

# **WHITEPAPER**

HOCHTEMPERATURSENSOREN

WAS IST BESONDERS AN

HOCHTEMPERATURSENSORIK?

# INHALTSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| 1 Einleitung .....                                 | 3  |
| 2 Aufbau und Funktionsweise .....                  | 4  |
| 2.1 Schaltabstand / Normmessplatte .....           | 4  |
| 2.2 Schalthysterese .....                          | 5  |
| 3 Elektronische Bauteile, Spulen und Ferrite ..... | 5  |
| 3.1 Leiterplattenmaterialien und Lötverfahren..... | 6  |
| 4 Mechanik und Temperaturdrift .....               | 6  |
| 4.1 Vergussmaterialien .....                       | 6  |
| 5 Einzigartige Eigenschaften .....                 | 7  |
| <b>BAUFORMÜBERSICHT</b>                            |    |
| Bauform IB 08 / IB 08 Kurzbaufom.....              | 8  |
| Bauform IB 09 .....                                | 9  |
| Bauform IB 13 .....                                | 9  |
| Bauform IB / IN 12/18/30/50 bis (150°C) 180°C..... | 10 |
| Bauform IB / IN 30 bis 230°C .....                 | 10 |
| Bauform IB / IN 50 bis 230°C .....                 | 11 |
| Bauform IN 80.....                                 | 11 |
| Bauform IN 40 x 40 (Neu).....                      | 12 |

### **1 EINLEITUNG**

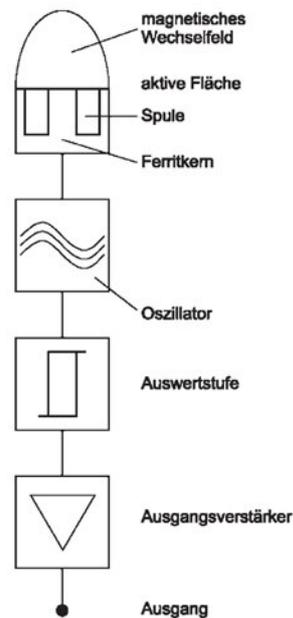
Induktive Hochtemperatursensoren sind häufig dort unverzichtbar, wo es gewissermaßen „heiß her geht“, sei es im Kunststoffspritzguss, in Gießereien, in Lackieranlagen oder ähnlichen Einsatzgebieten. Hierbei dienen sie als Signalgeber für verschiedenste Steuerungsabläufe, sichern Gefahrenbereiche ab oder versehen wichtige Kontrollfunktionen. Doch was macht Hochtemperatursensoren so besonders? Und welche Herausforderungen sind bei der Auslegung dieser „Spezialisten“ zu bewältigen?

Für die Wahl eines geeigneten Hochtemperatursensors ist maßgebend, welche konkrete Aufgabe er in einer spezifischen Applikation erfüllen soll und wie hoch die maximale Temperaturverträglichkeit des Gerätes hierfür sein muss. In diesem Zusammenhang entscheiden zudem die Einbausituation und der erforderliche Schaltabstand darüber, welcher induktive Sensor für eine bestimmte Anwendung der Richtige ist.

Für einen Anbieter wie ipf electronic, der sich u.a. auch auf die Hochtemperatursensorik konzentriert, ist daher eine große Bandbreite an verschiedensten Lösungen in allen erdenklichen Bauformen besonders wichtig, damit Anwender für ihre Applikationen immer auch die passenden Geräte erhalten. Vielfalt ist was „feines“, aber noch nicht alles. Anwender profitieren daher außerdem von den Erfahrungen und damit vom Know-how, das man sich in etlichen praktischen Anwendungen als Spezialist für Hochtemperatursensorik erworben hat.

## 2 AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Vereinfacht dargestellt, bestehen induktive Hochtemperatursensoren aus einer Spule (Oszillator) unmittelbar hinter dem Sensorkopf, gefolgt von der Auswertelektronik und einer Endstufe bzw. einem Verstärker. Die Schwingkreisspule hinter der aktiven Fläche des Näherungsschalters erzeugt ein elektromagnetisches Wechselfeld. Gelangt ein elektrisch leitfähiges Material in das Feld, so werden darin Wirbelströme induziert, die dem Schwingkreis Energie entziehen. Diese „Bedämpfung“ des Oszillators lässt sich im Ausgangsverstärker in ein Schaltsignal umsetzen. Aus dem Funktionsprinzip folgt, dass sämtliche Metalle erfasst werden, unabhängig davon, ob sie sich bewegen oder nicht. Wichtig: Das hochfrequente Feld ruft im zu erfassenden Gegenstand keine messbare Erwärmung und keine magnetische Beeinflussung hervor. Die Sensoren arbeiten also rückwirkungsfrei.



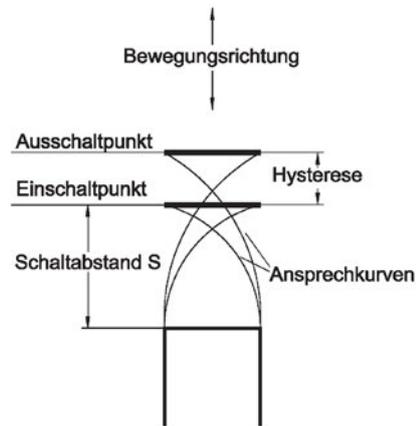
Funktionsprinzip eines induktiven Näherungsschalters.  
(Alle Bilder: ipf electronic gmbh)

### 2.1 SCHALTABSTAND / NORMMESSPLATTE

Den Abstand zur Sensorfläche, bei dem ein Metall eine Änderung des Schaltzustands bewirkt, nennt man Schaltabstand. Dieser Abstand ist nicht bei allen Metallen gleich, deshalb wird für das jeweilige Metall, z.B. Kupfer oder Aluminium, ein so genannter Korrekturfaktor angegeben. Der Nennschaltabstand dagegen wird mit einer Normmessplatte ermittelt. Es ist eine quadratische Metallplatte aus Stahl (St37) mit einer Dicke von 1mm und geglätteter Oberfläche zur Ermittlung des Bemessungsschaltabstandes  $S_n$ . Die Kantenlänge ist gleich dem Durchmesser der aktiven Fläche. Man unterscheidet zwischen Normschaltabstand  $S_n$ , der ohne Berücksichtigung von Exemplarstreuungen und äußeren Einflüssen ermittelt wurde und dem Arbeitsschaltabstand  $S_a$ . Der sichere Arbeitsschaltabstand liegt zwischen 0 und 81% von  $S_n$  ( $0 < S_a < 0,81 \times S_n$ ).

## 2.2 SCHALTHYSTERESE

Bei Annäherung und anschließender Entfernung der Messplatte vom Initiator tritt eine Differenz zwischen Ein- und Ausschaltpunkt auf. Diese eingebaute Hysterese verhindert ein hin- und herkippen des Schaltausgangs wenn sich ein vibrierendes Objekt an der Erfassungsgrenze befindet. Die Hysterese liegt üblicherweise im Bereich 3 bis 15% von  $S_n$ .



## 3 ELEKTRONISCHE BAUTEILE, SPULEN UND FERRITE

Wenn man bei ipf electronic über Hochtemperatursensorik spricht, so sind im Grunde induktive Sensoren für einen Temperaturbereich von +130 °C bis maximal +230 °C gemeint. Insbesondere ab +180 °C wird der Elektronik solcher Geräte jedoch einiges abverlangt, zumal jedes Bauteil durch den Stromfluss über eine gewisse Eigenerwärmung verfügt. Diese Verlustleistung solcher Bauteile, die aufgrund der Differenz zwischen aufgenommener Leistung und der gewünschten Abgabeleistung vor allem durch den Wärmestrom entsteht, fällt mit steigender Temperatur der Umgebung immer weiter ab, womit sich letztendlich die Leistungsfähigkeit der Bauteile verringert.

Aus diesem Grunde kommt der Auswahl von elektronischen Bauteilen, die für eine Dauereinsatztemperatur von +200 °C und mehr geeignet sind, bei solchen Sensoren eine besondere Bedeutung zu. Die Möglichkeiten sind hier allerdings sehr begrenzt, da rund 99 Prozent aller elektronischen Bauteile sich nur für maximale Einsatztemperaturen bis +150 °C eignen.

Ähnliches gilt für die Spulensysteme und Ferrite. Zwar sind die am Markt verfügbaren Spulendrähte für eine maximale Dauereinsatztemperatur von +130 °C ausgelegt. Für Anwendungen oberhalb dieser Temperatur kommen aber nur Sonderanfertigungen in Frage. Auch die für eine Dauereinsatztemperatur von +200 °C und mehr verfügbaren Ferritmaterialien sind sehr begrenzt. Die Herausforderungen eines Sensoranbieters, der vor allem auch Lösungen für einen extrem hohen Temperaturbereich anbieten möchte, bestehen demnach darin, hierfür geeignete Bauteile und Materialien im Markt zu identifizieren.

### **3.1 LEITERPLATTENMATERIALIEN UND LÖTVERFAHREN**

Dies betrifft ebenso die Wahl der geeigneten Leiterplattenmaterialien, wobei nicht nur deren hohe Temperaturbeständigkeit, sondern auch die Ausdehnung in x- und y-Richtung eine nicht unerhebliche Rolle spielt. Bei einer nicht passenden Ausdehnung des Leiterplattenmaterials würden ansonsten die elektronischen Bauteile von der Platine gerissen. Bei Leiterplatten, die einer Dauereinsatztemperatur von +180 °C und darüber hinaus standhalten müssen, werden daher ganz spezifische Bestückungs-techno-logien, u.a. unter Einsatz von speziellen Hochtemperaturlöten, eingesetzt.

Bei Leiterplatten, die einer Einsatztemperatur bis +180 °C widerstehen müssen, lassen sich hingegen herkömmliche, maschinelle Reflow-Lötprozesse anwenden. Hierzu wird zunächst Weichlot (Lötpaste) auf eine Leiterplatte, entweder mittels Schablonendruck, Dispenser, durch Lotformteile oder auch galvanisch aufgetragen. Anschließend wird die Leiterplatte mit den elektronischen Bauteilen bestückt. Da die Lötpaste eine klebrige Konsistenz aufweist, halten die Bauteile während der Bestückung direkt an der Paste und müssen somit nicht eigens aufgeklebt werden. Beim anschließenden Aufschmelzen des bleifreien Lotes zentrieren sich die bestückten Bauteile durch die Oberflächenspannung auf den sogenannten Landepads und setzen sich hierauf ab. Bei Leiterplatten für eine Einsatztemperatur von +230 °C kommen hier allerdings auch nur Sonderlösungen in Frage.

### **4 MECHANIK UND TEMPERATURDRIFT**

Neben extremer Dauerhitze müssen induktive Hochtemperatursensoren auch hohen inneren Drücken standhalten. Eine physikalische Grundregel besagt nun mal, dass sich Luft bei Erwärmung ausdehnt. Durch die Ausdehnung der heißen Luft kann daher in einem hochdichten Sensor ein Druck von rund 1,3 bar entstehen. Angesichts solcher Kräfte ist die richtige Mechanik insbesondere bei silikonfreien und hochdichten Sensoren für Temperaturen bis +230 °C entscheidend. Ein Grund, warum bei den silikonfreien Sensor-Bauformen IB/IN 30 (M30 x 1,5) von ipf electronic die bislang mit einer Klebung befestigten Gehäusekappen nun mit einem Gewinde fest fixiert sind. Die Bauform IB/IN 50 (M50 x 1,5) steht darüber hinaus jetzt auch als extrem dichte Version, vergleichbar mit IP-Schutzklasse 68, zur Verfügung.

Da jedes Bauteil eines Sensors darüber hinaus unter Temperatureinwirkungen seine technischen Eigenschaften verändert, besteht mit Blick auf den richtigen Temperaturdrift zudem die größte Herausforderung darin, die Schaltung eines Sensors so zu dimensionieren, dass alle Veränderungen der Bauteile nicht zu einer Veränderung des gesamten Sensors führen.

#### **4.1 VERGUSSMATERIALIEN**

Im Zusammenhang mit der mechanischen Auslegung eines Hochtemperatursensors wurde bereits die Eigenschaft „silikonfrei“ genannt. Die meisten verfügbaren „weichen“ Elektronik-Vergussmaterialien für eine permanente Einsatztemperatur von über +180 °C sind jedoch silikonhaltig. Insbesondere Hersteller und Betreiber von Lackieranlagen verlangen aber schon allein mit Blick auf eine hohe Prozesssicherheit silikonfreie Hochtemperatursensoren, da das Ausgasen von Silikon bei hohen Temperaturen Probleme bereiten kann. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von induktiven Sensoren in

KTL-Anlagen. Die KTL (Kathodische Tauchlackierung) ist ein seit langem bewährtes Verfahren zur Beschichtung von Fahrzeugteilen für den Korrosionsschutz. Induktive Hochtemperatursensoren werden hier in Einbrennöfen zur Positionsabfrage, etwa von Hubvorrichtungen, nach der kathodischen Tauchlackierung (KTL) eingesetzt. Würde man hier als Vergussmaterial für den Sensor Silikon verwenden, könnte dieses ausgasen. Diese Ausgasungen würden sich in der Anlagenumgebung verteilen und im schlimmsten Fall auf den unbeschichteten Fahrzeugteilen niederschlagen. Beschichtungsfehler wären die Folge.

### 5 EINZIGARTIGE EIGENSCHAFTEN

Für solche oder ähnliche Anwendungen verwendet ipf electronic daher silikonfreie Sensoren auf Basis eines Keramikvergusses, mit dem die Näherungsschalter Temperaturen von maximal +230 °C standhalten. Eine Besonderheit dieser Geräte, neben der Silikonfreiheit und der optional hohen Dichtigkeit vergleichbar IP 68, ist deren weiterer Aufbau.



Näherungsschalter, die Temperaturen von maximal +230 °C standhalten und über ganz besondere Eigenschaften verfügen.

Zu Beginn dieses Beitrags wurde die besondere Herausforderung bei der korrekten Auswahl von Bauteilen beschrieben. Technisch ist es im Moment nicht möglich Geräte für einen Temperaturbereich bis +230°C so auszulegen, dass die komplette Elektronik in einem Gehäuse und damit im „Heißbereich“ zum Einsatz kommt. Daher werden derartige Systeme in der Regel zweiteilig ausgeführt, wobei sich der Sensorkopf am Abfrageort und die Auswerteeinheit im Kaltbereich befindet.

Entscheidendes Manko solcher Lösungen: Die Leitungslänge zwischen Sensorkopf und Verstärker ist vorgegeben und lässt sich nicht verändern. Zusätzlich hat die Trennung der Spule von der Auswertelektronik den Nachteil, dass sich die Kabellänge negativ auf den erzielbaren Schaltabstand des Sensors auswirkt.

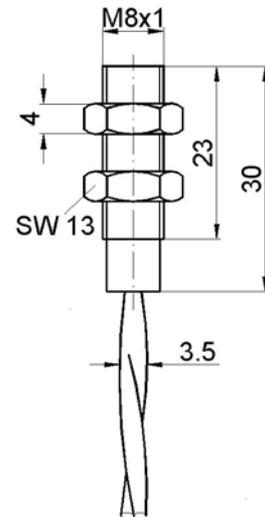
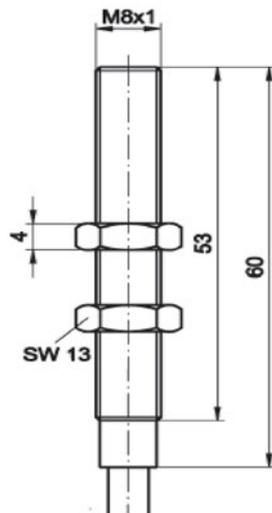
Nicht so bei den induktiven Sensoren für Einsatztemperaturen bis +230 °C von ipf electronic. Durch einen speziellen Aufbau des zweiteiligen Sensorsystems kann die Kabellänge zwischen Sensorkopf und Verstärker völlig variabel gewählt werden, was die Flexibilität dieser Geräte in der Anwendung entscheidend erhöht. Selbst bei der Installation vor Ort besteht die Möglichkeit, die Kabellänge bei Bedarf problemlos anzupassen. Da die temperaturbeständige Verbindungsleitung zwischen Sensorkopf und Auswerteeinheit mit steckbaren Anschlüssen ausgestattet ist, lassen sich bei einem Defekt die Komponenten schnell einzeln austauschen, während bei anderen Lösungen das gesamte System, mitunter mit hohem Aufwand, ausgewechselt werden muss.

## BAUFORMÜBERSICHT

**DIE FOLGENDEN SEITEN BIETEN EINEN ÜBERBLICK ÜBER DIE VERSCHIEDENSTEN BAUFORMEN DER HOCHTEMPERATURSENSOREN SOWIE NEUERUNGEN IN DIESEM BEREICH.**

### **BAUFORM IB 08 / IB 08 KURZBAUFORM**

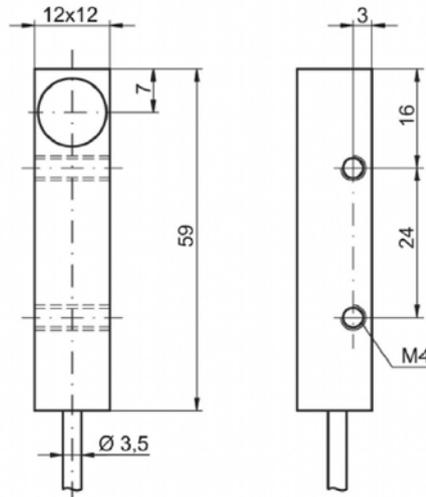
- / Temperaturbereich bis 140°C
- / Mit Silikon- oder Teflonleitung
- / Mit M12-Stecker
- / Als PNP Schließer
- / Silikonhaltig (Silikonfreiheit in Vorbereitung)
- / Kurzbauforn mit externem Verstärker



M8x1  
Länge: 60mm bzw. 30mm  
Sn: 2mm

**BAUFORM IB 09**

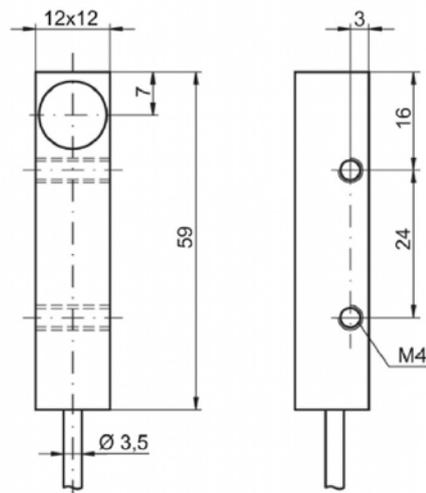
- / Temperaturbereich bis 140°C
- / Mit Silikonleitung
- / Als PNP Schließer
- / Silikonhaltig



8x8mm  
Länge: 55mm  
SN: 2mm  
10-30VDC / 80mA

**BAUFORM IB 13**

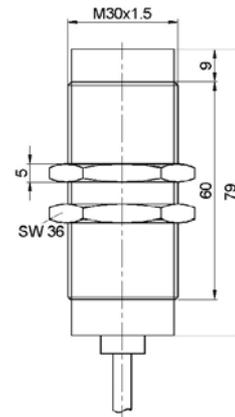
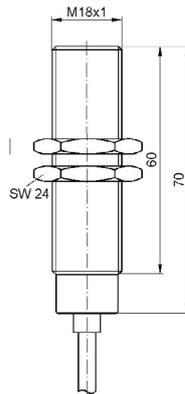
- / Temperaturbereich bis 130°C
- / Mit Silikonleitung
- / Als PNP Schließer
- / Silikonhaltig



12x12mm  
Länge: 59mm  
Sn: 4mm  
10-30VDC / 200mA

## BAUFORM IB / IN 12/18/30/50 BIS (150°C) 180°C

- / Temperaturbereich bis (150°C) 180°C
- / Mit LED (130°C)
- / Mit Silikon- oder Teflonleitung
- / Mit M12- oder LEMO-Stecker
- / Als PNP Öffner / PNP Schließer
- / Als NPN Öffner / NPN Schließer (Neu)
- / Silikonhaltig (Silikonfreiheit in Vorbereitung)

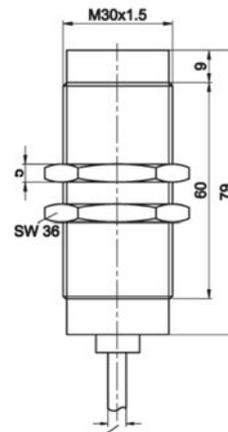
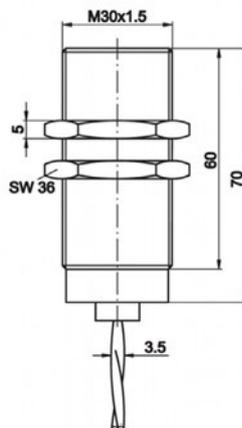


IB  
M18x1,0  
Länge: 70mm  
Sn: 5mm  
10-35VDC / 150mA

IN  
M30x1,5  
Länge: 79mm  
Sn: 15mm  
10-35VDC / 150mA

## BAUFORM IB / IN 30 BIS 230°C

- / Temperaturbereich bis 230°C
- / Anschluss an externen Verstärker
- / Mit Teflonleitung oder LEMO-Stecker
- / Komplett überarbeitetes Design (Neu)
- / Silikonfrei (Neu)
- / Auch als Kurzbauforn realisierbar

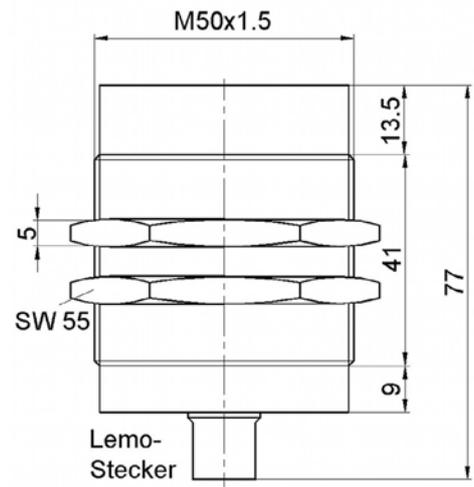
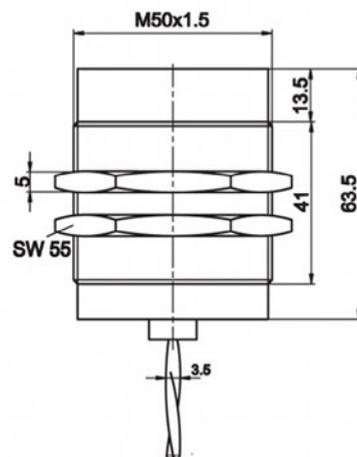


IB  
M30x1,5  
Länge: 70mm  
Sn: 10mm

IN  
M30x1,5  
Länge: 79mm  
Sn: 15mm

**BAUFORM IB / IN 50 BIS 230°C**

- / Temperaturbereich bis 230°C
- / Anschluss an externen Verstärker
- / Mit Teflonleitung oder LEMO-Stecker
- / Komplett überarbeitetes Design (Neu)
- / Silikonfrei (Neu)
- / Auch als dichte Version vergleichbar mit IP68

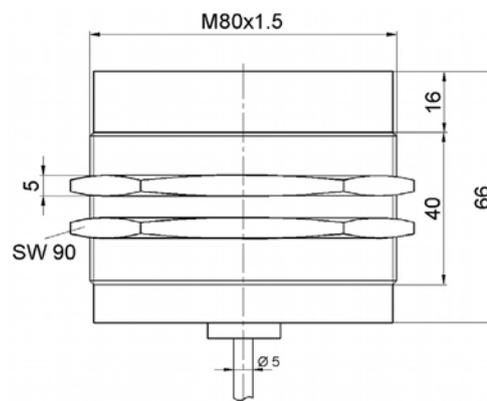


IB  
M50x1,5  
Länge: 50mm  
Sn: 20mm

IN  
M50x1,5  
Länge: 77mm  
Sn: 25mm

**BAUFORM IN 80**

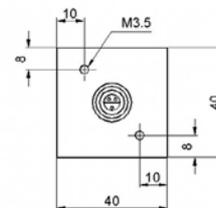
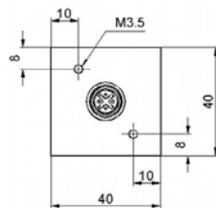
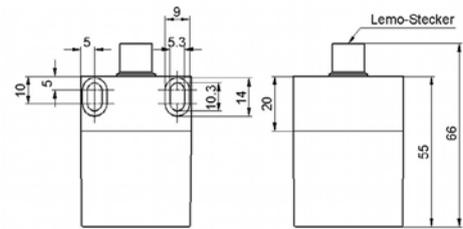
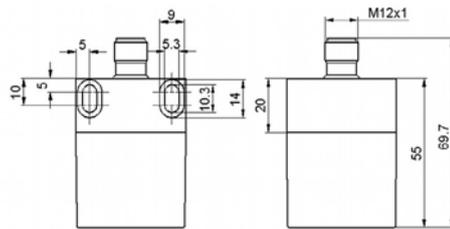
- / Temperaturbereich bis 160°C
- / Mit Silikonleitung oder LEMO-Stecker
- / Als PNP Öffner / PNP Schließer
- / Silikonhaltig



M80x1,5  
Länge: 66mm  
Sn: 25mm  
10-35VDC / 200mA

**BAUFORM IN 40 X 40 (NEU)**

- / Bis 150°C mit internem Verstärker
- / Bis 230°C mit externem Verstärker
- / Anschluss an externen Verstärker (steckbar)
- / Mit M12 oder LEMO-Stecker
- / Komplett neues Design (Neu)
- / Silikonfrei (Neu)



**IN40012W**

Sn: 20mm

**IN406040**

Sn: 20mm

© ipf electronic gmbh: Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet.

**ipf electronic gmbh**  
info@ipf.de • www.ipf.de

Änderungen vorbehalten! Stand: Dezember 2012