

## »Unkaputtbare« Drucksensoren aus Ingenieurssicht



Dieser Bericht aus der Ingenieurspraxis beschreibt eine erfolgreiche Prüfung von Drucksensoren auf mechanische Robustheit und die dabei gewonnenen Erkenntnisse.

### Die Ausgangslage, die Herausforderung

»Der Sensor wird direkt am Motor montiert, wir haben keine andere Möglichkeit. Der Sensor muss daher starke Vibrationen und Temperaturschwankungen aushalten«, – mit solchen und ähnlichen Kundenaussagen werden Entwickler im Automotive-Bereich häufig konfrontiert. Neben hoher Genauigkeit, kleinem Gehäuse, Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit und elektrischen Störungen, kommt so die Forderung des nahezu unzerstörbaren mechanischen Aufbaus hinzu. Gegenüber den Motor-Steuergeräten sind bei Sensoren zusätzliche Schwierigkeiten zu überwinden. Das Messelement lässt sich mechanisch beeinflussen und es ist kaum Platz für den Anschlussstecker vorhanden bzw.

der Anschlussstecker ist im Verhältnis zum Gerät größer und schwerer.

### Ist das Produkt wirklich robust?

Die Natur ist im Allgemeinen einfallreicher als die besten Entwickler. Nach der Umsetzung der Vorgaben muss die Robustheit an Serienteilen nachgewiesen werden. Neben entwicklungsbegleitenden Tests bieten sich zur finalen Verifikation die Normen ISO 16750-3 und DIN EN 60068-2-80 an: Gesamt 282 Stunden Vibrationen mit 18-facher Erdbeschleunigung, in allen drei Achsen, bei gleichzeitig 70 Temperaturzyklen zwischen -40 °C und +125 °C – was während und nach diesem harten Test funktioniert, darf als »äußerst robust« bezeichnet werden.

### Der Schlüssel zum Erfolg: Ein geeigneter Prüfaufbau

Aus der Erfahrung war bekannt, dass weniger robuste Produkte schon nach 16 Stunden Vibration versagen. Teilweise war nach dem Test nur noch »Sand« im Gehäuse zu finden.

Und jetzt soll das Gerät diesen Belastungen fast 300 Stunden standhalten? Bei zwei Temperaturextremen, bei denen Kunststoffe spröde und dann wieder weich werden?

Einer der Schlüssel zum Bestehen des Tests ist der Prüfaufbau. Wenn der Prüfling selber nur 58 Gramm wiegt, der angeschlossene Stecker mit Kabel aber ein Mehrfaches – so ist auch die Befestigung der Zuleitung entscheidend für die entstehenden Belastungen. Die Zuleitungen und damit der Stecker dürfen nicht übermäßig am Prüfling zerren. Der Prüfaufbau darf auch nicht zu Vibrations-Resonanzen führen. Im getesteten Frequenzbereich bis 2000 Hz könnte es durch

Resonanzüberhöhungen zu einem Vielfachen der Beschleunigung kommen. Vorbereitende Messungen hatten an einfachen Testaufbauten lokale Überhöhungen bis zum Faktor drei ergeben – ohne dass dies von den Beschleunigungssensoren der Regelung erfasst worden wäre.

So kommt es, dass auch der geeignete Testaufbau nur mithilfe der 3D-Modellierung, der FEM-Simulationen und in mehreren Entwicklungsphasen zu realisieren war. Für Halterungen, die nur einmal verwendet wurden, musste also erheblicher Aufwand betrieben werden. Zusammen mit den weiteren Personalaufwendungen und den externen Laborkosten entstehen so Kosten, die auch die Anschaffung eines gehobenen Mittelklasse-PKWs erlauben würden (s. Abb. 1).

### (K)eine einfache Wahl: Welche Prüflinge?

Welche und wie viele Prüflinge sind jeweils zu prüfen? Die Sensoren sind klein, also konnten 16 Geräte in einem Durchlauf getestet werden – ohne nennenswerte Mehrkosten. Die statistischen Überlegungen ergaben, dass sechs Prüflinge einer Variante eine ausreichend sichere Aussage zulassen. Neben der »eigentlichen«, der relevanten Produktvariante, war somit noch Platz für zwei weitere Sensortypen. Prinzipiell war damit jedes noch nicht getestete Produkt ebenfalls ein Kandidat für die Prüfung.

Nach sorgfältiger Abwägung wurden die Varianten gewählt, bei denen es eine Chance gab, den Test zu bestehen und die aufgrund ihres Lebenszyklus am ehesten für eventuelle Designverbesserungen in Frage kamen.

### Die drei Prüfläufe

Die trockene Bezeichnung »Tests nach Normen ISO 16750-3 und DIN EN 60068-2-80« bedeutet in der Praxis einen garagengroßen Prüfstand für Teile, die nur 5 cm lang sind.

Während der Prüfung bei einem externen Dienstleister wurden über eine Online-Verbindung die Prüflinge per-



▲ Abb. 1: Das Ergebnis der FEM-Simulationen und mehrerer Entwicklungsstufen: Ein Modell des Testaufbaus mit den Prüflingen in blau.



▲ Abb. 2: Resultat einer lockeren Schraube am Kabelbaum: Angescheuerte Zuleitung zum Prüfaufbau.

manent überwacht. Bei einem Ausfall sollte zeitnah reagiert werden können. Bei zu langsamer Reaktion könnten weitere Vibrationen durch lose Teile das Geräteinnere so stark beschädigen, dass die Ursachenforschung erschwert würde.

Nach jeweils 94 Stunden ist der Prüfaufbau auf die jeweils andere Achse umzubauen. Trotz dabei sorgfältigstem Vorgehen, löste sich während des zweiten Testlaufs eine der Schrauben zur Befestigung des abgehenden Kabelbaumes. Aufgrund der dadurch

unzureichenden Fixierung musste eine deutliche Beschädigung einer der Zuleitungen festgestellt werden. Siehe Abb. 2.

### Es kommt zu Ausfällen

Nach 10 Tagen reiner Prüfzeit trat das Unerwünschte ein: Eines der sechs relevanten Geräte zeigte Aussetzer. Der Test würde als »nicht bestanden« gelten, wenn auch nur ein Prüfling ausfiel. Sollte der Aufwand umsonst gewesen sein? Genau der Prüfling, dessen Zuleitung durch die lockere Ka-

## PRAXIS



▲ **Abb. 3:** Trotz korrekt nach IPC ausgeführter Crimpung: Drahtbruch direkt vor der Quetschung. Die Litzenenden sind noch zu erkennen.

belführung beschädigt war, zeigte den Fehler. Es wurde deshalb vermutet, dass der bereits erkannte Kabelschaden zu den Aussetzern geführt habe. Eine Vermutung, die sich im Nachhinein als nur teilweise richtig herausstellen sollte. Auch um eventuell andere Schwachstellen an weiteren Geräten zu erkennen oder zu bestätigen, wurde der Test zu Ende gefahren.

### Die Nacharbeit: Ursachenforschung, weitere Untersuchungen und abschließende Bewertung

Wie bei jedem Experiment ist die Auswertung von großer Bedeutung. Bei der Ursachensuche für den entscheidenden Ausfall zeigte sich, dass an einer Crimpung im Stecker die Litzen abgerissen waren (s. Abb. 3). Die Crimpverbindung war korrekt und nach IPC-Vorschrift ausgeführt worden, es gab keine Anzeichen eines Fehlers. Auch an den Crimpungen der anderen Prüflinge waren keine Beschädigungen oder beginnende Schwächung erkennbar. Es ist daher naheliegend, dass der Abriss auf die zeitweise lose Zuleitung zurückzuführen ist. Die Reibspuren bewiesen, dass sich die Zuleitung erheblich bewegt haben musste, sie hat »um sich geschlagen«. Obwohl die beschädigte Kabelstelle ca. 40 cm vom Prüf-



▲ **Abb. 4:** Ein Crimp-Fehler im vergossenen Teil führte zum Kurzschluss.

ling (und damit der Crimpung) entfernt war, hat sich der dadurch entstehende Zug in dem Kupferleiter bis zur erkannten Bruchstelle fortgesetzt und zum Abriss der Litzen geführt. Experimente haben bestätigt, dass sich die Kupferlitze auch auf dieser Länge aus der fixierten Isolierung herausziehen lässt. Da die Zuleitung und die Crimpung im Stecker aber nicht Bestandteil des Produktes sind, führte dieser Ausfall in keinem Fall zur »Fail«-Bewertung des Tests.

Die Untersuchung nach der Prüfung beinhaltet auch die Suche nach Veränderungen. Sind an Kontaktstellen Reibspuren zu sehen, sind Farbänderungen an Bauteilen festzustellen, sind Risse oder Schwächungen aufgetreten usw.? Selbstverständlich muss der Drucksensor auch innerhalb der zulässigen Abweichung funktionieren – ein erneuter Kalibrierlauf wurde durchgeführt. Alle Untersuchungen haben keine Defekte ergeben. Der Test galt damit für den relevanten Transmittertyp als bestanden.

Eine Vorserienvariante, die aufgrund der zur Verfügung stehenden Prüfkapazität mitgetestet wurde, hatte weniger Glück: Es kam zu Ausfällen. Die Röntgenuntersuchung der vergossenen Verbindungsstelle zeigte hier als

Ursache, dass eine einzelne Litzenader des Kabelanschlusses nicht mit vercrimpt wurde und zeitweise zu einem Kurzschluss führte (s. Abb. 4). Diese Crimpstelle ist Teil des Produktes. Vor Serienfertigung dieser Variante wird der Crimp-Prozess überarbeitet und eine erneute Qualifizierung muss durchgeführt werden (Abb. 4).

### Fazit

Bei dem beschriebenen Test handelt es sich um eine sehr harte Prüfung. Drucksensoren und andere Geräte, die diesen Test bestanden haben, dürfen sich zu Recht als mechanisch robust, als zuverlässig bezeichnen. Die Entwicklungsingenieure haben die Forderung nach »unkaputtbar« erfolgreich ins technisch und wirtschaftlich Machbare umgesetzt.

### ► INFO

Autor:  
Dipl.-Ing. (FH) Walter Felber  
Projektmanager Messtechnik bei  
Sensor-Technik Wiedemann GmbH  
Am Bärenwald 6  
87600 Kaufbeuren  
Tel.: 08341 9505-0  
Fax: 08341 9505-55  
E-Mail: info@sensor-technik.de  
www.sensor-technik.de