straight Line), the reference line is selected in a way that the maximum positive deviation and the maximum negative deviation are identical. Non-linearity according to limit point adjustment gives the largest absolute value compared to minimum value adjustment but is most comprehensible for the user. Non-linearity according to minimum value adjustment is the more significant value in many cases because it describes the potential of the characteristic curve.

The actual degree of difference between non-linearity according to limit point adjustment and according to BFSL method, depends on the typical form of the characteristic curve of a particular pressure sensor. Non-linearity may be twice that according to limit point adjustment.

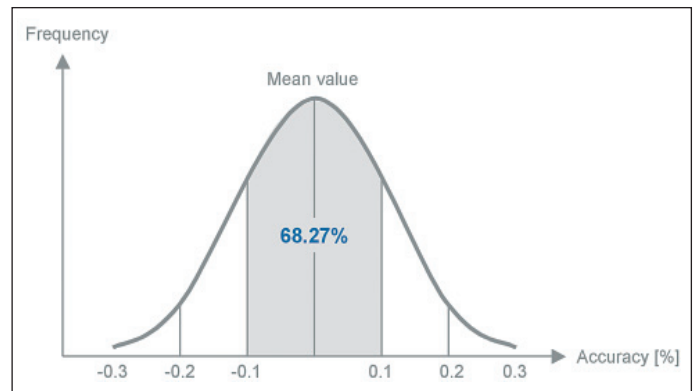
Unfortunately, it is impossible in many data sheets to recognise according to which method non-linearity has been determined. Data can often only be compared after having consulted the manufacturer (figure 2).

### Typical Values

There are no two the same products. This also applies to the accuracy of pressure sensors. Actually, non-lineari-



▲ Fig. 2: Non-linearity



▲ Fig. 3: Typical values

ty of a large number of devices will be considerably better than the maximum value specified in the data sheet. Only this way it can be ensured that the deviation does not exceed a certain maximum value due to tolerances or variations. This (improved) accuracy is described as typical value. Therefore such accuracies are often marked with "typ." (figure 3).

However, hardly any manufacturer specifies clearly how many devices actually fulfil this "typical accuracy". Generally, you can assume that a "typical accuracy" corresponds to 1 sigma of the Gaussian distribution, i.e. about 68.27% of the devices comply with this typical value.

If a typical accuracy is given, the user knows that the manufacturer does not guarantee that 100% of the delivered devices comply with the given accuracy. Depending on the spread of the measured values, the maximum value can be twice or three times as high as the typical value.

By the way, typical values can be found not only with non-linearity but also with other accuracy specifications.

### Measurement Error

Probably the most "reliable" value is the measurement error. It can be determined without any extra effort directly from the characteristic curve and contains all relevant errors at room temperature, such as non-linearity, hysteresis, non-repeatability and error of measurement at the beginning and end of the measuring range. If the user operates the device at room temperature, this is

the actual error with which the pressure is measured (figure 4).

The measurement error is the largest deviation between actual characteristic curve and ideal straight line. Hysteresis is defined as maximum deviation of the characteristic curve in descent and ascent. Non-repeatability is the largest deviation obtained in three measurements under identical conditions.

Unfortunately, the manufacturer specifies the measurement error very seldom because - understandably - it is always greater than non-linearity. Generally, non-linearity is given, and the measurement error at beginning and end of the measurement range is stated separately. The last two in practise are referred to as zero point error and span error with the span being the difference between lower end of scale and full scale value.

### Temperature Error

No matter whether non-linearity or measurement error are used: All these accuracy specifications describe a pressure sensor at room temperature. If the working temperature is higher or lower,

a temperature error must be also considered.

The temperature error is often indicated as temperature co-efficient based on an interval of 10 K. The zero point co-efficient and gain co-efficient are indicated separately. A device having sufficient accuracy at room temperature might have an error twice as large at 10K deviation (figure 5).

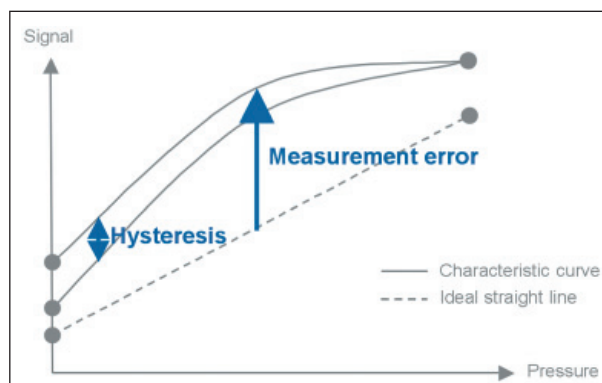
Many people do not know that they have to add the temperature co-efficients of zero point and span to calculate the error of the full scale value.

Temperature errors might also result from deviations of the medium or ambient temperature.

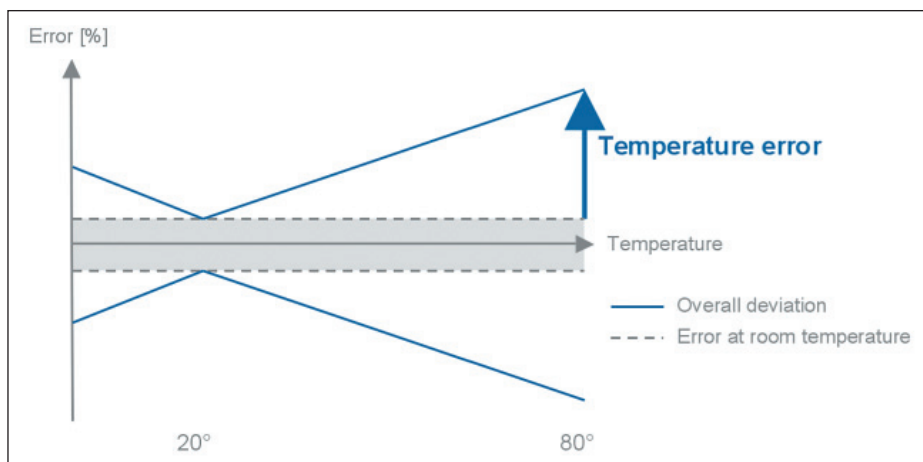
### Stability

The accuracy given in data sheets usually describes the condition of a device at the end of the production process. The device can already be exposed to environmental conditions affecting its accuracy negatively from the moment of leaving the manufacturer's company or warehouse or during transport.

It is not important how accurate the device is or if it is of a very high quality, every device changes its accuracy during its service life. This change is called long-term drift or long-term stability. The dimension of this drift is largely influenced by the operating conditions, i.e. pressures, temperatures and other influences to which the device is exposed. In



▲ Fig. 4: Measurement error and hysteresis



▲ Fig. 5: Temperature error

many cases, stability has a larger influence on the overall deviation than e.g. non-linearity. Values twice or three times as high are not unusual. Stability data stated by the manufacturer can hardly be compared. Different standards describe very different tests for determining stability. Furthermore, none of these tests is an actual copy of the real conditions of use. This is not possible because the conditions vary too much from application to application. Consequently, stability data are only valid for uses in laboratories or under reference conditions. However, even if used under reference conditions, it is almost impossible to obtain comparable data. You cannot make time go faster. And all attempts to simulate a time lapse effect by means of thermal shocks and other methods are just attempts.

**In Practice**

Hysteresis and non-repeatability are pretty much the only errors you have to live with. All other errors can be minimized or even eliminated with some effort. This works easiest and clearest using the offset error. The user can read the offset error hassle-free in unpressurised condition and enter it as offset in the corresponding evaluation instrument. In order to eliminate the span error, the pressure must be regulated exactly at full scale value. This is often not possible as there is no reference value for the

pressure. In order to make the pressure sensor not to measure worse than before, the reference pressure should be three times more accurate than the intended accuracy. Non-linearity can only be minimised with certain effort by the user, for example, by deducting it in the connected electronic system based on points. Even in this case, a highly accurate standard of measurement is required. Nevertheless, these errors are completely irrelevant in some applications, and only non-repeatability is important. If, for example, the task consists of always regulating the same pressure, the error can be compensated easily if it is known; the rest is non-repeatability and long-term stability. The temperature error can be estimated quite easily at constant working temperatures but if your application covers a larger temperature range, it is much more difficult. Unfortunately, many users still assume that pressure sensors do not have an extra temperature error within the nominal temperature range. However, the nominal temperature range is just the range for which the temperature coefficients are valid. Most manufacturers recommend to calibrate the pressure sensors once a year, to control whether they still meet their specifications. The device is not readjusted but the actual change, i.e. the drift, is analysed. If the drift is higher than the value specified by the manufacturer, this might be an indica-

tion for a defective device. The higher the instability, the more probability that the sensor is defective. In this case, process reliability can no longer be guaranteed if the device is still being used. This check does not require much effort. Often it is sufficient to check if the zero point of the unpressurised device has changed. If the device can neither be checked in the system nor dismantled for examination, you should at least set a high value on a very good stability and respect it in your accuracy specifications.

Unfortunately, these are not the only possible sources of error. Vibrations, electromagnetic interferences, mounting position of the sensor, power supply and even the load of the evaluation instrument might affect the accuracy of your pressure sensor. Therefore, individual consulting by a specialist is recommended in many cases.

**Conclusion**

Do you know the exact accuracy of your sensor? Is it as good as you have expected? Or is it too good? You are the only person to decide which errors are relevant for you and which are not. The manufacturers' application consultants explain which product characteristics are important for it and how they can be implemented in your application. This ensures that you reach your targets with optimum input. We would be glad to advice you in finding out which is the accuracy you presently have and which is the one you actually need.

**▶ INFO**

Author:  
 Michèle Beyer (Dipl.-Ing. FH)  
 Product Management  
 WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG  
 Division TRONIC

Contact:  
 Monika Adrian  
 Marketing Services  
 WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG  
 Alexander-Wiegand-Str. 30  
 63911 Klingenberg  
 Phone: +49 9372 132-9972  
 Fax: +49 9372 132-423  
 E-Mail: m.adrian@wika.de  
 www.wika.de