

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Anwendungshinweis werden First Sensors LBA-Differenzdrucksensoren experimentell mit anderen Sensoren verglichen, die nach dem gleichen Messprinzip arbeiten, bei dem der Differenzdruck mit Hilfe der thermischen Massendurchflussmessung einer kleinen Luftströmung durch den Sensor bestimmt wird. Befindet sich Staub in der Luftströmung, verlieren alle Vergleichssensoren mit Strömungswiderständen von 15 Pa/(ml/s) bis 300 Pa/(ml/s) ihre Kalibration oder fallen komplett aus. First Sensors LBA-Differenzdrucksensoren mit Strömungswiderständen von >10 kPa/(ml/s) benötigen aufgrund ihres sehr kleinen, im Silizium-Chip integrierten Strömungskanals 100- bis 1000-fach weniger staubbelastete Luft zur Durchführung der Messungen und behalten ihre spezifizierte Messgenauigkeit über die gesamte Testdauer.

1 EINFÜHRUNG

LBA-Niedrigstdrucksensoren ab 25 Pa (0,25 mbar) Messbereichsendwert bestimmen den Differenzdruck (ΔP) durch die Messung einer sehr kleinen Gasströmung durch einen im Sensorchip integrierten Strömungskanal mit sehr hoher pneumatischer Impedanz. Die Sensoren nutzen dabei das Prinzip der thermischen Massendurchflussmessung auf MEMS-Ebene. Neben dem Strömungskanal und dem Messelement enthält der Silizium-Sensorchip eine komplette analoge CMOS-Signalaufbereitung.

2 DURCHFLUSSBASIERTE DIFFERENZDRUCKSENSOREN

Aufgrund des Messprinzips kommt es bei durchflussbasierten Differenzdrucksensoren während des Betriebs zu einer Gasströmung durch den Sensor. Dies gilt für alle Differenzdrucksensoren die auf dem Prinzip der thermischen Massendurchflussmessung beruhen, im Gegensatz zu piezoresistiven Drucksensoren, bei denen das zu messende Gas auf eine undurchlässige Membran aus Silizium trifft. Wegen ihrer hohen Messempfindlichkeit werden durchflussbasierte Sensoren erfolgreich zur präzisen und kostengünstigen Messung kleinster Differenzdrücke von wenigen Millibar eingesetzt.

Für die jeweilige Anwendung muss entschieden werden, wie viel Durchfluss durch den Sensor zu tolerieren ist. Dies hängt stark davon ab, wie der ΔP -Sensor in der Anwendung eingebaut und genutzt wird.

Unter Umständen können durchflussbasierte Niedrigst-Differenzdrucksensoren von anderen pneumatischen Komponenten wie Verbindungsschläuchen und Filtern gestört werden. Einige Hersteller empfehlen daher bestimmte maximale Schlauchlängen oder geben Korrekturformeln an, um die Kalibration des Sensors zu gewährleisten. Außerdem kann staubbelastete oder feuchte Luft einen negativen Einfluss auf das Messergebnis haben. Manche Sensoren verwenden daher interne Filter bzw. Staubfallen.

Entwickler von Systemen und Geräten, die Differenzdrucksensoren nach dem Prinzip der thermischen Massendurchflussmessung einsetzen, müssen die Auswirkungen der Strömung durch den Sensor berücksichtigen um die Genauigkeit und Langlebigkeit ihrer Produkte zu gewährleisten. Leider gibt es zu diesem Thema keine standardisierten Test- oder Zertifizierungsverfahren und meist auch keine genauen technischen Informationen. Die Tests in diesem Bericht wurden durchgeführt, um auf die grundlegende Bedeutung der Strömung durch durchflussbasierte Differenzdrucksensoren für einen verlässlichen Betrieb unter realen Umgebungsbedingungen hinzuweisen.

Hinweis:

Die pneumatische Impedanz R_{pn} des Sensors, gemessen in [kPa/(ml/s)], bestimmt den Gasfluss durch den Sensor bei einem bestimmten Druckabfall ΔP_s über dem Sensor:

$$\text{Gasfluss durch den Sensor} = \frac{\Delta P_s}{R_{pn}}$$

3 DURCHFLUSSMESSUNG MIT DIFFERENZDRUCKSENSOREN

Durchflussbasierte Differenzdrucksensoren werden häufig zur Messung von Druckdifferenzen genutzt, die durch Gasströmungen in Rohrleitungen und Strömungskanälen verursacht werden. Beispiele sind die Bestimmung des Atemflusses in der Medizintechnik sowie die Messung von Luftströmungen oder die Filterüberwachung in der Klimatechnik.

Der Sensor wird in einem Nebenzweig (Bypass) zur Hauptströmungsleitung eingesetzt und misst den Druckabfall $\Delta P = P_1 - P_2$ über einem Strömungselement wie in Bild 1 gezeigt. Der Druckabfall ist dabei ein Maß für den Volumendurchfluss durch die Hauptleitung. Es gibt verschiedene Elemente zur Erzeugung eines künstlichen Druckabfalls: Blenden, laminare Strömungselemente, Pitotrohr oder Venturidüse. In der Spirometrie kommen spezielle Pneumotachographen (z.B. nach Fleisch oder Lilly) zum Einsatz.

First Sensors Differenzdrucksensoren der LBA-Serie bieten sehr hohe pneumatische Widerstände von >10 bis >100 kPa/(ml/s) abhängig vom jeweiligen Druckbereich. Grundsätzlich brauchen die LBA-Sensoren daher viel weniger Bypass-Strömung für die Druckmessung und stören so die Hauptströmung auch viel weniger als Sensoren mit einem geringeren pneumatischem Widerstand. Dies macht die LBA-Differenzdrucksensoren in dieser für viele Anwendungen wichtigen Eigenschaft vergleichbar mit membranbasierten Drucksensoren.

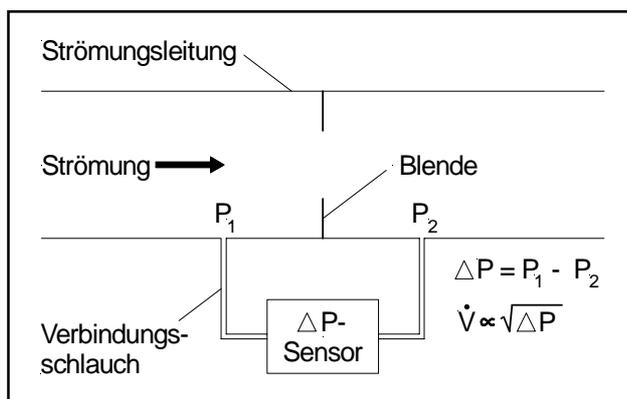


Bild 1: Typische Anordnung zur Durchflussmessung nach dem Differenzdruckverfahren

4 GEFAHR DURCH STAUBBELASTUNG

In Anwendungen wie der Klimatechnik kann die Luft staubbelastet sein und es besteht die Gefahr, dass Staubpartikel ins Innere des durchflussbasierten Drucksensors gelangen. Die möglichen negativen Auswirkungen könnten sein:

- Eine Erhöhung des inneren pneumatischen Widerstands des Sensors und dadurch eine Abnahme der kalibrierten Empfindlichkeit, sichtbar als Abnahme des Sensor-Ausgangssignals bei gleichbleibendem Druck.
- Eine vollständige Verstopfung des inneren Strömungskanals des Drucksensors, d.h. ein Totalausfall des Sensors.
- Staub haftet an den empfindlichen Mikrostrukturen des Messelements im Inneren des Sensors an und verändert die Kalibration.

Allgemein besteht also durch staubbelastete Luft prinzipiell ein Risiko für die Funktionssicherheit durchflussbasierter Drucksensoren. Allerdings ist die mögliche Beeinträchtigung sehr stark vom inneren pneumatischen Widerstand des Sensors abhängig.

4.1 Risikofaktoren für Staubbelastung

Staubmenge und Strömungsgeschwindigkeit

Die Menge an Staubpartikeln, die die Strömung zum Eingang des Sensors bringt, hängt vom transportierten Gasvolumen durch den Sensor und von der Strömungsgeschwindigkeit ab.

Die Menge an Staubpartikeln, die in den inneren Strömungskanal des Sensors gelangt, hängt von der Staubmenge am Eingang des Sensors und von der Geschwindigkeit der Strömung in den Sensor hinein ab.

Die Strömungsgeschwindigkeit zum Sensor hat neben dem Einfluss auf die transportierte Gasmenge eine weitere wichtige Wirkung. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit langsam genug ist, können sich die in der Luft befindlichen Staubpartikel absetzen, bevor sie den Sensor erreichen und dadurch die Staubbelastung verringern.

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

Hinweis:

Der pneumatische Widerstand des Sensors beeinflusst direkt die Strömungsgeschwindigkeit der Luft durch den Sensor und den gesamten Nebenweig in dem sich der Sensor befindet. Ein hoher Widerstand reduziert die Luftmenge und auch die Strömungsgeschwindigkeit der Luft. Auf diese Weise können sich Staubpartikel absetzen, bevor sie den Sensor erreichen und die Krafterwirkung auf Staubteilchen, die sich am Eingang des Sensors befinden, wird reduziert.

Staubart

Für große, schwere Staubpartikel ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch die Verbindungsschläuche zum Sensor transportiert werden nicht so hoch wie für kleine, leichte Staubpartikel. Außerdem bestimmt die Größe der Staubteilchen, ob sie die Strömung in den Sensor blockieren können und ob sie ins Innere des Sensors gelangen können.

Staubkonzentration

Die Staubkonzentration die den Sensor erreicht hängt von der Staubkonzentration in der Hauptleitung ab.

Verbindungsschläuche zum Sensor

Je größer der innere Durchmesser der Verbindungsschläuche im Nebenweig (siehe Bild 1), desto geringer ist die Luftgeschwindigkeit am Eingang des Sensors. Je länger der Verbindungsschlauch desto größer ist dessen pneumatischer Widerstand, was wiederum einen Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit der staubbeladenen Luft hat. Weiterhin können Staubfilter oder Staubfallen den Sensor schützen.

Hinweis:

Ziel der folgenden experimentellen Untersuchung ist die Abschätzung und der Vergleich des Einflusses staubbeladener Luft auf die Sensoren selber. Filtersysteme oder andere Schutzmaßnahmen werden nicht untersucht.

5 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON DURCHFLUSSBASIERTEN DRUCKSENSOREN IN STAUBIGER LUFT

Um die Gefahr staubbeladener Luft für durchflussbasierte Differenzdrucksensoren zu untersuchen wurden verschiedene Vergleichstests durchgeführt.

Der Versuchsaufbau wurde so gewählt, dass einstellbare und reproduzierbare Bedingungen für die verschiedenen Tests möglich waren. Verschiedene Sensoren mit unterschiedlichen pneumatischen Widerständen wurden parallel geschaltet, so dass sie jeweils gleichen Differenzdrücken und Testbedingungen ausgesetzt waren.

5.1 Teststaub

Der Staub für die Staubquelle wurde von einem Hersteller für genormte Teststäube bezogen. Es handelte sich um "ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust" mit Partikelgrößen von weniger als 1 µm (<3.5 % Volumen) bis ungefähr 100 µm, mit einer annähernd gleichmäßigen Volumenverteilung zwischen ~5 µm und ~40 µm.

Chemische Zusammensetzung des Teststaubs:

SiO ₂	68-76 %
Al ₂ O ₃	10-15 %
Fe ₂ O ₃	2-5 %
Na ₂ O ₃	2-4 %
CaO	2-5 %
MgO	1-2 %
K ₂ O	2-5 %
TiO ₂	0.5-1 %

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

5.2 Versuchsaufbau

Im ersten Versuchsaufbau (siehe Bild 2) sind die untersuchten Sensoren horizontal zur Staubkammer angeordnet und befinden sich alle auf der gleichen Höhe.

In der zweiten Anordnung (siehe Bild 3) befinden sich die Sensoren vertikal über der Staubkammer, so dass die staubbeladene Luft nach oben strömen muss. Hier wird erwartet, dass die Schwerkraft Staubpartikel zurückhält und so dem Sensor einen gewissen Schutz vor Verschmutzung bietet.

Es wurde versucht, turbulente Strömungen zu vermeiden um die gleichmäßige räumliche Staubverteilung nicht zu stören.

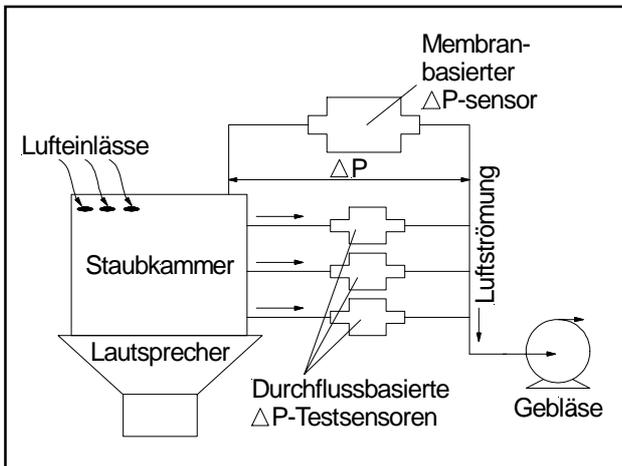


Bild 2: Darstellung des horizontalen Versuchsaufbaus

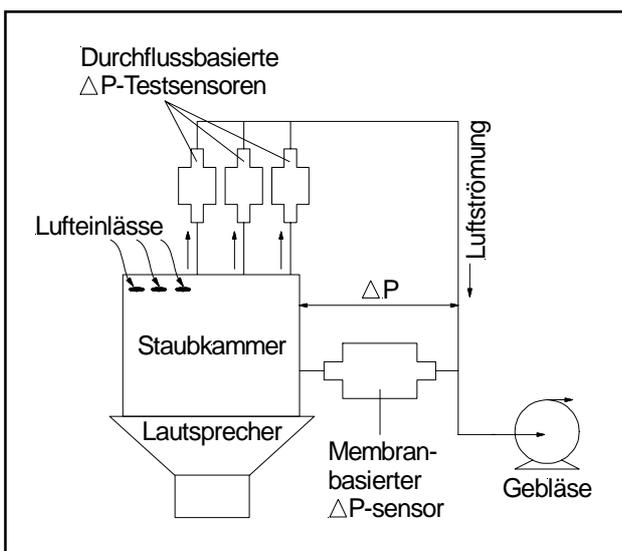


Bild 3: Darstellung des vertikalen Versuchsaufbaus

5.3 Testbedingungen

In allen Versuchen wurden die zu untersuchenden Sensoren parallel zueinander und parallel zu einem handelsüblichen membranbasierten ΔP -Drucksensor (der nicht von Staub beeinflusst wird) verbunden. Alle Sensoren waren somit dem gleichen Differenzdruck ΔP ausgesetzt. Die Zuleitung zu den einzelnen Sensoren bestand aus einem kurzen Schlauch (ca. 12 cm) mit einem Innendurchmesser von 1/8 inch (3,175 mm).

Mit dem Ziel, eine reproduzierbare Staubkonzentration zu erreichen, wurde ca. 10 cm³ Teststaub in eine Kammer mit einem Volumen von einigen hundert cm³ deponiert. Die Staubkammer wurde mit Hilfe eines gebräuchlichen Niederfrequenz-Lautsprechers (Subwoofer) kontinuierlich mit 20 Hz Dreieckspulsen mit einer Amplitude von ca. 1 mm angeregt. Die Kammer hatte Lufteinlässe, durch die Luft von außen unter Atmosphärendruck durch die Staubkammer und zum Eingang der Sensoren strömen konnte.

Ein einstellbares Gebläse erzeugte einen kontinuierlichen Unterdruck am Ausgang der zu testenden durchflussbasierten Differenzdrucksensoren. Dieser Unterdruck „zog“ Luft aus der Staubkammer durch alle Sensoren gleichzeitig. Die Strömung durch jeden einzelnen Sensor war dabei umgekehrt proportional zu dessen pneumatischer Impedanz.

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

5.4 Getestete Sensoren

Die folgenden handelsüblichen Differenzdrucksensoren verschiedener Hersteller wurden getestet:

- First Sensors LBA-Sensoren mit Druckmessbereich 0...250 Pa, pneumatischem Widerstand ~80 kPa/(ml/s) und Ausgangssignal 0.5...4.5 V.
 - Bezeichnung: **LBAS250UF6S (# 1)**
 - Bezeichnung: **LBAS250UF6S (# 2)**
- First Sensors LBA-Sensor mit Druckmessbereich 0...50 Pa, pneumatischem Widerstand ~30 kPa/(ml/s) und Ausgangssignal 0.5...4.5 V.
 - Bezeichnung: **LBAS050UF6S**
- Sensoren von Hersteller #1 mit Druckmessbereich 0...±20 Pa, pneumatischem Widerstand ~15 Pa/(ml/s) und Ausgangssignal ±70 mV.
 - Bezeichnung: **Sensor 1-1**
 - Bezeichnung: **Sensor 1-2**
- Sensoren von Hersteller #2 mit Druckmessbereich 0...200 Pa, pneumatischem Widerstand ~15 Pa/(ml/s) und Ausgangssignal 0.5...4.5 V.
Diese Sensoren haben eine integrierte Mikroapparatur zur Staubabscheidung.
 - Bezeichnung: **Sensor 2-1**
 - Bezeichnung: **Sensor 2-2**
 - Bezeichnung: **Sensor 2-3**
- Sensoren von Hersteller #3 mit Druckmessbereich -20...+500 Pa, pneumatischem Widerstand ~300 Pa/(ml/s) und Ausgangssignal 0.25...4.25 V.
 - Bezeichnung: **Sensor 3-1**
 - Bezeichnung: **Sensor 3-2**

5.5 Testverfahren

Jeweils 2 bis 4 Sensoren wurden in verschiedenen Tests verglichen. Dabei entsprach der eingestellte ΔP -Testdruck ungefähr dem Sensor mit dem größten Messbereichsendwert.

Während der Tests wurden die Ausgangssignale aller untersuchten Sensoren und des membranbasierten Referenzdrucksensors kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet. Dabei zeigten die Sensoren mit einem kleineren Messbereichsendwert als der angewendete ΔP -Testdruck ein gesättigtes Ausgangssignal. Um diese Sensoren zu überwachen, wurden die Tests zu verschiedenen Zeiten mehrmals unterbrochen und die Strömung reduziert.

Für alle Testsensoren wurde eine grobe Signal-Druck-Kennlinie aufgenommen, indem die Gebläseleistung verändert wurde, um unterschiedliche ΔP -Differenzdrücke einzustellen. Diese grobe Kennlinienaufzeichnung wurde vor Beginn der Staubtests, an mehreren Zeitpunkten während der Tests und am Ende der Tests durchgeführt.

Zusätzlich wurden für alle LBA-Sensoren vor und nach den Tests Kennlinien mit genau eingestelltem Differenzdruck aufgenommen um die groben Resultate zu überprüfen und um Sensoren, die während der Tests gesättigte Ausgangssignale zeigten, genauer zu untersuchen (siehe Abschnitt 10).

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

6 TEST #1

Im ersten Test wurden die Sensoren

- LBAS250UF6S (# 2)
- LBAS050UF6S
- Sensor 2-1

im Versuchsaufbau wie in Bild 2 gezeigt, untersucht. Die Sensoren waren horizontal zur Staubkammer angeordnet und befanden sich alle auf der gleichen Höhe. Der Test dauerte **20 Stunden** bei einem konstanten Differenzdruck $\Delta P = 200 \text{ Pa}$.

Die groben Testergebnisse für Sensor 2-1 sind in Bild 4 gezeigt. Die genaueren Ergebnisse für die beiden LBA-Sensoren zeigen die Bilder 11 und 12 (siehe letzte Seite).

Wie man in Bild 4 sieht, fiel das Ausgangssignal des Sensors 2-1 um mehr als 50 % nachdem der Sensor 219 Minuten staubbelasteter Luft ausgesetzt war. Nach 20 Stunden Testdauer zeigte der Sensor kaum noch Ausgangssignal und war damit praktisch ausgefallen.

Beide LBA-Sensoren zeigten dagegen keine Änderung der Signal-Druck-Kennlinie nach 20 Stunden in staubbelasteter Luft bei $\Delta P = 200 \text{ Pa}$ wie man in den Bildern 11 und 12 sieht.

Der gravierende Unterschied zwischen Sensor 2-1 und den LBA-Sensoren überrascht nicht, da der Unterschied in der pneumatischen Impedanz mindestens Faktor 1000 beträgt. Das bedeutet, dass durch Sensor 2-1 tausend mal mehr staubbelastete Luft fließt als durch die LBA-Sensoren und dass auch die Strömungsgeschwindigkeit durch Sensor 2-1 um den Faktor >1000 höher ist.

In den kurzen Verbindungsschläuchen zu Sensor 2-1 waren beträchtliche Mengen abgelagerter Staub zu sehen, wohingegen die Schläuche zu den LBA-Sensoren kaum Staubablagerungen zeigten.

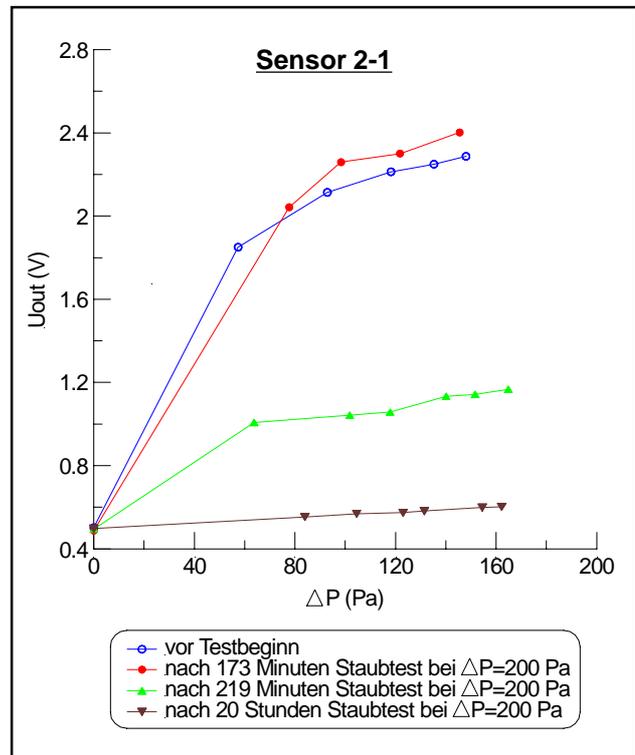


Bild 4: Ergebnisse Test #1 für Sensor 2-1 (horizontaler Versuchsaufbau)

7 ZUSÄTZLICHER TEST #1a

Zur Überprüfung der Ergebnisse aus Test #1 wurde ein baugleicher Sensor von Hersteller #2 (**Sensor 2-3**), zusammen mit dem schon verwendeten Sensor **LBAS250UF6S (# 2)** im gleichen Versuchsaufbau getestet. Der Test lief wieder **20 Stunden**.

Die Ergebnisse waren denen aus Test #1 sehr ähnlich. Das Ausgangssignal von Sensor 2-3 fiel nach wenigen Stunden stark ab und war nach 20 Stunden nahe null. Der LBAS250UF6S (# 2) zeigte praktisch keine Änderung der Kennlinie nach weiteren 20 Stunden Staubbeltung.

Nach diesem Test wurden beide Sensoren 2-3 geöffnet (zerlegt) um nach dem Ausfallgrund zu suchen. In den Sensoren wurde eine große Menge angehäufter Staub gefunden, darunter erhebliche Ablagerungen direkt hinter dem Eingang zum Sensor.

Auch der LBA-Sensor wurde zerlegt, ohne dass Staub im Inneren sichtbar wurde.

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

8 TEST #2

Im zweiten Test wurden die Sensoren

- LBAS250UF6S (# 1)
- LBAS050UF6S
- Sensor 1-1
- Sensor 3-1

im Versuchsaufbau wie in Bild 2 gezeigt untersucht. Die Sensoren waren horizontal zur Staubkammer angeordnet und befanden sich alle auf der gleichen Höhe. Der Test dauerte **18 Stunden** bei einem konstanten Differenzdruck $\Delta P = 450 \text{ Pa}$. Dieser Druckwert lag nahe dem Messbereichsendwert von Sensor 3-1 und über den Messbereichsendwerten aller anderen Testsensoren, so dass diese während des Tests ein gesättigtes Ausgangssignal zeigten.

Die groben Testergebnisse sind in Bild 5 bis 7 gezeigt. Die genaueren Ergebnisse für die beiden LBA-Sensoren zeigen die Bilder 10 und 12.

Aus den aufgenommenen Kennlinien in Bild 5 erkennt man, dass Sensor 1-1 bereits nach 1 Stunde seine Kalibration erheblich verändert hat. Nach 2 Stunden hat sich das Ausgangssignal bereits um mehr als die Hälfte verringert. Zu beachten ist auch die Verschiebung des Nullpunkts nach 2 Stunden.

Aus Bild 6 erkennt man, dass Sensor 3-1 nach 2 bis 18 Stunden Staubbelastung praktisch ganz ausgefallen ist.

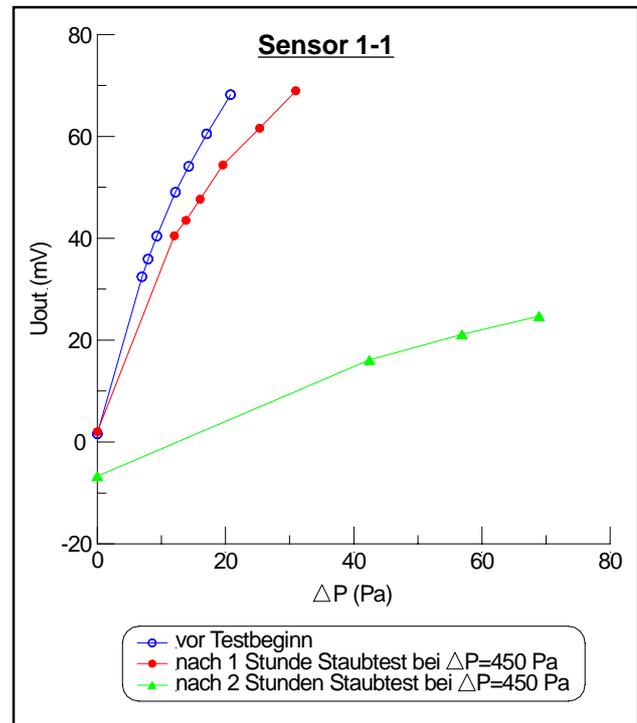


Bild 5: Ergebnisse Test #2 für Sensor 1-1 (horizontaler Versuchsaufbau)

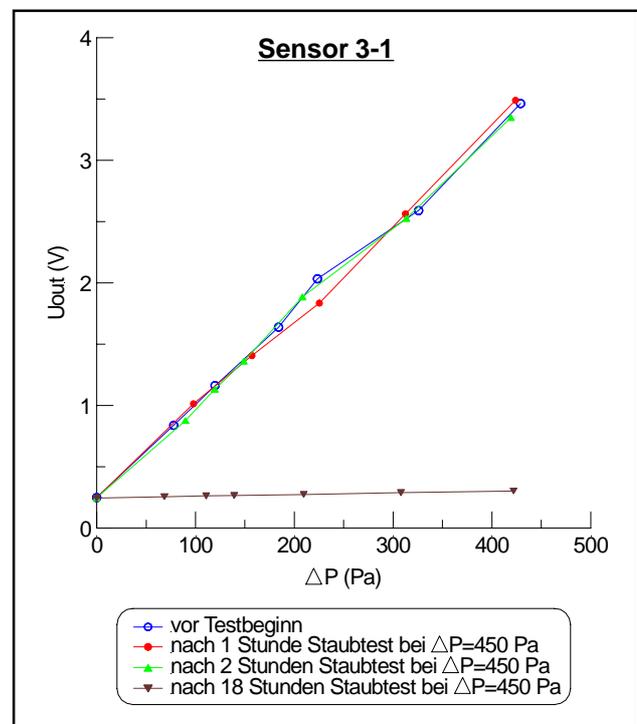


Bild 6: Ergebnisse Test #2 für Sensor 3-1 (horizontaler Versuchsaufbau)

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

Der LBAS250UF6S (# 1) zeigt fast keine Veränderung seiner Kennlinie nach 1, 2 und 18 Stunden wie aus der groben Messwertaufzeichnung in Bild 7 zu erkennen ist. Die genaueren Ergebnisse in Bild 10, gemessen vor und nach Test #2, bestätigen, dass der LBA-Sensor keine negativen Auswirkungen durch die 18-stündige Staubbelastung zeigt.

Bild 12 zeigt die Ergebnisse für den LBAS050UF6S-Sensor. Es handelt sich hierbei um den selben Sensor, der schon 20 Stunden Staubbelastung aus Test #1 ausgesetzt war. Die Kennlinie zeigt keine Veränderung auch nach weiteren 18 Stunden Staubbelastung aus Test #2.

Der gravierende Unterschied zwischen den Sensoren 1-1 und 3-1 und den LBA-Sensoren ist wiederum nicht überraschend, da der Unterschied in der pneumatischen Impedanz mindestens Faktor 100 beträgt. Es fließt also viel mehr staubbeladene Luft mit einer viel höheren Strömungsgeschwindigkeit durch die Sensoren 1-1 und 3-1 als durch die LBA-Sensoren.

In den kurzen Verbindungsschläuchen zu den Sensoren 1-1 und 3-1 waren beträchtliche Mengen abgelagerter Staub zu sehen, wohingegen die Schläuche zu den LBA-Sensoren kaum Staubaablagerungen zeigten.

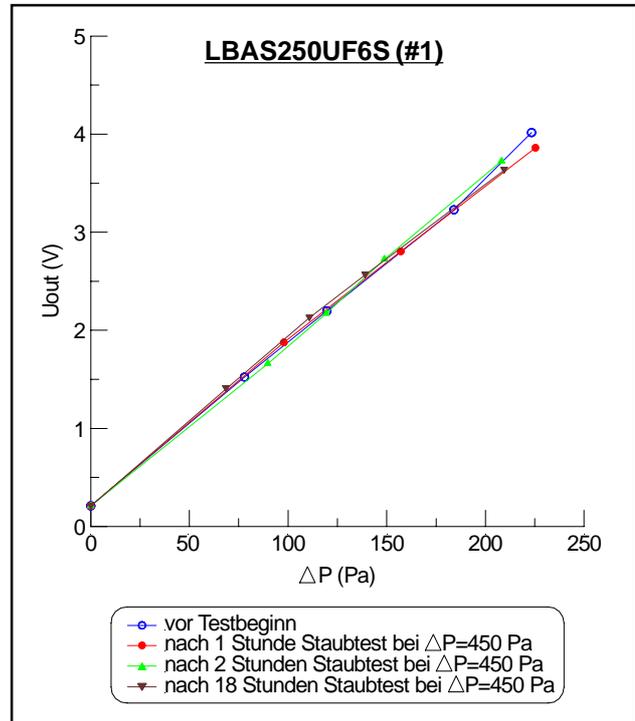


Bild 7: Ergebnisse Test #2 für LBAS250UF6S (#1) (horizontaler Versuchsaufbau)

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

9 TEST #3

Im dritten Test wurden die Sensoren

- LBAS250UF6S (# 2)
- LBAS050UF6S
- Sensor 2-2
- Sensor 3-2

im Versuchsaufbau wie in Bild 3 gezeigt, untersucht. Die Sensoren waren diesmal vertikal über der Staubkammer angeordnet und befanden sich alle auf der gleichen Höhe. Der Test dauerte **27 Stunden** bei einem konstanten Differenzdruck $\Delta P = 250 \text{ Pa}$. Dieser Druckwert lag über den Messbereichsendwerten der Sensoren 2-2 und LBAS050UF6S, so dass diese während des Tests ein gesättigtes Ausgangssignal zeigten.

Die groben Testergebnisse sind in Bild 8 und 9 gezeigt. Die genaueren Ergebnisse für die beiden LBA-Sensoren sieht man in Bild 11 und 12.

Bei den LBA-Sensoren handelt es sich um die selben Sensoren, die schon in den Tests #1 und #2 für viele Stunden staubbelasteter Luft ausgesetzt waren.

Die Ergebnisse in den Bildern 8 und 9 zeigen, dass es bei vertikaler Anordnung der Sensoren über der Staubkammer viel länger dauert, bis Auswirkungen durch die staubbeladene Luft festzustellen sind. Nach 25 Stunden haben die Sensoren 2-2 und 3-2 ihre Kalibration erheblich verloren, nach weiteren 2 Stunden hat sich diese Entwicklung noch weiter verstärkt. Dies ist nicht überraschend, da die Schwerkraft die Staubpartikel in der Luftströmung auf dem Weg zum Eingang der Sensoren zurückhält und verzögert.

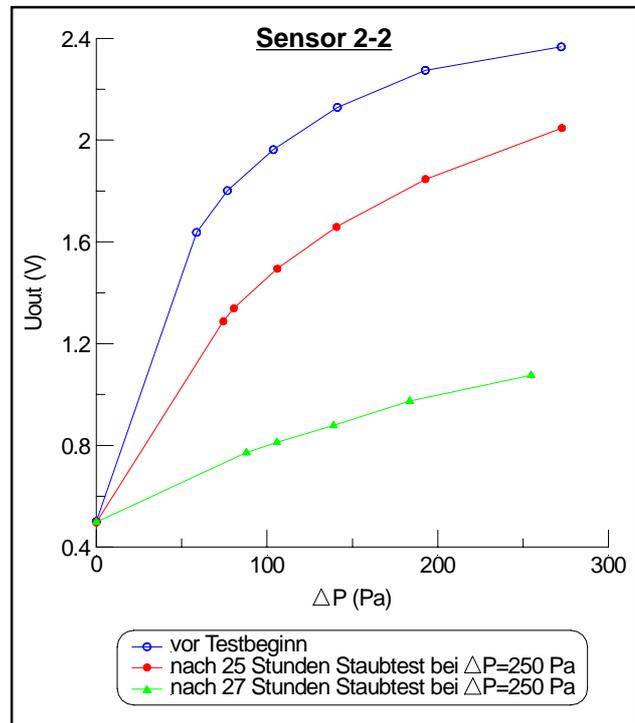


Bild 8: Ergebnisse Test #3 für Sensor 2-2 (vertikaler Versuchsaufbau)

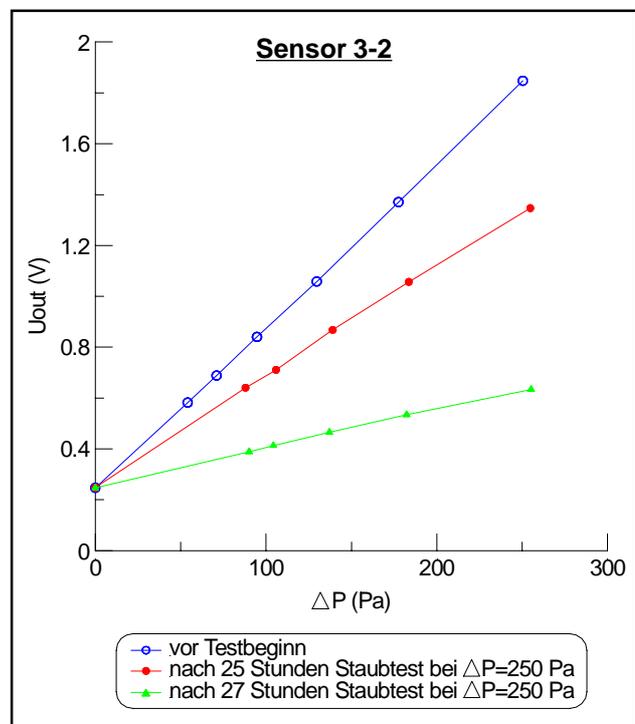


Bild 9: Ergebnisse Test #3 für Sensor 3-2 (vertikaler Versuchsaufbau)

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

Bild 11 zeigt, dass die Signal-Druck-Kennlinie des LBAS250UF6S (# 2) nach 25+2=27 Stunden zusätzlich zu den 20 Stunden aus Test #1 immer noch unverändert ist.

Aus Bild 12 ist zu erkennen, dass der LBAS050UF6S jetzt erste Anzeichen für eine Veränderung seiner Signal-Druck-Kennlinie zeigt (nur wenige Prozent), nachdem er 25+2=27 Stunden zusätzlich zu den 20+18=38 Stunden aus den Tests #1 und #2 staubbelasteter Luft ausgesetzt war. Es ist nicht überraschend, dass der LBAS050UF6S vor dem LBAS250UF6S betroffen ist, da seine pneumatische Impedanz niedriger ist (~30 kPa/(ml/s) zu ~80 kPa/(ml/s)).

Der gravierende Unterschied zwischen den Sensoren 2-2 und 3-2 und den LBA-Sensoren ist wiederum durch den großen Unterschied in der pneumatischen Impedanz (mindestens Faktor 100) leicht erklärbar. Es fließt also wie schon in den vorherigen Tests viel mehr staubbeladene Luft mit einer viel größeren Strömungsgeschwindigkeit durch die Sensoren 2-2 und 3-2 als durch die beiden LBA-Sensoren.

In den kurzen Verbindungsschläuchen zu den Sensoren 2-2 und 3-2 waren auch in diesem Test mit vertikaler Anordnung der Sensoren über der Staubkammer beträchtliche Mengen abgelagerter Staub zu sehen. Die Schläuche zu den LBA-Sensoren zeigten kaum Staubablagerungen .

10 SCHLUSSBETRACHTUNG

Für ΔP -Differenzdrucksensoren, die auf dem Prinzip der thermischen Massendurchflussmessung beruhen, kommt es während des Betriebs zu einer Gasströmung durch den Sensor. Bei diesen Sensoren ist der pneumatische Widerstand des inneren Strömungskanals des Sensors ein entscheidender Faktor für sein Verhalten in staubbelasteten Anwendungen.

First Sensors LBA-Differenzdrucksensoren mit pneumatischen Widerständen >10 kPa/(ml/s) wurden mit anderen Sensoren mit gleichem Messprinzip aber wesentlich geringeren Strömungswiderständen von 15 bis 300 Pa/(ml/s) in Anwendungen mit staubbelasteter Luft verglichen. In allen Tests verloren die Sensoren mit niedrigen pneumatischen Widerständen nach wenigen Stunden ihre Kalibration oder fielen ganz aus. Die LBA-Sensoren zeigten keine oder keine nennenswerte Änderung ihrer Signal-Druck-Kennlinie.

Der hohe Strömungswiderstand der LBA-Drucksensoren hat verschiedene Auswirkungen:

- Die Menge staubbelasteter Luft, die den Eingang des Sensors erreicht, wird reduziert
- Die Strömungsgeschwindigkeit der staubbelasteten Luft zum Sensor verlangsamt sich und Staub kann sich ablagern bevor er den Eingang des Sensors erreicht
- Die Krafteinwirkung auf Staubteilchen, die sich am Eingang des Sensors befinden, wird reduziert

Wenn der Verbindungsschlauch zum Sensor vertikal angeordnet ist, d.h. die Strömung gegen die Schwerkraft zum Sensoreingang fließt, verringert sich die Belastung durch staubbelastete Luft.

Je weniger Strömung der Sensor zur Druckmessung braucht, desto besser ist das Verhalten des Sensors in der Anwendung und desto unempfindlicher ist er gegenüber staubbelasteter Luft. First Sensors LBA-Sensoren bieten sehr hohe Strömungswiderstände und daher erhebliche Anwendungsvorteile.

Entwickler von Systemen und Geräten, die Differenzdrucksensoren nach dem thermischen Massendurchflussprinzip einsetzen, werden aufgefordert, ähnliche Tests für ihre speziellen Anwendungen durchzuführen, um die Eignung der Sensoren zu überprüfen.

LBA-Differenzdrucksensoren: Sehr unempfindlich gegenüber Staub

GENAUERE SIGNAL-DRUCK-KENNLINIEN DER LBA-SENSOREN

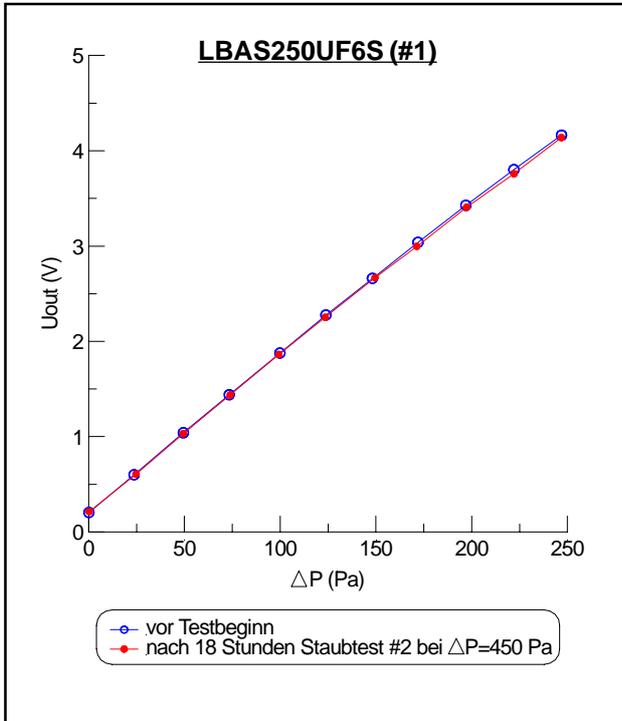


Bild 10: Kennlinien des LBAS250UF6S (# 1)

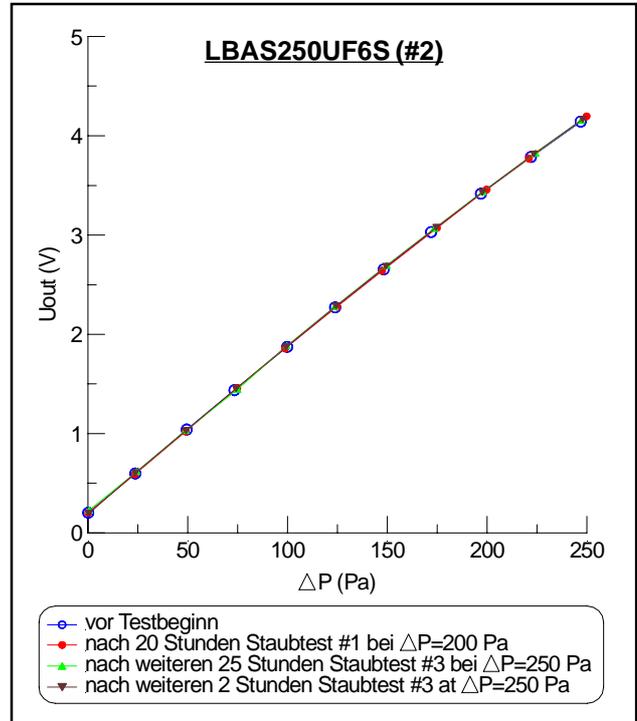


Bild 11: Kennlinien des LBAS250UF6S (# 2)

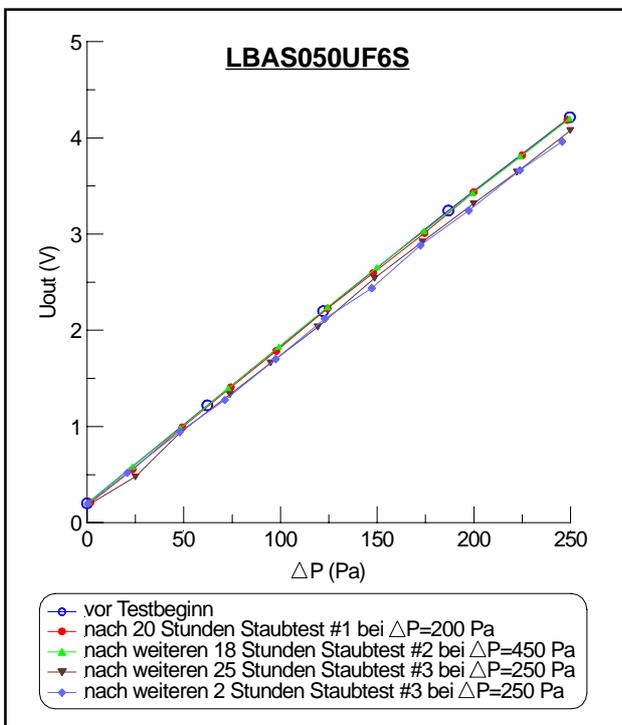


Bild 12: Kennlinien des LBAS050UF6S