

DÜNNFILM ODER PIEZORESISTIV / Technologien im Vergleich:

Eine Stellungnahme von H.W. Keller / KELLER AG für Druckmesstechnik

In zwei kürzlich erschienenen Artikeln in Fachzeitschriften, nämlich
“Druckerfassung in der Serienapplikation” (Uwe Scherf / Wikatronic) **mpa** Heft 10,
und

“Genauigkeitsmerkmale in der Druckmesstechnik” (Daniel Züllig / Baumer) **Sensor Report** 6/95,
werden die Vorteile der Dünnschichttechnologie und die Fragwürdigkeit der Qualität der Massenprodukte
der piezoresistiven Transmitter angesprochen. Hier sollen die Artikel auf ihren Inhalt analysiert und die
Vorteile der piezoresistiven Technologie hervorgehoben werden.

Im Artikel von Wikatronic wird erst einmal argumentiert, dass die Low Cost Produkte einen Kompromiss an Qualität eingehen müssen. Es heisst:

“Zunehmende Marktkonkurrenz und Produktvergleichbarkeit lassen den Preisdruck speziell für Anbieter von Serienprodukten immer grösser werden. Der Ruf des Marktes nach industrieller Druckmesstechnik zum “Low Preis” schien von Druckmesstechnikern erhöht (nicht erhört) worden zu sein, und sollte endlich die lang ersehnte Preiserleichterung bringen. Der Griff zur Druckmesstechnik aus dem neu geschaffenen Low Cost Segment war somit quasi vorprogrammiert.

Doch schon bald musste man erkennen, dass die ständig wachsenden Anforderungen an Qualität und Produktverfügbarkeit in der Serienanwendung völlig konträr zum Low (Billig)-Gedanken standen. Hohe Produktequalität zum wirtschaftlichen Preis ist der Ansatz.”

Abgesehen davon, dass hier geistige Umweltverschmutzung in der Sprache zum Ausdruck kommt, will die Aussage wohl unterstellen, dass bei hochvolumigen Anbietern zu kostengünstigen Preisen die Qualität leidet. Da im Artikel generell von Druckmesstechnik geredet wird und WIKA in der mechanischen Druckmesstechnik zu den Low Cost Anbietern gehört, was ihr mit der “Tronic Line” noch nicht so recht gelungen ist, wird erst mal gesagt, dass bei WIKA der *Low Cost Gedanke völlig konträr zur Qualität und Produktverfügbarkeit* steht. Ein klassisches Eigentor; Eigentore entstehen meist aus der Bedrängnis im eigenen Strafraum.

Technik und Massenproduktion haben uns elektronische Geräte wie Taschenrechner, PCs, Faxer oder Funktelefone in viel höherer Qualität und Verfügbarkeit zu viel erschwinglicheren Preisen beschert. Diese Entwicklung hat in der elektronischen Druckmesstechnik relativ spät eingesetzt, ist jedoch jetzt im vollen Gange.

Auch im Artikel der Baumer AG wird am Schluss gesagt:

“Zwischen einem 50 DM Transmitter und einem 500 DM

Transmitter liegen nicht etwa 450 DM Marge, sondern meist Transmitter, die wesentlich höheren Ansprüchen gerecht werden.”

Bei KELLER haben Spezial-Transmitter, die in kleinen Stückzahlen für 500 Mark verkauft werden, eine um Faktor 3 höhere Ausfallquote als die zu Zehntausenden hergestellten ‘50 DM Transmitter’. Dies ist unseres Erachtens in jeder Produktion ähnlich.

In beiden Artikeln wird die Überlast der Dünnschichtsensoren gegenüber der piezoresistiven als vorteilhaft angesprochen. D. Züllig von Baumer Electric AG schreibt:

“Für diese (hohe) Druckbereiche sollten Sensoren mit Sensorelementen auf Stahlmembranen bevorzugt betrachtet werden, da bei Überlast infolge Druckspitzen der Drucksensor aus duktilem Stahl im Gegensatz zum spröden Silizium keinen Totalausfall, sondern nur einen erhöhten Offset zeigt.”

Diese Aussage kommt der Argumentation gleich, die Gurte sei dem Airbag vorzuziehen, weil es sich statistisch gezeigt hat, dass beim Airbag die Insassen nach einem Crash entweder heil überleben oder tot sind, bei der Gurte jedoch alle Verletzungen bis zur Querschnittslähmung vorkommen.

Die Ausfallstatistik der heutigen Siliziumsensoren liegt je nach Vollbereichssignal bei 5 bis 20 mal der Vollbereichslast. Jeder, der die Hookschen Kurven für Stahl kennt, weiss, dass das Signal eines Dünnschichtensors nach 5-facher Überlast nicht mehr brauchbar ist. Hinzu kommt, dass (im Gegensatz zum Menschen) der Schaden nicht unmittelbar erkennbar ist. Wenn über 3 Monate mit einem 10%-igen Fehler weiter gemessen wurde, kann der Schaden wirklich enorm viel grösser sein als der Ersatz eines Transmitters. Wären wir Dünnschichthersteller, wir würden einen Mechanismus einbauen, der den Sensor bei einer gewissen Überlast unbrauchbar macht, damit nicht mit untolerierbaren Fehlern weiter gemessen wird. Silizium darf als das ideale Sensormaterial schlechthin bezeichnet werden. Transmitter sind so konstruiert worden, dass nach einem Überlast-Crash bedenkenlos weiter gemessen werden kann, wenn der Sensor überlebt hat.

Auch wehren wir uns gegen den Begriff spröde. Spröde sind Materialien mit unterschiedlicher Festigkeit ihrer Bestandteile, Anmassungen von kristallinen Gebilden, wo die Adhäsion zwischen den Gebilden viel kleiner ist als innerhalb einer Kristallstruktur. Silizium ist ein reiner Einkristall, wo eine molekulare Verschiebung eben nur über Bruch möglich ist. Auf der Basis von Silizium kann ein hysteresefreier Sensor gebaut werden, was mit duktilen Materialien als Sensorträger nicht möglich ist.

Allen Aussagen, dass sich bei Überlast Dünnsfilmsensoren auszeichnen, stellen wir die Aussage entgegen:

Bei Anwendungen, wo hohe Überlastspitzen auftreten, sind Sensoren auf Halbleiterbasis Sensoren mit duktilen Sensorträgern vorzuziehen. Halbleiter-Sensoren zeichnen sich durch ihre hohe Überlast aus und dem Umstand, dass nach einer Überlast keine Beeinträchtigung der Genauigkeit stattfindet. Bei duktilen Sensorträgern kann sich das Sensorsignal bis zur absoluten Unbrauchbarkeit, verzerren, ohne dass dies unmittelbar erkennbar ist.

Als unbegründet betrachten wir die Aussage im Artikel von D. Züllig:

“Sensorelemente auf der Basis reiner Metalle sind diffundierten Halbleiterelementen im Langzeitverhalten überlegen.”

Yokogawa schreibt in der Produkteinformation DIFFERENZ-DRUCK TRANSMITTER MIT HALBLEITER-RESONATOR (Verfahrenstechnik Nr 12 / 95):

“Grösstes Manko bei Metall Sensoren sind die ausgeprägten Hystereseeigenschaften, deren Effekte die Messgerätehersteller in der Vergangenheit mit grossem Auswand zu minimieren suchten. Die Forderung nach höherer Genauigkeit führte jedoch unausweislich zu Halbleitersensoren.”

Dies schreibt ein Hersteller, der beide Technologien beherrscht. Zudem ist die Aussage von D. Züllig wieder ein klassisches Eigentor. Die Dünnsfilmtransmitter haben deshalb eine neue Attraktivität bekommen, weil die Verstärkertechnologie sich in den letzten Jahren enorm verbessert hat. Und diese Verstärker können nur so gut und so stabil sein, wie die verpönten diffundierten Widerstände, die die Genauigkeit eines Verstärkers bestimmen; die gleichen Widerstände, die in den Halbleiter Sensoren eingesetzt werden.

Wir haben in unserem letzten KELLER-Messeblatt schon darauf hingewiesen. In einem 2-jährigen Feldversuch in Bohrlöchern wurden von allen 10 gekapselten KELLER Sensoren Stabilitäten von 0,02% erreicht. Die Einsatztemperatur lag zwischen 60 und 120°C. Eine ähnliche Langzeitstabilität müssten die Dünnsfilmhersteller erst beweisen, und bis sie das getan haben, formulieren wir genau umgekehrt:

Sensorelemente auf der Basis von diffundierten Halb-

leiterelementen sind Sensoren mit duktilen Sensorträgern im Langzeitverhalten überlegen.

D. Züllig von Baumer schreibt weiter: *“Die Verstärkerelektronik altert bei jedem Produkt etwa gleich:”*

Dem können wir zustimmen. Nur, wenn die Verstärker eine Alterung von 20 μV aufweisen, so ist das bei einem 20 mV Signal eines Dünnsfilmsensors 0,1% des Vollbereiches, bei einem Signal von 1000 mV des piezoresistiven Sensors 50 mal weniger bezogen auf den Messbereich.

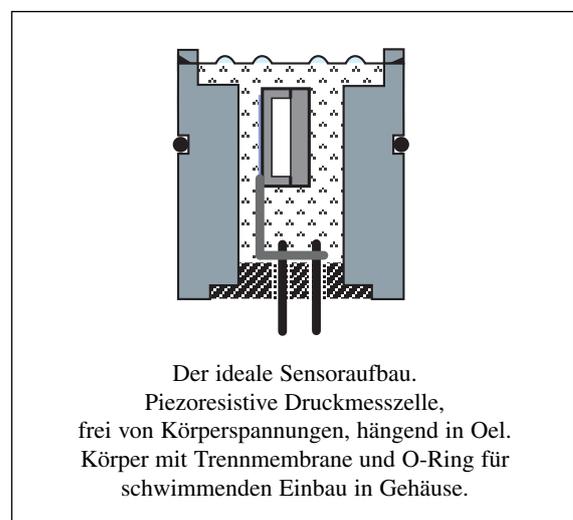
Desweiteren wird in dem Artikel formuliert:

“Je direkter und dauerhafter die Kopplung des aktiven Sensorelementes zur Messmembrane ist, umso stabiler verhält sich der Sensor über die Zeit.”

In der Zeichnung wird dann darauf hingewiesen, wie beim Dünnsfilmsensor die Druckeinwirkung direkt ist, beim isoliert eingebauten Siliziumsensor viele Einzelkomponenten zusammenkommen. Fazit: Der Dünnsfilmsensor ist stabiler.

Dazu folgende Argumentation: Die Trennmembrantechnologie ist bald 100 Jahre alt und findet Einsatz in Differenzdruckaufnehmern bis hinunter zu 1 mbar Messbereich. Die Druckübertragung kann über den Membrandurchmesser praktisch widerstandsfrei und, über Kompensationskörper, ohne Temperatureffekt konstruiert werden. Die Membrane ist somit auch über den ganzen Temperaturbereiche in neutralem Zustand.

Im Gegensatz zu den Dünnsfilmsensoren, wo die feuchte Referenzatmosphäre direkt auf die Sensorelemente einwirkt, bildet die Ölkammer für den Sensor einen perfekten Schutz. Weiter erlaubt der piezoresistive OEM Sensor den spannungsfreien Einbau in ein Druckgehäuse über eine O-Ring Dichtung, während der Dünnsfilmsensor an das Gehäuse angeschweisst ist und so den Körperspannungen des Gehäuses, die sich über die Temperatur unkontrolliert verändern, ausgesetzt ist.



Der ideale Sensoraufbau.
Piezoresistive Druckmesszelle,
frei von Körperspannungen, hängend in Oel.
Körper mit Trennmembrane und O-Ring für
schwimmenden Einbau in Gehäuse.

Fazit:

Der piezoresistive Sensor ist von den Einbaugegebenheiten stabiler als der Dünnschichtsensor zu betrachten.

Der Artikel von D. Züllig beginnt mit einer Diskussion über die Brauchbarkeit der ISO Normen. Leider macht er die Konfusion mit seinem Artikel noch grösser, indem er die Temperaturstabilität mit den Temperatureffekten verwechselt. Er schreibt:

“Die Temperaturstabilitäten werden zumeist mit den Temperaturkoeffizienten des Nullpunktes und der Ausgangsspanne beschrieben.”

Kaum zu glauben, dass sowas in einer renommierten Fachzeitschrift erscheinen darf. Es fordert Widerspruch förmlich heraus.

A PRESSURE SENSOR IS AS ACCURATE AS IT IS PRECISE

(Ein Drucksensor ist so genau wie stabil er ist). So hat es Herr Art Zias schon vor 30 Jahren formuliert. Alles, was bei gleichen Bedingungen wiederholbar ist, lässt sich kompensieren. Ein Temperaturfehler von 3% lässt sich heute leicht wegzukompensieren. Was sich nicht kompensieren lässt sind die Unstabilitäten, also die Temperatur- oder Druckhysteresen und Alterungserscheinungen. Das sind die Unbestimmtheiten, die im Englischen unter dem Begriff “Precision” zusammengefasst werden. Im Deutschen werden die Begriffe “Stabilität” und “Hysterese” noch getrennt betrachtet, was auf die Laboranwendungen mit schlecht geklebten DMS zurückzuführen ist, wo man auch noch die Hysteresen in die Kompensationsberechnungen miteinbezieht.

Fazit:

Ein Sensor oder Transmitter ist so genau wie stabil er ist. Jeder Sensor kann in seiner Genauigkeit bis an die Stabilitätsgrenze getrimmt werden. Ein piezoresistiver Sensor ist ein potentieller 0,02%-genauer Sensor, und dies ohne Nachkalibration über Jahre über den ganzen Temperaturbereich von -40 bis 120°C, auch nach Überbelastungen bis zum 10-fachen Messbereich.

Natürlich richten sich die Kosten der Kompensation nach den Genauigkeitsanforderungen, und es wird nur so viel Aufwand betrieben wie notwendig. Mit digitalen Kompensationen auf der Basis von kundenspezifischen Schaltungen ergeben sich heute jedoch fantastische Möglichkeiten, und hochwertige Transmitter getrimmt auf 0,1% zu Kosten von 50 DM stehen heute durchaus im Bereich des Möglichen.

Dabei ist es auch nicht so, dass die Durchmessung über den ganzen Temperaturbereich sehr kostspielig ist. In Anlagen werden bis zu 300 Stück gleichzeitig über die Temperatur und den Druck gefahren, abgeglichen und im gleichen Einbau in zwei weiteren Temperaturzyklen auf Stabilität

geprüft. Eine solche Teststation verlangt wohl eine hohe Anfangsinvestition, der Test selbst mit Ein- und Ausbau fällt mit 600 DM zu Buche, pro Stück also 2 DM. Die zusätzlichen Hardwarekosten für die digitale Kompensation liegen bei 4 DM, was die Kosten für den Einzelabgleich nicht deckt. Diese neue Technik beschert uns also viel genauere, hochqualifizierte Transmitter zu geringeren Gestehungskosten.

Noch ein Wort zur Stabilität, die im Artikel von D. Züllig als grosser Unsicherheitsfaktor angesprochen wird. Sicher ist die Stabilität ein Unsicherheitsfaktor. Man kann sie nur als statistischen Wert ausdrücken. Und diese Statistik ist umso genauer und zuverlässiger, je mehr Exemplare erfasst werden. Bei KELLER werden jeden Monat über 10'000 Transmitter über drei Temperaturzyklen und Tausende von Druckzyklen statistisch auf das Stabilitätsverhalten erfasst.

Kontinuierlich werden 100-er Serien über Monate in den Öfen überprüft und Rückschlüsse auf den ersten Test gezogen. Das erlaubt uns schlussendlich über jeden Transmitter Aussagen zu machen wie:

Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Transmitter unter gewissen Bedingungen eine Stabilität von 0,1% über ein Jahr behält, ist 99,5%. Man beachte, dass bei einer Stabilität immer die Einsatzbedingungen miteinbezogen werden müssen. Die DIN Formulierung, die die Stabilität nur auf Laborbedingungen bezieht, nützt dem Anwender überhaupt nichts.

Die ISO Normen für Messumformer

Dem Grundanliegen des Artikels von D. Züllig, dass die DIN Normen 10 086 für Messumformer absolut unnützlich sind, können wir nur zustimmen. Wir haben schon im Messeblatt zur Sensor 91 darauf hingewiesen. Hier ein paar Auszüge aus diesem Artikel:

Seit Jahresfrist liegen die neuen DIN-Normen der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vor. Niemand scheint sich darum zu kümmern, die Fachpresse greift das Thema nicht auf. Dabei sind Änderungen und Richtlinien in dieser Sache schon längst überfällig. Mit diesen Zeilen hofft der Verfasser, die Diskussion darüber einzuleiten.

Die Fachzeitschrift **Sensor Report** ruft am Schluss des Artikels zur Stellungnahme auf. Wir nehmen sie hiermit wahr. Der Artikel im Messeblatt sagt über Spezifikationen folgendes.

SPEZIFIKATIONEN:

In unserer bald 20-jährigen Firmentätigkeit haben wir uns nur einmal auf die DIN-Normen in der Auslegung der Spezifikationen berufen. Aufnehmer waren im Felde weggedriftet. Wir fragten, ob die Referenzbedingungen nach DIN (Temperatur 23±1° C, Lage des Transmitters 90±2 Grad etc.) auch schön eingehalten wurden. Da haben die uns glatt den Vogel gezeigt.

Dass solche DIN-Dokumente kaum beachtet werden, hängt sicher damit zusammen, dass sie immer noch so abgefasst sind, wie wenn die Messtechnik still gestanden wäre.

Seitenlang wird auf 10%-igen Hysterese- und Repetierbarkeitskurven herumgeritten, als ob man noch im Zeitalter der schlecht geklebten Dehnmeßstreifen wäre.

Den Begriff der Stabilität gibt es nicht oder nur in schlechter deutscher Übersetzung. Wie viel sich der Messwert eines Aufnehmers nach 1-jährigem Einsatz verschieben kann, ist aus allen 55 geforderten Spezifikationen nicht ermittelbar.

Vielleicht sollte es auch dem DIN-Ausschuss nicht entgangen sein, dass Transmitter nicht mehr nur unter Laborbedingungen eingesetzt werden.

Generell sollte auf Angaben von Fehlerbändern übergegangen werden, die dann wirklich alle möglichen Beeinflussungen beinhalten. Diese Fehlerbänder können mit Temperatur-, Zeit- und Belastungsfaktoren versehen werden. Diese Methode erlaubt die sofortige Fehlerabschätzung, ohne dass eine Menge unklarer Daten aufaddiert oder nach welcher Methode auch immer berechnet werden müssen.

Auch Auswüchsen im Spezifikationswesen wäre damit ein Riegel geschoben. Eine beliebte Unsitte ist es, mit Werten von einigen Nulls nach dem Komma für Hysterese oder Repetierbarkeit für besondere Genauigkeit zu werben. Zum ersten kann der Kunde das nie verifizieren, und in den meisten Fällen bringt eine Temperaturverschiebung von einem Grad schon den grösseren Fehler.

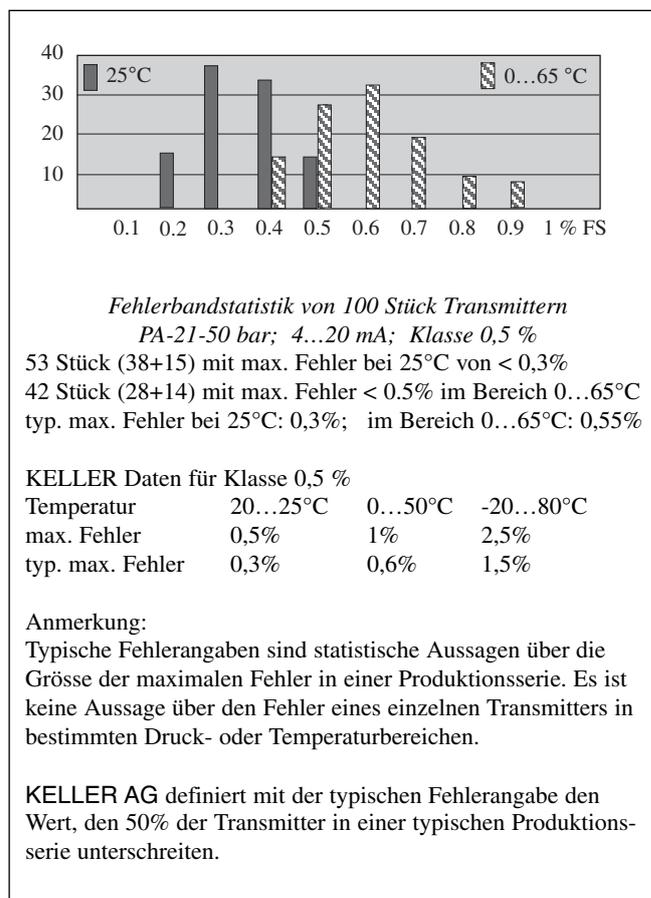
Linearität ist immer noch ein wichtiges Aushängeschild für Drucktransmitter. In den meisten Datenblättern sucht man vergeblich, wie sie ermittelt wird. Hier zeichnen sich vor allem die Amerikaner aus, indem sie die Linearität immer nach der Methode der besten Gerade ermitteln, auch bei Sensoren und Aufnehmern, wo der Nullpunkt nicht bestimmt ist.

Aus der gleichen Ecke kommt auch die Methode der typischen Fehlerwertangabe. Nach den DIN-Normen ist dies zulässig, wenn die Beurteilungsmethode angegeben ist. Das tut aber keiner, soweit bekannt ist. Dieser Entwicklung kann man sich nur schwer entziehen, da eine Maximalfehlerberechnung ein ungünstiges und vielfach zu negatives Bild aufzeigt. Da der Abgleich so ausgelegt werden kann, dass sich Fehler aufheben, würde diese Methode dem Hersteller viel mehr Spielraum lassen.

Die KELLER AG für Druckmesstechnik gibt in ihrem neuesten Katalog die Fehlerbänder der Transmitter an. Dabei wird ein maximaler Fehler und ein typischer Fehler für verschiedene Temperaturbereiche angegeben. Der maximale Wert, als die grösste Abweichung des Istwertes zum Sollwert über den ganzen Druck- und Temperaturbereich, wird zu 100% ermittelt. Als typischer Wert wird das Maximum der Fehlerverteilungskurve angegeben. Siehe Grafik.

In den Datenblättern werden weiter die Linearität, die Stabilität und die Temperatur-Koeffizienten von Nullpunkt und Verstärkung angegeben, wieder mit typischen und maximalen Wertangaben. Für einen OEM Kunden können die statistischen Verteilungen von grossem Nutzen sein, kann er doch daraus entnehmen, dass er bei einer Bestellung über 100 Stück 10 Stück mit einer Linearität besser 0,1%, 50 Stück mit einer Linearität besser 0,25% usw aussuchen kann.

Weitere Werte wie die EMV Werte oder Beschleunigungsempfindlichkeit, Resonanzfrequenz, Ansprechgeschwindigkeit oder Totvolumenänderung werden nur dann angegeben, wenn sie für die normale Anwendung des Produktes relevant sein könnten. Hysterese wird nicht mehr aufgeführt, da sie bei piezoresistiven Sensoren praktisch nicht messbar ist.



Schlussanmerkung:

Argumentationen, wie in den beiden angesprochenen Artikeln, sind wir in der Vergangenheit nur auf Kundenebene (und dies immer wieder) begegnet. Wir sind den Autoren und Zeitschriften dankbar, dass sie damit in die Öffentlichkeit gegangen sind. Dies gab uns endlich die Gelegenheit zu einer Gegendarstellung.