

Kalibrierung mit 0,00% Abweichung? - Zu schön um wahr zu sein!

Ist ein Kalibrierungsbericht eine zuverlässige Aussage über die Genauigkeit von Messgeräten? - Die meisten von uns möchten diese Frage mit einem klaren "Ja, natürlich!" beantworten.

Aus diesem Grund bauen wir schließlich unser Instrument aus dem Prozess aus, nehmen die Kosten für ein Ersatzgerät oder die Ausfallzeit in Kauf, schicken es an ein renommiertes Kalibrierlabor und zahlen einen nicht unerheblichen Betrag, um es mit einem neuen Zertifikat zurückzubekommen, frisch kalibriert und wenn nötig neu eingestellt, so dass es nun zuverlässige Messwerte innerhalb seiner Spezifikation liefert.

Leider haben wir in unserem Tagesgeschäft als akkreditiertes Kalibrierlabor für Durchflusssmesstechnik Erfahrungen aus erster Hand machen müssen, wie sehr man mit dieser Aussage daneben liegen kann. Leider führt ein offizieller Stempel oft dazu, dass die Bedeutung eines recht merkwürdigen Kalibrierzertifikates nicht hinterfragt wird, teilweise aufgrund fehlender Kenntnisse der Kunden, teilweise - lassen Sie mich das so sagen – aufgrund von ausgestellten Zertifikaten, die viel Raum für Fehlinterpretationen lassen.

Dies kann vielleicht für Kunden akzeptabel sein, die ihre Messinstrumente in weniger kritischen Anwendungen einsetzen und lediglich ihre interne Dokumentation vervollständigen möchten. Es ist zwar auch in diesem Fall schade um ihre Ausgaben, aber zumindest beeinträchtigen die Abweichungen der Messergebnisse nicht wesentlich ihre Prozesse.

Aber es gibt kritischen Anwendungen, bei denen die Entwicklung eines neuen Produkts auf genauen Messergebnissen beruht. Z.B. werden Durchflussmesser eingesetzt, um Kraftstoffverbräuche zu steuern, Emissionen zu optimieren oder hochgenau teure Aromen in Lebensmittel oder gesundheitskritische medizinische Inhaltsstoffe in Arzneien zu dosieren. Solchen Kunden ist mit einem schönen Zertifikat nicht geholfen.

Das nachfolgende Beispiel ist aus einem solchen Bereich. Und das hat uns bewogen, mit einem Artikel für dieses Thema zu sensibilisieren.

Eine korrekte Kalibrierung sollte aussagekräftige Informationen über die Leistung des getesteten Instruments liefern. Sie erfordert technisches Know-how, die nötige Ausrüstung und zuverlässige Handhabung.

„Bei der Beschaffung eines Messgerätes laden ausgebildete und erfahrene Ingenieure oft mehrere Hersteller ein, ihre Produkte und Lösungen vorzustellen. Sie wägen ab und testen sie sorgfältig, bevor sie entscheiden, welche Ausrüstung für ihre Anwendung die beste ist“, sagt Costel Hanea, Kalibrieringenieur von den TrigasFI Kalibrierlaboren.

"Aber wenn es um die Kalibrierung geht, prüft kaum jemand, wem und wie er seine Geräte überlässt. Oft erreichen uns Geräte in einem Paket, mit einer kurzen Anmerkung "Bitte kalibrieren". Wenn wir dann die wichtigen Fragen zu Prozessbedingungen, Medien, Umgebung, Installation usw. stellen, dann wird das Gerät zum nächsten Mal in ein anderes Labor geschickt, das nicht so viele unbequeme Fragen stellt, sondern das Messgerät zusammen mit einem schönen „Kalibrierzertifikat“ zurückschickt“.

Das ist zuweilen beängstigend, wenn man bedenkt, in welchen Anwendungen diese Durchflussmesser verwendet werden. “



So schickte uns ein Kunde ein hochgenaues Turbinen-Durchflussmessgerät mit der Aufforderung, „auf 0,01% Genauigkeit zu kalibrieren“, so wie es offensichtlich von einem anderen Serviceanbieter während des vorherigen Kalibrierzyklus durchgeführt wurde.

„TrigasFI ist nach DAkkS / ISO 17025 für die Kalibrierung von Flüssigkeiten mit einem Unsicherheitsbudget von 0,04% zertifiziert. Tatsächlich unterstützt unser eigenes Unsicherheitsbudget 0,03%, eine der besten Genauigkeiten in Europa. Eine Unsicherheit von 0,01% wäre selbst für die best ausgestatteten nationalen Labore, wie die PTB in Deutschland, eine große Herausforderung“, erklärt Hanea.

„Allerdings gab es ein anderes Problem, das uns misstrauisch machte.

Wir kennen diese Art von Durchflussmessern, die normalerweise nicht viel besser als 0,1% sein können. Selbst diese Genauigkeit kann in der Anwendung nur dann erreicht werden, wenn die Kalibrierung streng unter den gleichen Viskositätsbedingungen durchgeführt wird, die während des tatsächlichen Betriebs vorhanden sind, bzw. wenn ein bestimmter Viskositätsbereich kalibriert und später kompensiert wird.

Daher haben wir nach den Anwendungsdaten des Kunden und dem letzten Kalibrierzertifikat gefragt, um zu sehen, was dort getan wurde, um solch brillante Ergebnisse zu erzielen...“

Hier einige Ausschnitte aus diesem erstaunlichen Zertifikat:

2. Bezugsnormal	
Hersteller:	FLOW TECHNOLOGY
Modell:	MT 50
Seriennummer:	MT [REDACTED]
Bereich:	0,11 – 189,3 l/min
Messsystem:	Verdrängungskolben
Kalibrierzeichen:	[REDACTED]
Hersteller:	TTI
Modell:	TG 10A
Seriennummer:	[REDACTED]
Bereich:	0,01 – 10 MHz
Messunsicherheit:	±10ppm/Jahr
Hersteller:	[REDACTED] GmbH
Modell:	NT-P 2010
Seriennummer:	[REDACTED]
Bereich:	0 - 10 V
Messunsicherheit:	0.03% v.MW + 2mV
Bereich:	0.01 – 5 kHz
Messunsicherheit:	±0.01% Messwert

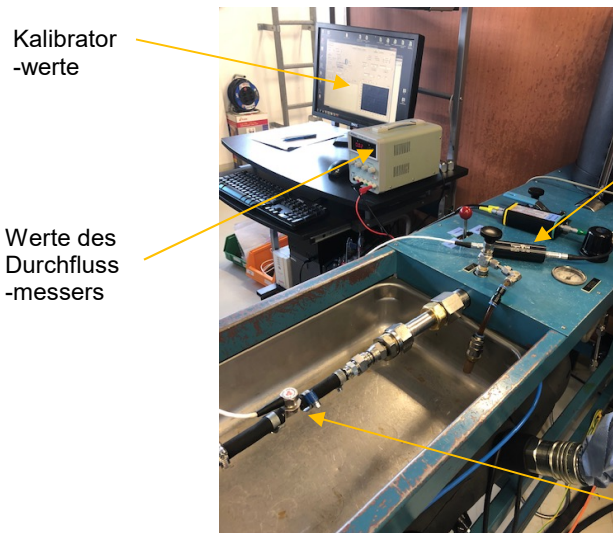
Zunächst überraschte uns in den Kopfdaten, dass für den angegebenen Kolbenkalibrator (MT50), der als Referenz angegeben wurde, keine Messungssicherheit ausgewiesen wurde. Die Unsicherheit für den Kalibrator oder das Mastergerät sollte immer in einem Zertifikat aufgeführt werden, da es ja entscheidend für die Gültigkeit der Kalibration ist. Warum wurde es also nicht angegeben? (Die zu erwartete Kalibrierungsunsicherheit eines solchen Kolbenkalibrators liegt in der Regel zwischen 0,03 und 0,05% des Messwerts.)

Stattdessen wurden ein Frequenzgenerator und ein Voltmeter mit Unsicherheiten von +/- 10 ppm / Jahr bzw. +/- 0,01% aufgeführt, die für eine Durchflusskalibrierung normalerweise nicht benötigt werden. Offensichtlich wurde aber hier impliziert, dass die Messunsicherheit des Durchflussmessers von diesen beiden Geräten abhängt, was nicht der Fall ist.

Nun stellte sich uns die Frage, wie diese Kalibrierdaten überhaupt aufgenommen werden konnten. Wurde der Kalibrator überhaupt verwendet, wenn keine Unsicherheit dafür angegeben wurde? Und wofür wurden der Frequenzgenerator und das Voltmeter verwendet?

Lassen Sie uns dazu einen normalen Set-up einer Durchflusskalibrierung anschauen:

Auf dem Bild ist die Kalibrierung einer Messkette aus Durchflussmessgeräts zusammen mit seinem Auswertegerät (elektronische Signalaufbereitungs- / Kompensationseinheit) auf einem der erwähnten Kalibratoren zu sehen:



Kalibrator
-werte

Werte des
Durchfluss-
messers

Die Auswerteelektronik wandelt das Sensorsignal (bei Turbinensensoren eine Frequenz) beispielsweise in ein analoges Signal um. Z.B. 2 kHz = 10 V

Bei einer Skalierung von 0-10 V = 0-10 l / min würde ein gemessenes Signal von 10 V einem Durchfluss von 10 l / min entsprechen.

Dies wird dann mit dem Messergebnis des Kalibrators für diesen Punkt verglichen. Wenn der Kalibrator nun z.B. nur 9,5 l / min anzeigt, hätte dieser Punkt eine Abweichung von 5%.

Durchflussmesser auf dem Kalibrator

Diese Tabelle zeigt den Testreport, der als „Messergebnisse“ bezeichnet wird.

5. Messergebnisse

Nr.: [redacted]

Anwender : [redacted]
 Auftragsnummer : [redacted]
 Sensortyp : **FT6-BAE**
 Sensor SN : [redacted]
 Elektroniktyp : **TLSV500**
 Elektronik SN : [redacted]
 Mittelwertbildung : **00 Perioden**
 K-Faktor : **12000.000 Pulse/l**
 Untere Grenzfrequenz : **1.7 Hz**
 Pulsausgang : **NPN SV Pegel**
 Temperatur : **40.0 °C**
 Viskosität : **75.00 mm²/s**
 Maximale Abweichung ± : **0.71 % vom Endwert** im Standardmessbereich des Sensors
 Bemerkungen : Universalviskositätskurve erstellt aus den Kalibrierung bei 9 ; 20 ; 75 mm²/s
 Der Ausdruck entspricht dem Durchfluss bei einer Temperatur von 40°C

Die ersten beiden Spalten zeigen offensichtlich Kalibrierdaten: Durchflussrate in l/min, wie sie von einem Kalibrator hätte gemessen werden können, und die sich ergebende Frequenz (Hz) der getesteten Turbine.

FT6-BAE		TLSV500					
DURCHFLUSS	FREQUENZ	ANALOG	ANALOG	ABW.	FREQUENZ	FREQUENZ	ABW.
l/min	Hz	V [SOLL]	V [IST]	%EW	Hz [SOLL]	Hz [IST]	%w.EW
0.220	8.850	0.220	0.219	-0.01	44.0	44.0	0.00
0.283	11.850	0.283	0.282	-0.01	56.5	56.5	0.00
0.455	21.000	0.455	0.455	0.00	91.0	91.0	0.00
0.758	41.025	0.758	0.758	0.00	151.6	151.6	0.00
1.047	63.525	1.047	1.047	0.00	209.4	209.4	0.00
1.576	112.200	1.576	1.576	0.00	315.2	315.2	0.00
2.631	222.225	2.631	2.631	0.00	526.3	526.3	0.00
3.851	357.225	3.851	3.850	-0.01	770.1	770.1	0.00
6.057	606.225	6.057	6.057	0.00	1211.4	1211.4	0.00
9.074	948.450	9.074	9.074	0.00	1814.9	1814.9	0.00

Diese Durchflussdaten wurden aber verwendet, um sie in die TLSV500 Linearisierungselektronik einzuprogrammieren, mit Korrekturen für jeden Punkt, so dass der Analogausgang 0...10 V genau auf 0...10 lpm skaliert wurde.

Zum Beispiel: 8.850 Hz = 0.220 l/min, 11.850 Hz = 0.283 l/min, etc

Und hier endet der Zusammenhang mit der tatsächlichen Durchflussmessung. Die restlichen Tests wurden offensichtlich ohne das Durchflussmessgerät - und damit auch ohne die Berücksichtigung der in der Realität entscheidenden Einflüsse der mechanischen und thermischen Einflüsse auf diesen Sensor - durchgeführt.

Stattdessen wurde mit dem erwähnten Frequenzgenerator eine Signalfrequenz in die Elektronikeinheit TLSV eingespeist. Die Werte dieser Frequenz wurden so eingestellt, dass sie genau mit den Frequenzen übereinstimmten, die während der ursprünglichen Durchflusskalibrierung aufgezeichnet wurden und die damals in den elektronischen Signalaufbereiter programmiert worden waren. Und weil die Frequenzen genau den in die TLSV Elektronik einprogrammierten Kardinalpunkten entsprach, zeigte der Analoge Ausgang natürlich genau die dazu entsprechenden Werte in V.

Eine Elektronik, die so programmiert wurde und in die eine Frequenz von 8,850 Hz eingespeist wird, wird selbstverständlich einen Ausgang von 0,220 lpm generieren, innerhalb der Auflösungsgenauigkeit des eingebauten Digital-Analog-Wandlers.

Und tatsächlich sind die angezeigten Abweichungen von 0,00 bis 0,01% vom Endwert zu erwarten bei einem 13 -14 bit D-A-Wandler.

Bei dem Frequenzausgang gibt es diese Wandlung nicht, so dass hier die Abweichung durchgängig 0,00% ist.

So, wie die Daten in diesem Zertifikat dargestellt werden, wird aber impliziert, dass 0,01% die **Unsicherheit des Kalibrierungspunkts** ist, was eindeutig nicht der Fall ist. Die angezeigten Daten sind nichts anderes als eine Funktionsprüfung des elektronischen Auswerteeinheit, ohne die tatsächliche Leistung des Durchflussmessgeräts zu berücksichtigen.

Uns so sieht ein Setup so eines Tests aus:

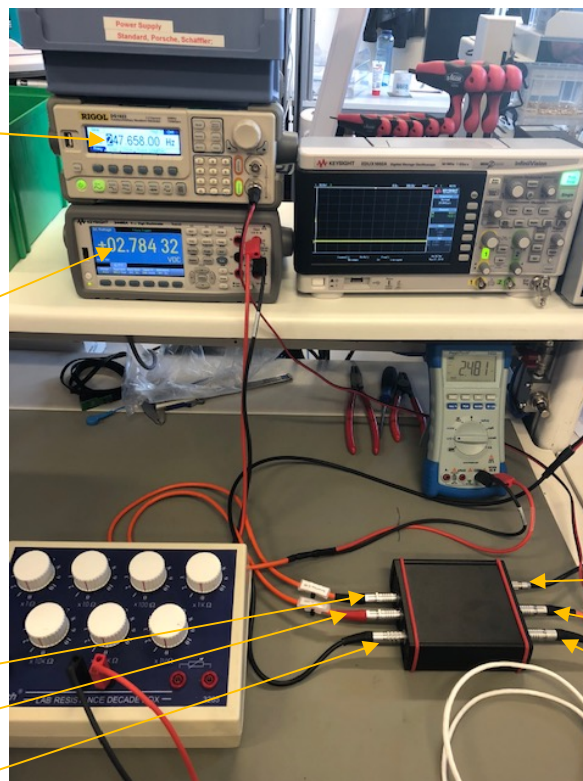
Frequenzgenerator speist eine Frequenz in die Elektronikeinheit ein, für den ersten Punkt z. B. 8.850 Hz aus der ursprünglichen Tabelle

Ein Voltmeter misst den Ausgang und registriert für den ersten Punkt in diesem Fall 0.219 V (was mehr oder weniger dem einprogrammierten Sollwert von 0,220 V für die Frequenz von 8.850 Hz entspricht)

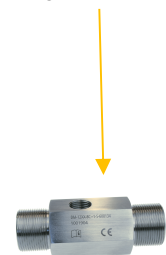
Durchfluss-Ausgang

Temperatur-Ausgang

Spannungsversorgung



Der Durchflussensor ist an den Tests, die dieses Zertifikat beschreibt, nicht beteiligt.



Programmierkabel

Temperatur-Simulations-
eingang

Frequenz-Simulations-
eingang

Nicht genug damit, ergeben sich bei genauerem Hinschauen noch weitere fragwürdige Angaben. So wird die Abweichung dieser Messeinrichtung in% vom Endwert (EW) anstelle in % vom Messwert (MW) angegeben. Die Angabe der Genauigkeit in% von EW ist in Spezifikationen von Durchflussmessern üblich, die eine geringere Genauigkeit aufweisen, für Hochpräzisions-Turbinendurchflussmesser, sind sie sehr ungewöhnlich. Zudem sind sie für eine Kalibrierung nicht relevant, da hier Kalibrierpunkte und deren Abweichung (vom Messwert) aufgenommen werden sollen. Die Angabe der Ergebnisse vom Endwert ist offensichtlich ein Versuch, die Ergebnisse besser erscheinen zu lassen. Tatsächlich hätten selbst die auf die oben beschriebene Weise aufgenommenen Werte wie folgt aussehen müssen:

Durchflussrate: 0,220 l / min
Erwartete Spannung: 0,220 V
Tatsächliche gelesene Spannung: 0,219 V
Abweichung: 0,001 V
% Fehler: $0,001 / 0,220 = 0,45\%$ v. MW (vom Messwert)

Der Bericht gibt jedoch Werte zwischen **0,00 und 0,01% v. EW** (des Endwerts) an, während die tatsächliche Messunsicherheit um das 45-fache höher ist.

Weiterhin wirft die Angabe des Viskositätsbereiches Fragen auf, bei dem angeblich hier kalibriert wurde (von der hier keine Ergebnisse zur Verfügung stehen, aber die hätten einzeln aufgeführt werden sollen, um die Programmierwerte für den Sensor ordnungsgemäß zu ermitteln).

5. Messergebnisse

Nr.: [REDACTED]

Anwender: [REDACTED]
Auftragsnummer: [REDACTED]
Sensortyp: **FT6-BAE**
Sensor SN: [REDACTED]
Elektroniktyp: **TLSV500** 0 V = 0 °C
Elektronik SN: [REDACTED] 10 V = 120 °C
Mittelwertbildung: **00 Perioden** 0 V = 0 l/min
K-Faktor: **12000.000 Pulse/l** 10 V = 10 l/min
Untere Grenzfrequenz: **1.7 Hz** 0 Hz = 0 l/min
Pulsausgang: **NPN 5V Pegel** 2000 Hz = 10 l/min
Temperatur: **40.0 °C** TBase = 60 s
Viskosität: **75.00 mm²/s** Faktor = 1
Maximale Abweichung ±: **0.71 % vom Endwert** im Standardmessbereich des Sensors
Bemerkungen: Universalviskositätskurve erstellt aus den Kalibrierung bei 9 ; 20 ; 75 mm²/s
Der Ausdruck entspricht dem Durchfluss bei einer Temperatur von 40°C

Es wird angegeben, dass die Durchflusskalibrierung selbst mit einem Kalibriermedium von 75,00 mm²/s durchgeführt wurde, was einer Medientemperatur von 40,0 ° C entsprechen sollte.

Diese generelle Angabe ist sehr unwahrscheinlich, da der verwendete Kalibrator (MT50-Kolbenkalibrator) nur für Umgebungstemperatur ausgelegt ist.

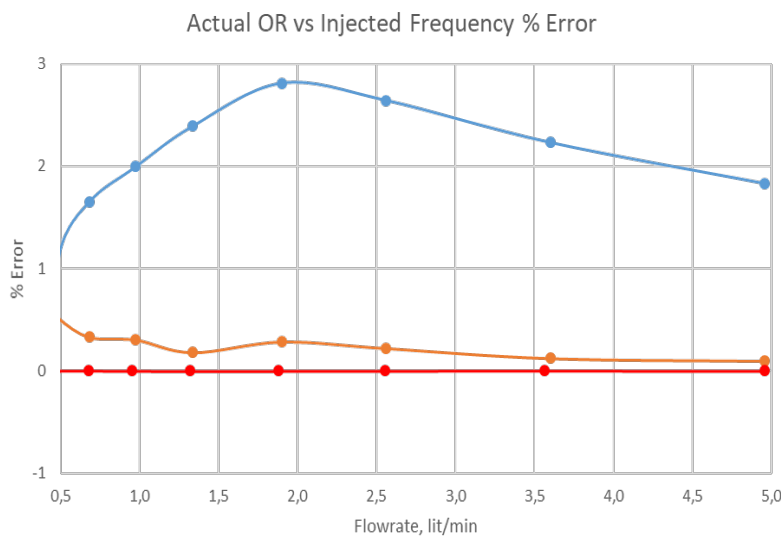
FT6-BAE		TLSV500					
DURCHFLUSS	FREQUENZ	ANALOG	ANALOG	ABW.	FREQUENZ	FREQUENZ	ABW.
l/min	Hz	V [SOLL]	V [IST]	%EW	Hz [SOLL]	Hz [IST]	%v.EW
0.220	8.850	0.220	0.219	-0.01	44.0	44.0	0.00
0.283	11.850	0.283	0.282	-0.01	56.5	56.5	0.00
0.455	21.000	0.455	0.455	0.00	91.0	91.0	0.00
0.758	41.025	0.758	0.758	0.00	151.6	151.6	0.00
1.047	63.525	1.047	1.047	0.00	209.4	209.4	0.00
1.576	112.200	1.576	1.576	0.00	315.2	315.2	0.00
2.631	222.225	2.631	2.631	0.00	526.3	526.3	0.00
3.851	357.225	3.851	3.850	-0.01	770.1	770.1	0.00
6.057	606.225	6.057	6.057	0.00	1211.4	1211.4	0.00
9.074	948.450	9.074	9.074	0.00	1814.9	1814.9	0.00

Es ist davon auszugehen, dass dabei mit dem angegebenen Kalibrator die tatsächliche Durchflusskalibrierung bei Umgebungstemperatur mit einem Kalibriermedium von ca. 75 mm²/s +/- 10% durchgeführt wurde. (Die Viskositätsvariabilität von +/- 10% ist darauf zurückzuführen, dass die Temperatur während des Kalibrierungsvorgangs nicht kontrolliert wird.)

Die Aussage über 40°C bezieht sich daher nicht auf die tatsächliche Durchflusskalibrierung, sondern auf eine Temperatursimulation.

„Nun waren wir neugierig, wie die tatsächliche Genauigkeit einer solchen Mess-Ausrüstung war und wie sie dem vorgelegten Zertifikat entsprechen würde“, erinnert sich Herr Hanea.
„Um dies zu veranschaulichen, haben wir einen identischen Durchflussmesser einmal ohne und

dann mit einer Temperaturkompensation als Messkette (Durchflussmesser und Elektronik zusammen) kalibriert“.



Die Ergebnisse sind hier dargestellt:

Im Diagramm sehen wir die Ergebnisse der Kalibrierung über einen Messbereich von 1:10. Ohne angewendete Temperaturkompensation stiegen die Abweichungen vom Messwert auf ungefähr 3% (blaue Linie).

Mit Temperaturkompensation erreichten sie etwa 0,5% (orangefarbene Linie), was für einen Durchflussmesser dieser Art und Marke typisch ist.

Die rote Linie zeigt die unrealistische Performance-Kurve (rote Linie), die durch die Frequenz-Einspeisung erzeugt wurde.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass trotz der gezeigten Werte von 0,01% oder besser, die Erwartung des Kunden über eine solche Messunsicherheit, in der praktischen Anwendung und unter realen Bedingungen von Temperatur und Viskositätseinfluss, nicht erfüllt werden kann.

Die Aussage des vorliegenden Zertifikates, das lediglich eine Prüfung des D-A-Wandlers der Auswerteelektronik betrifft, wird vom Kunden hoffentlich nicht als Unsicherheit seiner Durchflussmessenrichtung interpretiert. Irreführenderweise wird dieser Report aber als „Kalibrierzertifikat“ betitelt. Und selbst die Werte der Elektronikprüfung hätten eigentlich bei ca. 0,45% vom Messwert richtig ausgewiesen werden müssen

Zusammenfassung:

Kunden, die hohe Erwartungen an ihre Durchflussmessgeräte haben, die für den Einsatz in kritischen Anwendungen vorgesehen sind, sollten auf transparente, eindeutige Kalibrierzertifikate mit Daten bestehen, die für ihre Prozessanforderungen relevant sind. In solchen Zertifikaten muss der verwendete Kalibrator mit seiner Messunsicherheit eindeutig identifiziert werden, um sicherzustellen, dass er für den beabsichtigten Zweck überhaupt geeignet ist.

Eine Kalibrierung nur eines Teils der Messkette (entweder nur die Kalibrierung eines Durchflussmessers oder nur ein Simulationstest des elektronischen Verstärkers, wie wir es in diesem Fall haben) liefert kein vollständiges Bild der Genauigkeit der Messkette. Die richtige Methode, um ein umfassendes Unsicherheitsbudget für den Messvorgang aufzustellen, ist eine Kalibrierung der gesamten Messkette unter Bedingungen, die denen des tatsächlichen Betriebs möglichst nahe kommen.

„Vielleicht sind die Ergebnisse dann nicht so brillant, dafür aber relevant. Und nur wenn wir wissen, wie hoch die Abweichung eines Durchflussmessers wirklich ist, können wir versuchen, die entsprechenden Faktoren zu berücksichtigen und zu kompensieren“, sagt Costel Hanea mit einem Augenzwinkern. "Es ist wie im wirklichen Leben, wir sollten immer vorsichtig sein, wenn etwas zu gut ist, um wahr zu sein."