

# Schmelzedruckmessung mit neuem Impuls

**Messtechnik.** Momentan decken Schmelzedrucksensoren mit Füllmedium fast 85 % der Anwendungen im Extruderbau ab. Der Trend geht jedoch immer mehr zum Sensor ohne Füllmedium. Durch Einsatz der piezoresistiven Druckmesstechnik gelang die Entwicklung eines robusten Sensors mit zahlreichen Vorteilen.



KAI WEIGAND

Die Schmelzedruckmessung hat sich bereits seit Jahrzehnten in fast allen Extrusionanwendungen etabliert. Was macht sie so wichtig? Zum einen dient sie der Maschinensicherheit, weil Überdrücke erkannt und vermieden werden können. Gleichzeitig ist die Überwachung und Regelung des Schmelzedrucks für eine gleichbleibende Produktqualität notwendig.

Verbreitet sind unterschiedliche Messmethoden, und die Sensoren lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen:

- füllmediumfreie Sensoren und
- flüssigkeitsgefüllte Sensoren.

Momentan decken die Sensoren mit Füllmedium fast 85 % des Markts ab. Der Trend geht aber immer mehr zum Sensor ohne Füllmedium. Ein Grund dafür ist oft das kritische Füllmedium Quecksilber, wobei es dafür Alternativen gibt. Jedoch bieten nur Sensoren ohne Füllmedium eine deutlich höhere Robustheit, was die Lebensdauer verlängert sowie eine höhere Maschinensicherheit bietet.

Nachfolgend werden alle gängigen Sensorprinzipien dargestellt und ihre Vor- beziehungsweise Nachteile aufgezeigt.

## Gefüllte Sensoren stoßen an ihre Grenzen

Flüssigkeitsgefüllte Sensoren stoßen im Markt auf eine große Akzeptanz. Sie haben sich seit Jahrzehnten bewährt und befinden sich in fast jedem Extruder. Durch die einfache Technik und die hohen Stückzahlen sind die Sensoren heute auch relativ günstig zu fertigen.

Momentan fordern die Maschinenhersteller jedoch immer häufiger eine sichere Druckabschaltung. Eine sichere Druckerfassung ist mit flüssigkeitsgefüllten Sensoren jedoch nicht uneinge-

schränkt möglich, da sie dabei an technologische Grenzen stoßen. Die dünne und empfindliche Messmembran, die der häufigste Ausfallgrund ist, kann man nicht als sicher einstufen. Ein Blick auf das Funktionschema verdeutlicht die Schwachstellen dieser Art Sensoren (Bild 1): Genutzt wird hier das Prinzip der hydraulischen Druckübertragung. In der Messspitze des Sensors befindet sich hinter einer Trennmembran ein Flüssigkeitsvolumen. Dieses „heiß“ Volumen ist über eine Kapillare mit einem zweiten Volumen verbunden, das die Umsetzung in ein elektrisches Signal übernimmt. Es →

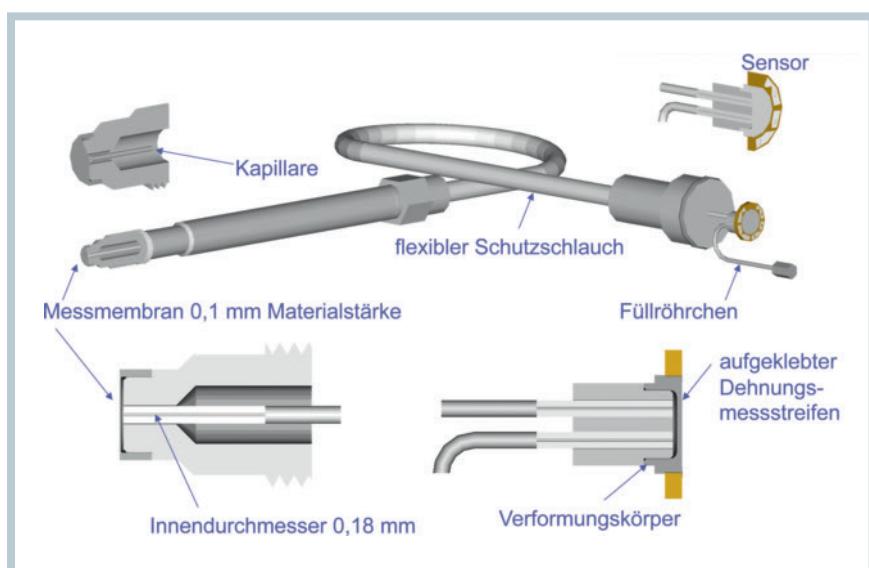


Bild 1. Schematischer Aufbau eines Massedrucksensors mit Füllmedium

drückt auf eine Membran mit aufgeklebtem Dehnungsmessstreifen (DMS). Vereinfacht lässt sich sagen: Die Kapillare mit dem Füllmedium sorgen für eine Temperaturentkopplung. Der Druck wird über das Füllmedium in das Sensorinnere an eine kalte Messstelle geleitet. Als Füllmedium hat sich bereits in der Vergangenheit Quecksilber durchgesetzt. Dieses giftige Schwermetall verfügt messtechnisch über sehr guten Eigenschaften und hat sich bewährt.

### Alternative Füllmedien verdrängen Quecksilber

Aufgrund neuer Gesetze, z. B. RoHS-Verordnung (Chemikalien-Risiko-Reduktionsverordnung) wird das Quecksilber immer mehr durch ungiftige Alternativen ersetzt. Der nächste Schritt, ein Komplett-Verbot, ist nicht mehr in allzu weiter Ferne zu erwarten.

Momentan sind drei ungiftige alternative Füllmedien im Markt. Ein unbedenkliches Füllmedium ist ein FDA-zugelassenes Lebensmittelöl. Dieses Öl ist bereits vielfach im Einsatz. Nachteilig ist oft der relativ hohe Temperaturdrift (Öl dehnt sich bei Erwärmung deutlich stärker aus als Quecksilber) sowie der begrenzte Einsatzbereich: Ölfüllungen sind nur bis 315°C nutzbar. Geschätzt reicht diese maximale Prozesstemperatur für ca. 80 % aller Anwendungen aus.

Die Kunststoffverarbeitung benötigt für Spezialprodukte aber auch deutlich höhere Verarbeitungstemperaturen. Moderne Hochleistungskunststoffe wie PEEK oder Polyetherimide erfordern auch mal Temperaturen bis 440°C und höher. Für diese Hochtemperaturanwendungen wird das ungiftige Füllmedium Natrium-Kalium (NaK) verwendet. Diese Metalllegierung ist bei Zimmertemperatur bereits flüssig und siedet erst bei sehr hohen Temperaturen. Mit speziellen Membranwerkstoffen können NaK gefüllte Sensoren sogar bei Temperaturen bis zu 538°C zuverlässig und langlebig Drücke messen. NaK-Sensoren dürfen jedoch nicht in explosionsgefährdeten Zonen eingesetzt werden. Austretendes NaK reagiert mit Luft und Wasser unter starker Hitzeentwicklung. Diese Eigenschaft erfordert spezielle Fertigungsschritte unter Schutzatmosphäre.

Ein weiteres, noch relativ neues Füllmedium ist Galinstan. Hierbei handelt es sich ebenfalls um eine Metalllegierung, die bei Zimmertemperatur schon flüssig ist. Die Bestandteile sind laut Hersteller Gallium, Indium und Zinn. Galinstan ist ungiftig und bietet ein gutes Temperaturdriftverhalten. Messtechnisch ist es sogar etwas besser als Quecksilber und deckt einen hohen Temperaturbereich ab. Wie NaK ist es bis 538°C verwendbar.

Der Nachteil von Galinstan ist die starke korrosive Wirkung. So kann es viele

Metalle auflösen. Für den Menschen zwar völlig ungiftig und unbedenklich kann es metallischen Komponenten in Maschinen schaden und metallische Komponenten im Extrusionsprodukt angreifen. Eine zusammenfassende Übersicht aller Eigenschaften ist in **Tabelle 1** dargestellt.

### Schmelzedruck-Sensor-techniken ohne Füllmedium

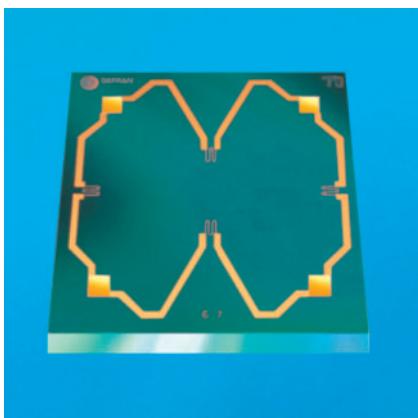
Bekannt sind grundsätzlich zwei Messtechniken: Die faseroptischen Hochtemperaturdrucksensoren, die nur in speziellen Anwendungen zu finden sind. Durch den hohen Preis und das schlechten Temperaturdriftverhalten sind sie für Extrusionsprozesse ungeeignet. Sie kommen meist nur bei sehr hohen Temperaturen zum Einsatz ( $T > 500^\circ\text{C}$ ).

Wesentlich häufiger wird die piezoresistive Druckmesstechnik angewendet. Man findet sie bereits in 10 bis 15 % aller Extrusions- und Spritzgießanwendungen. Mit der Sensorserie Typ Impact (Innovative Melt Pressure Accurate Transductor) hat die Gefran GmbH, Seligenstadt, eine zukunftsweisende Technologie entwickelt.

Der füllmediumfreie Sensor wird mit neuesten Fertigungstechnologien hergestellt. Hochpräzise Laserschweißanlagen verbinden spezielle Legierungen und Keramikbauteile zu einem robusten Sensor mit guten messtechnischen Eigenschaften und hoher Lebensdauer.

Sensoraufbau	Füllmedium DMS	Füllmedium DMS	Füllmedium DMS	Füllmedium DMS	Impact piezoresistiv
Füllmedium	Quecksilber	Öl mit FDA-Zulassung	NaK (Natrium-Kalium)	Galinstan	ohne
max. Temperatur	400°C	315°C	538°C	538°C	350°C
marktübliche Signale mA/V/mV	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz in Pharma- und Lebensmittelindustrie	nein	ja	ja	ja	ja
Messbereiche	0–17 / 0–1000 bar	0–35 / 0–1000 bar	0–35 / 0–1000 bar	0–35 / 0–1000 bar	0–100 / 0–3000 bar
Garantie bei Membranschäden	nein	nein	nein	nein	ja (3 Jahre)
Membrandicke	0,1 mm	0,1 mm	0,1 mm	0,1 mm	bis zu 1,5 mm
lange Lebensdauer	nein	nein	nein	nein	ja
Temperaturdrift	2 bar/ 100 K	4 bar / 100 K	3,5 bar/ 100 K	1,5 bar/ 100 K	aktive Temperaturkompensation
ATEX (Explosionsschutz)	ja	ja	nein	ja	ja
Nachteile	Quecksilber	Temperatur	kein Explosionsschutz	Medium korrosiv	Preis/Temperatur
PL c-Zertifizierung	nein	nein	nein	nein	ja
geeignet für Spritzgießanwendungen	nein	nein	nein	nein	ja

Tabelle 1. Technologien üblicher Schmelzedrucksensoren im Vergleich



**Bild 2.** Das Primärelement (Chip) ist eine Kombination von Sensoren und elektronischen Schaltungen auf einem Substrat

Vier Innovationen wurden während der Entwicklung patentiert: Das Messelement des Impact ist ein Mikro-Elektro-Mechanisches-System (MEMS) (**Bild 2**) und arbeitet nach dem piezoresistiven Messprinzip. Ein quadratischer Siliziumchip trägt die Membran und das Messelement. Die Messung selbst übernimmt eine in SOI-Technik (Silicon on Insulator) aufgebaute Wheatstone'sche Messbrücke (**Bild 3**). Der Chip verfügt über eine Isolationsschicht und eignet sich für eine Dauer temperatur von 350°C.

### Robuste Membran

Durch diese Bauart entsteht ein Sensorelement, das nur eine sehr geringe Auslenkung zum Vollaushang benötigt. Die Durchbiegung beträgt nur ca. 11 bis 14 µm, was die robuste Ausführung des Sensors erst ermöglicht. Die Druckübertragung übernimmt ein Stößel mit 5 mm Länge. Die Kontaktmembran hat je nach Druckbereich eine Dicke von 1 bis 1,5 mm und ist damit 10 bis 15-mal so dick wie herkömmliche Schmelzesensoren (**Bild 4**). Diese Membrandicke stellt den entscheidende Vorteil der Impact-Sensor technik dar, denn die Praxis zeigt, dass die Membranen auch durch anhaftende erkaltete Kunststoffe nicht beschädigt werden. Durch eine spezielle

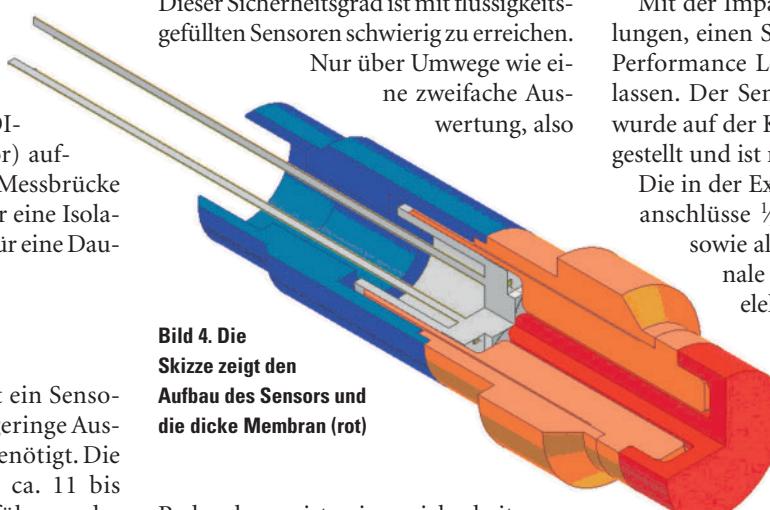
Verschleißschutzbeschichtung ist auch ein „Abschmirgeln“ bei abrasiven Füllstoffen erst nach längerem Einsatz zu erwarten.

Gleichzeitig ermöglicht diese Sensor technik Messungen in neuen Anwendungen. Die geringe Durchbiegung von max. 14 µm verursacht keine Materialermüdung in dynamischen Prozessen. Somit kann der Sensor auch für Messungen in Spritzgießmaschinen benutzt werden sowie auch für direkte Messungen oberhalb von Extruderschnecken.

### Sicherheitskonform nach Performance Level „c“

Die neu in Kraft getretene Maschinen richtlinie und die sich momentan in der Überarbeitung befindliche Extruder norm (EN 1114-1) erfordern eine sichere Überdruckabschaltung teilweise mindestens nach Performance Level „c“ (PL c). Dieser Sicherheitsgrad ist mit flüssigkeits gefüllten Sensoren schwierig zu erreichen.

Nur über Umwege wie eine zweifache Auswertung, also



**Bild 4.** Die Skizze zeigt den Aufbau des Sensors und die dicke Membran (rot)

Redundanz, ist eine sicherheits gerechte Auslegung möglich. Der Einsatz von zwei Schmelzesensoren verursacht aber höhere Zusatzkosten in der Maschinenausrüstung sowie auch in den Betriebskosten der Maschinen.

Bei den dünnen Membranen (0,1 mm) ist es unmöglich, nur einen Sensor allein zu verwenden, weil ein eventueller Membranriss nicht sicher erkennbar ist. Im schlimmsten Fall dringt Kunststoff am Riss in den Sensor ein und verschließt die hydraulische Druckübertragung. Der Sensor bleibt dann immer eingefroren auf dem letzten Druckwert stehen. Eine Überdruckabschaltung erfolgt nicht. Die Folge können schwere Schäden für Mensch und Maschine sein. Das Impact Funktionsprinzip ist bauartbedingt bereits sicher. Ein Membranriss kann nicht entstehen, und der Primärchip lässt sich auf Funktion und Stößelkontakt überwachen.



**Bild 3.** Sensorelement mit Träger

Mit der Impact-Technologie ist es gelungen, einen Schmelzedrucksensor mit Performance Level „c“ zertifizieren zu lassen. Der Sensor mit Zulassung PL c wurde auf der K2010 in Düsseldorf vorgestellt und ist nun verfügbar.

Die in der Extrusion üblichen Druckanschlüsse ½-20 UNF und M18x1,5 sowie alle gängigen Ausgangssignale sind verfügbar. Passende elektrische Anschlüsse sowie gleiche mechanische Abmessungen ermöglichen ein einfaches Austauschen gegen herkömmliche Sensoren mit Flüssigkeitsfüllung. Zu beachten ist lediglich die maximale Schmelzetemperatur von 350°C.

### Fazit und Ausblick

Füllmediumfreie piezoresistive Schmelzedrucksensoren schaffen Vorteile, die herkömmliche Sensoren nicht bieten können: Die bauartbedingte hohe Sicherheit durch PL c, die lange Lebensdauer durch zehnfach dicke Membrane sowie das komplette Fehlen des Füllmediums. Zudem wird der Sensortyp stetig weiterentwickelt, was die Eigenschaften weiter verbessert. Auch eine Erhöhung der maximalen Einsatztemperatur auf 400°C ist geplant. ■

### DER AUTOR

KAI WEIGAND ist Produktmanager Sensoren bei der Gefran Deutschland GmbH, Seligenstadt; kai.weigand@gefran.de

## i Kontakt

**Gefran spa**  
Provaglio d'Iseo (BS)  
Italien  
TEL +39 0309888-1  
→ [www.gefran.com](http://www.gefran.com)