

Temperaturmeßtechnik Geraberg GmbH

# Temperaturfühler für die Gebäudeautomation nach VDI/VDE 3512

■ Energie-Effizienz

■ Ressourcenschonung

■ Nachhaltigkeit

■ Klimaschutz

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>03</b>
<b>2</b>	<b>Toleranzen und Stabilität der tmg-Temperaturfühler</b>	<b>03</b>
<b>3</b>	<b>Die Vermeidung thermischer Messfehler bei tmg (Thermometerkonstruktionen nach VDI/VDE 3512 Blatt 1, S. 13 – 15!)</b>	<b>05</b>
	<b>3.1</b> Grundlegendes zu thermischen Messfehlern	<b>05</b>
	<b>3.2</b> Fehlerbetrachtungen zu Temperaturmessungen in Gebäuden	<b>06</b>
<b>4</b>	<b>Schnellansprechende Fühler für energieeffiziente Regelungen</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>tmg-Fühlerbeispiele</b>	<b>11</b>
	<b>5.1</b> tmg-Einbautemperaturfühler in starrer, flexibler und Standardausführung (ROF..., ETF...)	<b>11</b>
	<b>5.2</b> tmg-Innenraumtemperaturfühler (RTF...)	<b>13</b>
	<b>5.3</b> tmg-Anlegetemperaturfühler (ALTF...)	<b>13</b>
	<b>5.4</b> tmg-Ruten-/Mittelwerttemperaturfühler (MWTF...)	<b>14</b>
	<b>5.5</b> tmg-Außentemperaturfühler (ATF...)	<b>14</b>
	<b>5.6</b> tmg-Kanaltemperaturfühler in flinker Ausführung (FKATF...)	<b>15</b>
	<b>5.7</b> tmg-Kabeltemperaturfühler (KTF...)	<b>15</b>

## 1 Vorwort

Das VDI-Temperaturfühlersortiment der Firma tmg stellt ausdrücklich die messtechnischen und energierelevanten Aspekte der Temperaturmessung in den Vordergrund, die in einigen am Markt verfügbaren Lösungen häufig zugunsten designtechnischer Gesichtspunkte vernachlässigt werden.

Dieses Temperaturfühlersortiment ist im Zusammenhang bzw. parallel mit der Neufassung der VDI-Richtlinie 3512 entwickelt und konzipiert worden. Auf Basis dieser Richtlinie wird die Bestimmung von Güteklassen

von Temperaturfühlern für die Gebäudeautomation möglich, die über die reine Angabe von Toleranzklassen (für die Messwiderstände) hinausgeht.

Sie gestattet eine transparente Vergleichbarkeit von Temperatursensorsystemen im Rahmen von Ausschreibungen, eine bessere Energiebilanzierung von Gebäuden und einen optimalen Temperaturfühlereinbau.

Ausgehend von dem gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Temperatur und Ener-

gie werden die enorme Bedeutung und der Vorteil von zuverlässigen genormten Temperatursensoren für Applikationen in der Gebäudeautomation klar.

tmg-Temperaturfühler unterstützen dabei die Gebäudeausrüster bei einem effektiven Energiemanagement zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Erzielung von Energieeinsparungen, was insbesondere im Rahmen des EU-Programmes „Green-Building“ für Gebäudeausrüster von höchstem Interesse ist.

## 2 Toleranzen und Stabilität der tmg-Temperaturfühler

Während in den 70...80er Jahren der Sensoransprechempfindlichkeit der Temperaturfühler besondere Aufmerksamkeit galt, sanken die diesbezüglichen Anforderungen dank der neueren hochauflösenden Elektronikseinheiten in den Leitzentralen bzw. SPS-Einheiten nach dem Jahrtausendwechsel rapide.

Bedingt durch das Streben nach Energieeinsparung bzw. Energieeffizienz in der Gebäudeautomation treten nun zunehmend die Stabilitäts- und Genauigkeitsanforderungen in den Vordergrund, die – unabhängig von Prinzip und Technologie – an Temperatursensoren gestellt werden.

Eine Marktrecherche offenbart eine immense Vielfalt angebotener Temperatursensortypen, jedoch ist nicht in allen Fällen eine eindeutige Strukturierung bzw. Klassifizierung der Sensoren hinsichtlich Stabilität und Toleranzklassen gegeben. Dabei sind gerade diese Angaben für die Energie-

effizienz bzw. die Energieeinsparung maßgeblich. Für den Kunden stellt sich nun die Frage, inwieweit ein Sensor überhaupt toleriert ist und welches Signal der Sensor z. B. bei 56,7°C im ungünstigsten Falle ausgeben würde (...vielleicht 54°C oder 59°C???)...

Bedingt durch seit Jahren bewährte Herstellungstechnologien im Halbleiterbereich (Thermistoren, ...) sowie im Bereich der Dünnschichttechnologie (Nickel, Platin) sind rationelle Temperaturchip-Ausbeuten in eingeschränkten Messbereichen mit nur gering schwankenden Kennlinienparametern und damit technologisch fixierbaren Toleranzen durchaus industriell realisierbar.

In welchen Grenzen aber die Selektion der Chips erfolgt, ist neben dem ausgehandelten Preislimit auch von den Vorgaben des Kunden abhängig, dem damit die Verantwortung für die Genauigkeit der Applikation überlassen wird.

Mit der Veröffentlichung des neuen Richtlinienstandes der VDE 3512 wird nun dem hohem Anspruch an energieeffiziente Gebäudeleittechnik Rechnung getragen und für die Gebäudeausrüster die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der bestmöglich qualifizierten Temperaturmesstechnik geschaffen.

Nach Richtlinie VDI/VDE 3512 Blatt 4 werden die Toleranzklassen „A“... „C“ TGA unterschieden. Qualitätskonforme Temperaturfühler mit entsprechenden Prüfergebnissen bzw. unabhängigen Prüfzertifikaten dürfen die Kennzeichnung A TGA, B TGA bzw. C TGA sowie die VDI/VDE-Kennung tragen, wobei die Toleranzklasse A TGA am höchsten bewertet ist. (Abbildung 1: Toleranzklassen von TGA Temperaturfühlern). Fühler ohne dokumentierte Tolerierung benötigen weiterhin keine Toleranzkennzeichnung und sind somit als „nicht klassifiziert“ erkennbar.

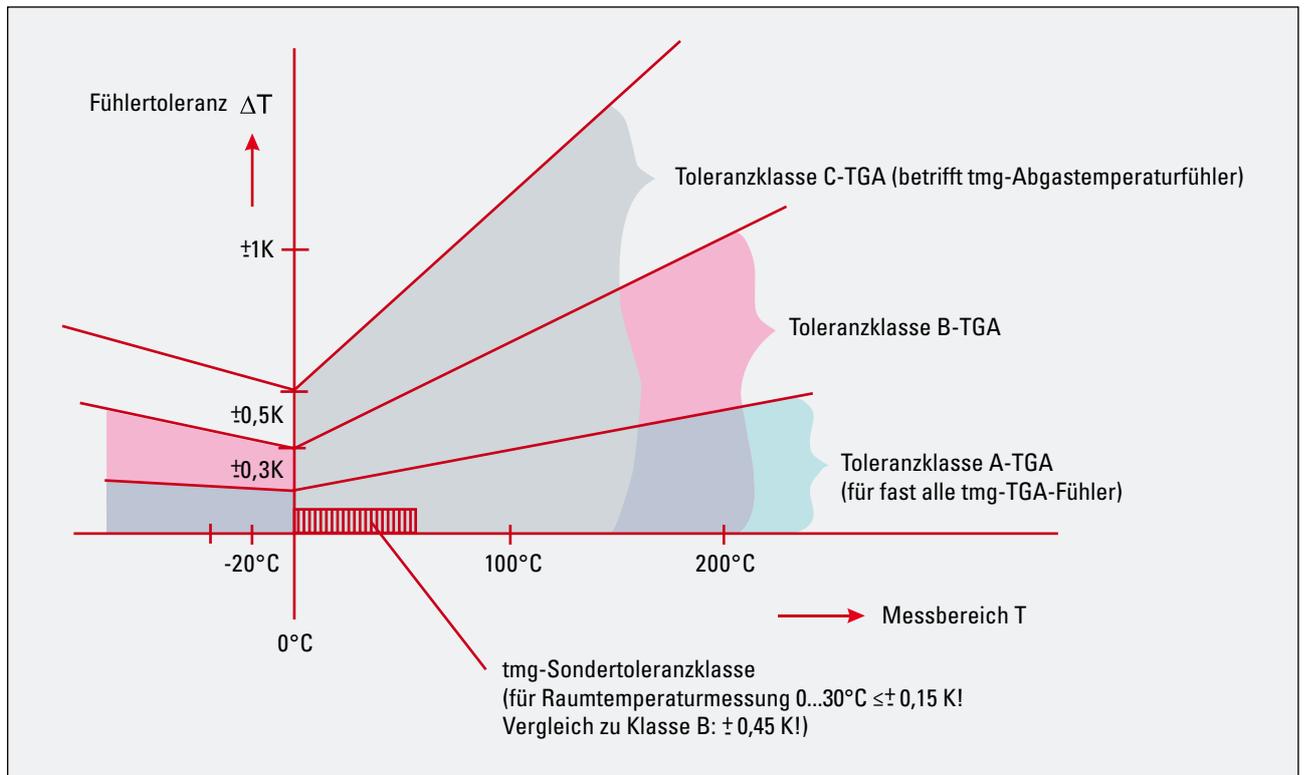


Abbildung 1: Toleranzklassen von TGA-Temperaturfühlern

Die Genauigkeit der Temperaturfühler muss mit der messtechnischen Stabilität konform gehen. Gemäß vorliegender VDI-Richtlinie muss daher der „3-Jahres-Driftwert“ im Rahmen der Grundtoleranz der TGA-Klasse bleiben. Der Temperaturlastwert orientiert sich dabei am Messbereichsendwert, so dass beispielsweise die Abgastemperaturfühler im Temperaturbereich ab 600°C die erforderlichen Driftwerte nur mit speziellen technologischen Konfektionierungsmaßnahmen erfüllen können.

Benennung	Typ	Tmax	Toleranzklasse	Güteklasse nach TGA*
Rohrtemperaturfühler	ETF	150°C	A-TGA	A
	ROF	150°C	A-TGA	A
	ETF 521	400°C	A-TGA	A
Kanaltemperaturfühler	F-KTF	150°C	A-TGA	A
Außentemperaturfühler	ATF	60°C	A-TGA	A
Anlegetemperaturfühler	ALTF	110°C	A-TGA	B
Abgastemperaturfühler	ETF 521	600°C	C-TGA	C
Mittelwerttemperaturfühler	MWTF	80°C	A-TGA	A
Raumtemperaturfühler	RTF	60°C	> A-TGA	A

Tabelle 1: Toleranzzuordnung bei tmg-Fühlern

\* entspricht DIN EN 60751

### 3 Die Vermeidung thermischer Messfehler bei tmg (Thermometerkonstruktionen nach VDI/VDE 3512 Blatt 1, S. 13 – 15!)

#### 3.1 Grundlegendes zu thermischen Messfehlern

Die Differenz zwischen der Sensortemperatur  $T_S(t)$  und der vorliegenden zu messenden Temperatur des Messobjekts bzw.  $T_M(t)$  wird thermischer Messfehler genannt:

$$\Delta_{th} = T_S(t) - T_M(t)$$

Den thermischen Messfehlern und ihrer Vermeidung ist bei Temperaturmessungen mit TGA-Berührungsthermometern besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da sie oft deutlich größer als andere Fehlereinflüsse sein können und trotzdem unerkannt und unberücksichtigt bleiben. Die thermischen Messfehler werden im Wesentlichen verursacht durch:

- Änderung der thermischen Energiebilanz des Messobjekts durch das Berührungsthermometer (Rückwirkung)
- thermische Kopplung des Temperatursensors nicht nur mit dem Messobjekt sondern auch mit einer Umgebung, deren Temperatur  $T_U$  von  $T_M$  abweicht („Wärmeableitung“), Ausführungen zum Kopplungsfaktor  $B_{rel}$
- Eigenerwärmung des Temperatursensors durch eine im Sensor umgesetzte elektrische Leistung

Ein thermischer Messfehler  $\Delta T_{th}$  kann also durch Wärmeableitung, gegebenenfalls auch Wärmezufuhr vom Sensor zu einer Umgebung mit einer von  $T_M$  bzw.  $T_S$  abweichenden Temperatur  $T_U$  hervorgerufen werden. „Umgebung“ kann dabei sowohl die die Messstelle umgebende Atmosphäre, als auch die Behälter- oder Rohrwand sein, in die der Temperaturfühler an- oder eingebaut ist.

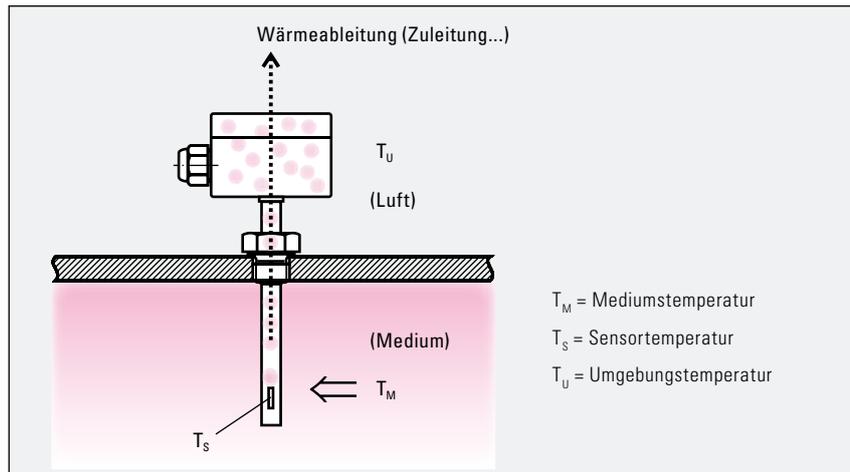


Abbildung 2: Im Rohr eingebauter Rohrleitungsfühler

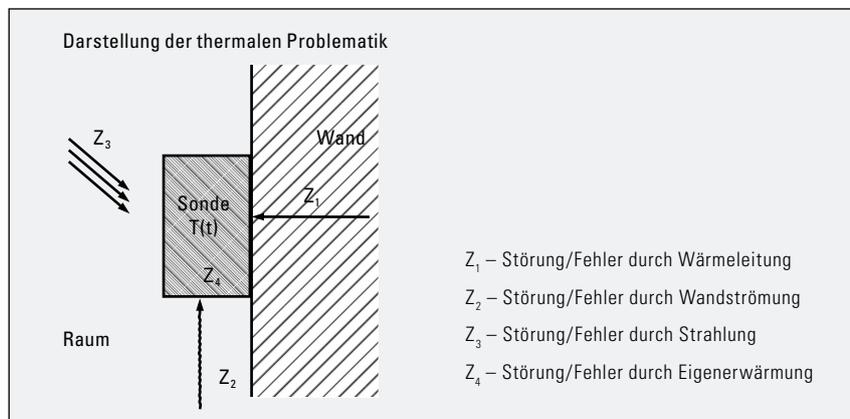


Abbildung 3: An der Wand angebrachter Innenraumfühler

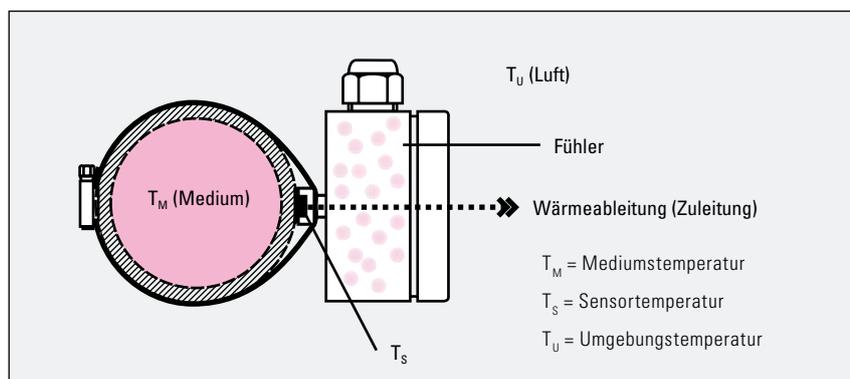


Abbildung 4: Auf ein Rohr gespannter Anlegefühler

Bildlich vereinfacht sind die thermischen Verhältnisse beim Ein- und Anbau von Temperaturfühlern wie folgt dargestellt:

Der Term  $B_{rel}$  wird als relativer thermischer Kopplungsfaktor bezeichnet:

$B_{rel}$  ergibt sich über:

$$\Delta T_{th} = B_{rel} (T_U - T_M)$$

$$\text{mit } B_{rel} = \frac{\Delta T_{th}}{T_U - T_M}$$

$B_{rel}$  ist also gleich dem relativen thermischen Messfehler, das heißt dem absoluten thermischen Messfehler  $\Delta T_{th}$  bezogen auf die den Fehler verursachende Fehlerdifferenz.

Bei Kenntnis des Kopplungsfaktors  $B_{rel}$  kann die wahre Temperatur des Messobjekts  $T_M$  aus der gemessenen Sensortemperatur  $T_S$  und der zusätzlich gemessenen

Umgebungstemperatur  $T_U$  berechnet werden (Fehlerkorrektur):

$$T_M = (1 + B_{rel})T_S - B_{rel} \cdot T_U$$

Beispiel: Bei einem bekannten Kopplungsfaktor  $B_{rel} = 0,0155$  kann aus der gemessenen Sensortemperatur  $T_S = 148^\circ\text{C}$  und einer Umgebungstemperatur  $T_U = 20^\circ\text{C}$  die wahre Medientemperatur berechnet werden:

$$T_M = 1,0157 \times 147,98^\circ\text{C} - 0,0157 \times 20^\circ\text{C} = 150,00^\circ\text{C}$$

Aus obiger Gleichung ergibt sich der Kopplungsfaktor  $B_{rel}$  aus den Temperaturdifferenzen letztlich wie folgt:

$$B_{rel} = \frac{(T_M - T_S)}{(T_S - T_U)}$$

Der Kopplungsfaktor  $B_{rel}$  bzw. der Ausdruck  $(1 - B_{rel})$  entsprechen den statischen Übertragungsbeiwerten (Empfindlichkeiten)

des Thermometers bezüglich Änderungen  $\Delta T_U$  der Umgebungstemperatur bzw. Änderungen  $\Delta T_M$  der Messobjekttemperatur:

$$\Delta T_S = B_{rel} \cdot T_U + (1 - B_{rel}) \Delta T_M$$

Die Gleichung zeigt, dass eine Änderung der Umgebungstemperatur  $\Delta T_U$  bei konstanter Temperatur  $T_M$  des Messobjekts fälschlicherweise als eine Änderung  $\Delta T_M$  interpretiert werden kann:

Beispiel: Bei konstanter Medientemperatur und einer Änderung der Umgebungstemperatur um  $40^\circ\text{C}$  würde sich die Sensortemperatur bei einem Kopplungsfaktor  $B_{rel} = 1,55\%$  um

$$\Delta T_S = B_{rel} \cdot T_U = 0,0155 \times 40^\circ\text{C} = 0,62^\circ\text{C}$$

ändern. Ohne Korrektur würde das einen Messfehler in dieser Höhe bedeuten.

## 3.2 Fehlerbetrachtungen zu Temperaturmessungen in Gebäuden

### 1. Allgemeines

Obwohl die Vielzahl der unterschiedlichen Primärsensorarten Anlass gibt, die Toleranzgrenzen bei verschiedenen Temperaturen an sich gründlich zu analysieren, gilt grundsätzlich: *die Sensortoleranz ist nicht der Gesamtmessfehler*. Der gesamte Fehler, der beim Messen in einer Temperaturmessanlage auftritt, setzt sich aus vielen Fehlerkomponenten zusammen, die sich an den jeweiligen Schnittstellen der Messkette und der Spezifik des Messproblems (Wassertemperaturmessung, Luftraumtemperaturmessung ...) ergeben. In diesem Sinne sind die einzelnen Fehler zu analysieren und die Gesamtmessfehlerkette zu bestimmen. Hierbei ist der sogenannte GUM (ISO/BIPM)-Leitfaden zu berücksichtigen. Dieser beinhaltet die deutsche Fassung der Norm 13005: „Leitfaden zur Angabe der Messunsicherheit beim Messen“.

### 2. Fehlerbeispiel für Temperaturfühler mit angeschlossenem Transmitter

Es bestimmt sich die Gesamtmessunsicherheit einer Temperaturmessanordnung bestehend aus einem 4-20 mA Transmitter und einem Kabelwiderstandsthermometer Typ KTF 121 (TGA-Klasse C) bei den angegebenen Geräteparametern und Einsatzbedingungen wie folgt:

#### Widerstandsthermometer KTF

- Pt 1000 Toleranz TGA Klasse C
  - Zweileiteranschluss, 3m Kabellänge
- #### Transmitter
- Bürde  $< \pm 0,04\%$  / 1000 Ohm
  - Temperatureinfluss  $< \pm 0,005\%$  /K (Bezug  $22^\circ\text{C}$ )
  - Langzeitstabilität  $< \pm 0,1\%$  pro Jahr (bezogen auf die Messspanne)
  - Linearisierungsfehler  $< 0,4\text{ K}$
  - eingestellter Bereich  $0 \dots 200^\circ\text{C}$

### Medium

- Wasser  $90^\circ\text{C}$ , Einbaufehler bei Eintauchtiefe 30mm: 0,14K (Vorabmessung)
- Umgebungstemperatur:  $32^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 10\text{ K}$  zu  $22^\circ\text{C}$ )

### 3. Fehlerbeispiel für einen Einbaufehler „Einbaumessfehler in einem großen Luftkanal...“ (Einbaubeispiel „Technische Temperaturmessung“ Prof. Lieneweg)

Das nachfolgende Beispiel betrifft einen großen Luftkanal, der einen Durchmesser von  $1,50\text{ m} \times 1,50\text{ m}$  besitzt. Hindurch strömen Abgase, teilweise explosiv. Es wird mit einem kurzen und recht dickwandigen Ex-Einbaufühler in dem Kanal gemessen. Die Fühlerdaten sind dem Bild 5 zu entnehmen. Bei  $153^\circ\text{C}$  strömender Abgasluft ergibt sich ein Fehler von ca. 70 K. Dieser Einbaufehler kann sich auf ca. 50 K verringern, wenn die

**Fehleraddition:**

Fehlereinfluss	Verteilung	Unsicherheit
Einbaufehler	normal	$0,14 \text{ K} / 2 = 0,07$
Toleranz (C bei 90° C)	Rechteck	$1,50 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,86$
parasitäre Thermospannung	Rechteck	vernachlässigt
Eigenerwärmung (IM = 1mA)	Rechteck	vernachlässigt
Umgebungstemperatur	Rechteck	$0,1 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,06 \text{ K}$
Linearisierungsfehler	Normal	$0,5 \text{ K} / 2 = 0,25 \text{ K}$
Bürdeinfluss	Rechteck	$0,1 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,06 \text{ K}$
Drifteinfluss	Rechteck	$0,2 \text{ K} / \sqrt{3} = 0,11 \text{ K}$

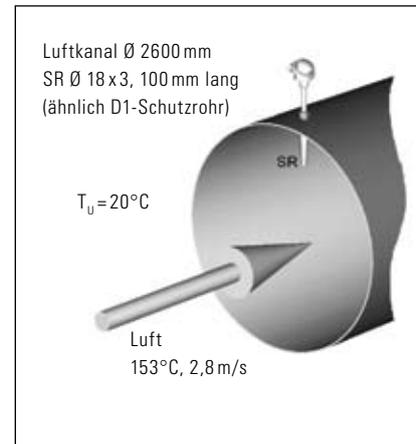
**Tabelle 2:** Messunsicherheit = geometrisches Mittel der Fehlerkomponenten =  $\Sigma 0,9 \text{ K}$

Strahlung durch Rußanteile usw. undurchsichtig wird. Dieses extreme Beispiel zeigt, wie wichtig die Beachtung des Einbaufehlers ist. Da der Einbaufehler offensichtlich abhängig von der Fühlerkonstruktion wirkt, ist die Bewertung des Kopplungsfaktors  $B_{rel}$  (siehe VDI-Richtlinie 3512, Blatt 2) für den Anwender wichtig. Besonders ungünstige Kopplungswerte ergeben sich bei Temperaturfühlern mit Zusatz-Schutzrohren. Zum Beispiel entsteht ein relativ großer Kopplungsfaktor, wenn der innere Messeinsatz wenig Kontakt, insbesondere keinen Bodenkontakt zum Zusatzschutzrohr aufweist.

Schnelle Temperatursprünge bei denen das Schutzrohr zeitlich bedingt noch eine andere Temperatur als der Einsatz aufweist, bedingen dass es zum sogenannten „Hängenbleiben des Fühlers“ kommt. Der Effekt ist in nachfolgenden Beispielen erklärt. Neben dem statisch-thermischen Fehler treten deutliche Unterschiede im dynamischen Verhalten auf.

**Effekt des Hängenbleibens:**

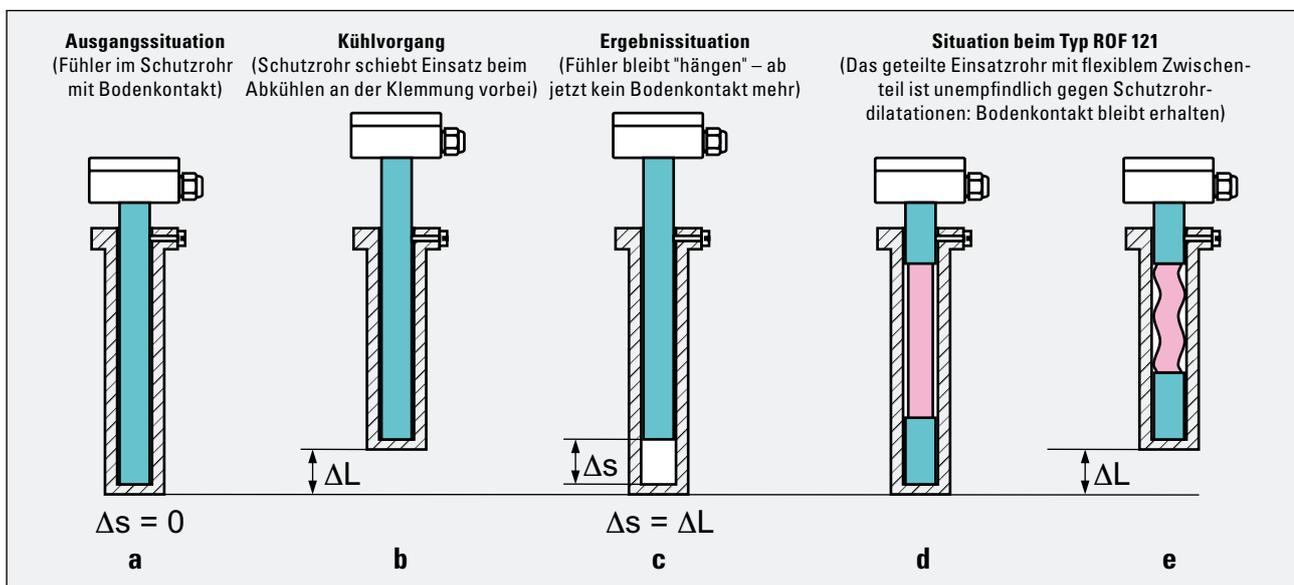
Bei der Verwendung von separaten (Zusatz-) Schutzrohren mit Seitenklemmung kann der Effekt des Hängenbleibens auftreten (Abbildung 6 Teil a, b und c). Bei starker



**Abbildung 5:** Thermischer Messfehler

schneller Abkühlung des Schutzrohres durch das Medium kommt es zum Stauchen des inneren Einsatzes. Er verschiebt sich dabei zwar nur geringfügig nach oben, verliert jedoch den notwendigen Wärmekontakt. In dieser Stellung verharrt er dann immer weiter.

Beim Typ ROF 121, der ein zweigeteiltes Schutzrohr mit flexiblem (beliebig verlängerbaren) Mittelteil besitzt, bleibt trotz erheblicher Relativedilatationen der aus messtechnischer Sicht so wichtige Bodenkontakt erhalten (Abbildung 6 Teil d und e, wobei d sowohl die Ausgangs- als auch die Endsituation darstellt).



**Abbildung 6:** Fühlereinbau in Zusatzschutzrohren

#### 4. Sensor-Montagefehler

Die messtechnischen Eigenschaften eines Fühlers in Verbindung mit der Einbausituation werden auch von der Fühlerkonstruktion bzw. der Sensormontage bestimmt. Unsichere Konfektionierungen führen zu nicht reproduzierbaren Fühlerzeitkonstanten und teilweise erhöhten statisch-thermischen Fehlern. Beispielhaft sei hier der „Müslieffekt“, der „Taupunkt-Effekt“ und der „Abfluss-Effekt“ dargestellt. Die tmg-Fühleranordnungen zeichnen sich durch einen relativ sicheren mittigen Sitz der Temperatursensoren und durch relativ hohe Feuchtigkeitsdichtheit aus, sodass nicht nur die Reproduzierbarkeit der messtechnischen Eigenschaften, sondern

auch eine hohe allgemeine Ausfallzuverlässigkeit gewährleistet ist.

#### Müslieffekt:

Er entsteht bei Pulververfüllung durch Vibrationseinwirkung an der Fühler-Messstelle. Durch die Vibrationen verteilt sich das Füllpulver in Abhängigkeit vom Fühleraufbau ungleichmäßig in der Hülse (Abb. 7.6...7.8).

#### Abfluss-Effekt:

Er entsteht bei nicht fixierter Wärmeleitpastefüllung, wenn die Fühlerspitze nach oben zeigt und höhere Temperaturen vorliegen (Abb. 7.3...7.5).

#### Betauungs-Effekt:

Bei relativ großem freien Luftvolumen im Fühler kondensiert der Wasserdampfanteil der Luft im Fühlerrohr. Nach einiger Zeit, insbesondere wenn Schrumpfungen und Mikrorisse im Verguss auftreten, zeigen sich Tau-Effekte, die merkliche Isolationswiderstandsminderungen hervorrufen.

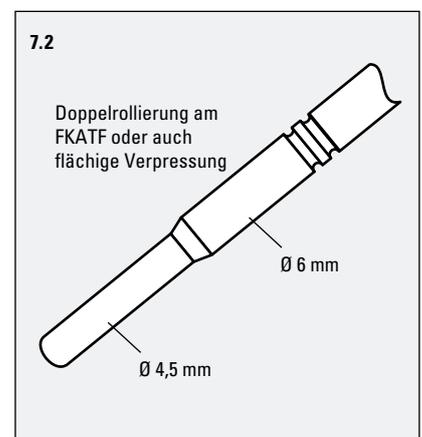
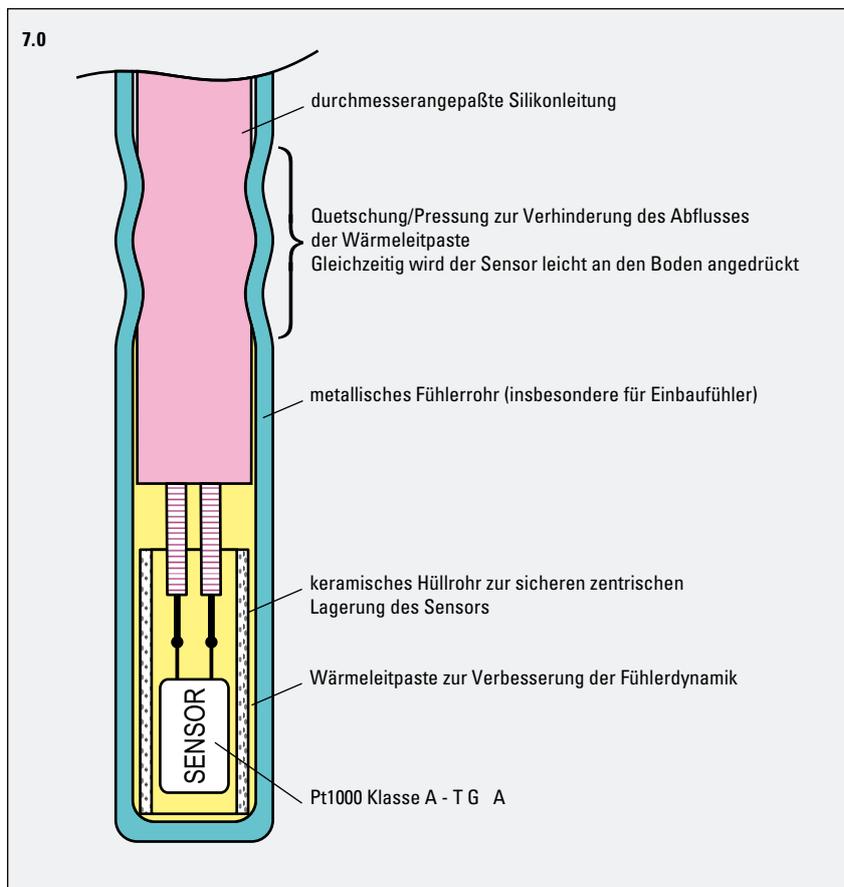


Abbildung 7.0 – 7.2: Fehlervermeidung durch zuverlässige und feuchtigkeitsgeschützte Sensormontage mit niedrigen Ansprechzeiten (Bauart tmg)

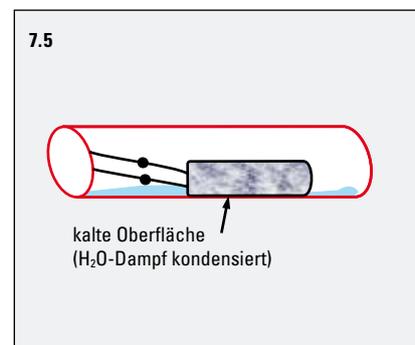
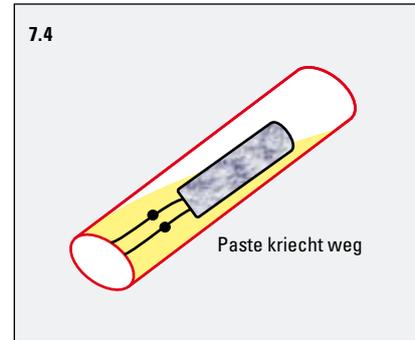
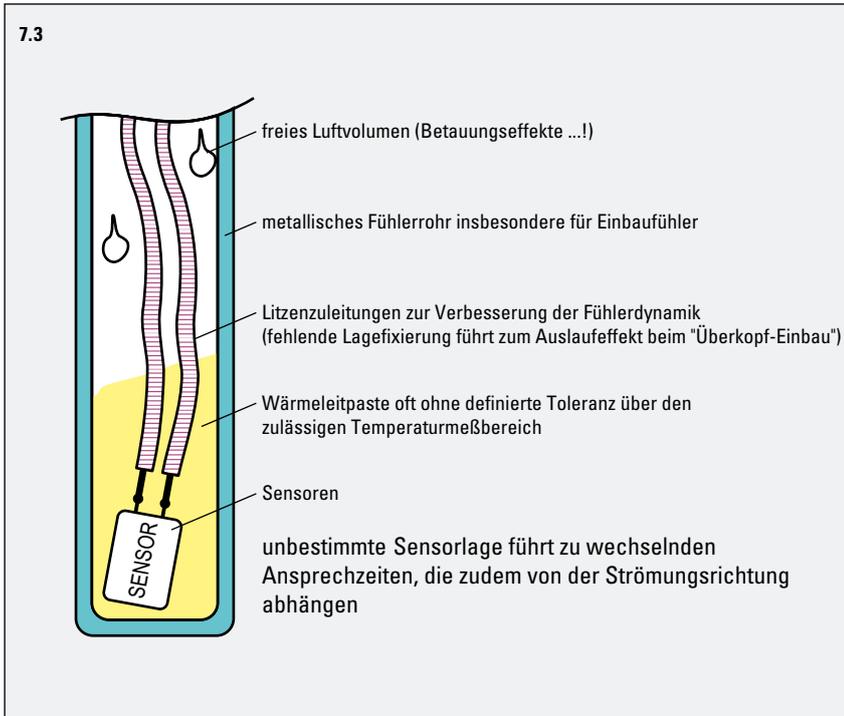


Abbildung 7.3–7.5: Einfache Sensormontage in Wärmeleitpaste mit Litzenanschluss (Abfluss-Effekt tritt auf!)

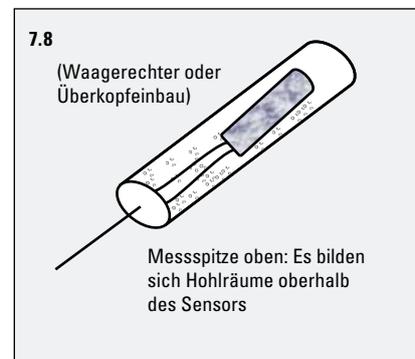
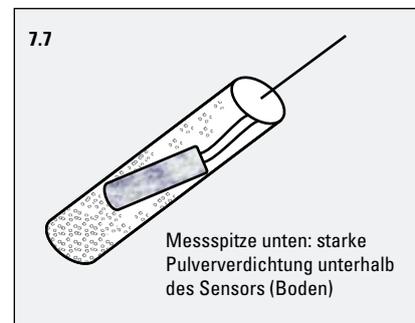
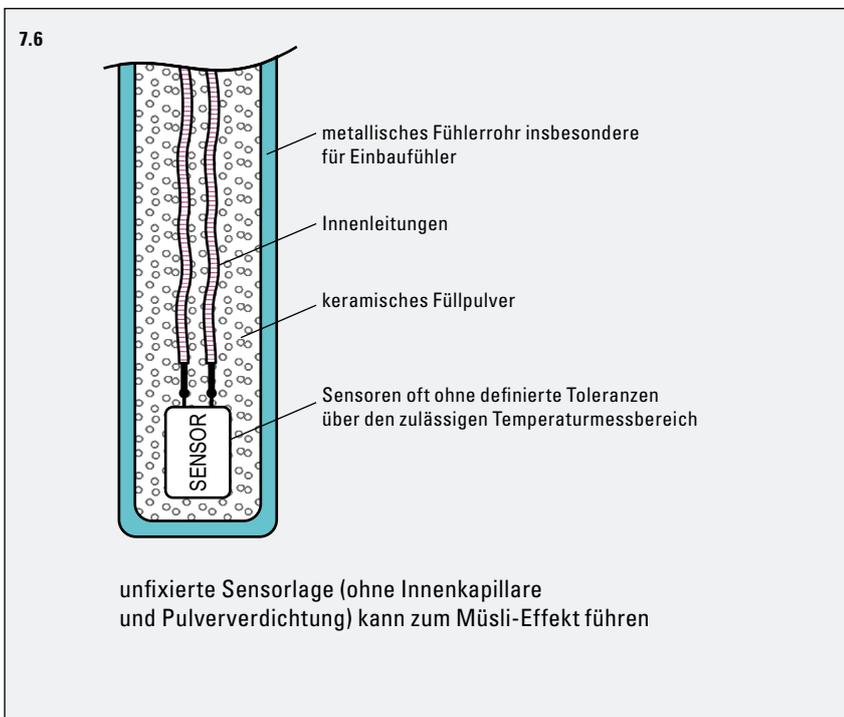


Abbildung 7.6–7.8: Einfache ausgepulverte Sensormontage – ohne Innenkapillare und Pulververdichtung (Müsli-Effekt kann auftreten)

### 5. Der „Offset-Abgleich“ und seine Bedeutung

Der Offset-Abgleich wird oft als das Allheilmittel zur Beseitigung vorliegender Fehlereinflüsse angesehen. Dies gilt jedoch nur bedingt. Der Offset-Abgleich kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen:

#### Offset-Abgleich im elektrischen Kreis

Hierzu empfiehlt sich das Präzisionsvergleichselement. Insbesondere kann bei Raumtemperaturanordnung auf das „20° C-Signal“ justiert werden. 20° C entsprechen beim Pt 1000: 1077,9 Ohm. Man kann diesen Widerstand an den elektrischen Kreis anschließen, wobei die Form des Vergleichswiderstandes dem eines Sockels entspricht,

sodass auch keine Verwechslungen auftreten oder Probleme beim Umklemmen entstehen. Bei diesem Abgleich sind jedoch die thermischen Fehler ausgeschlossen. Sie wirken weiterhin.

#### Off-Set-Abgleich mit einem Temperaturnormal

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei Raumluft- und Kanalanordnungen eine Fehler-Aussage auf ca. ±0,2K begrenzt ist. Man sollte immer beachten, dass es sich im Raum um ein unruhiges und instationäres Temperaturfeld handelt, das nicht mit einem Luftthermostaten oder gar Wasserthermostaten zu vergleichen ist! Natürlich ist der so vorgenommene Abgleich zunächst

günstig, da ein Großteil der Fehlerkette und ein Teil der thermischen Fehler abgeglichen wird. Neben der Vergleichsunsicherheit ist jedoch zu berücksichtigen, dass außer der Mediumtemperatur immer noch eine zweite, die Messung störende Temperatur existiert: entweder in Form der Umgebungstemperatur, z. B. bei Kanalanordnungen oder in Form von Wandtemperaturen bei Messung mit Raumfühlern. Die Wandeinflüsse ergeben sich vielfach in Form von Strahlungsanteilen. Man muss also erkennen, dass der Off-Set-Abgleich immer nur günstige Werte für eine ganz bestimmte vorliegende thermische Situation bzw. thermischen Arbeitspunkt (insgesamt) ergibt.

## 4 Schnellansprechende Fühler für energieeffiziente Regelungen

Wärmetransportvorgänge vom Messmedium zum Temperaturfühler und innerhalb des Fühlers (gegebenenfalls vom Fühlereinsatz zum Zusatzschutzrohr) bestimmen das sogenannte „dynamische Verhalten“ der Fühler. Dieses dynamische Verhalten wird durch Zeitprozentkennwerte (z. B. die  $t_{90}$ -Zeit oder die Halbwertzeit  $t_{50}$  nach VDI/VDE 3512) unter Angabe der Betriebsbedingungen (Temperatur, Medium, Strömung) beschrieben (s. Abb. 8). Wegen der zahlreichen möglichen Einbaustationen sind in der VDI/VDE3512 keine Richtwerte vorgegeben, sondern es wird auf den Grundsatz verwiesen: Die Zeitprozentkennwerte der Fühler müssen mit der jeweiligen Mess- und Automatisierungsaufgabe korrespondieren.

In der Praxis erfüllen einige marktübliche Fühlervarianten diesen Grundsatz nicht! Die  $t_{90}$ -Zeit stellt sich für verschiedene Varianten

von Temperaturfühlern mit Fühlerrohrdurchmesser 6mm bzw. für verjüngte Kanalfühler gemäß Tabelle 3 wie folgt dar:

Ausführung	$t_{90}$ / Wasser <sup>1</sup>
Industrielle Standardausführung, gepulvert	13 s – 15 s
Kanalfühler mit Sensor-Litzenaufbau & Wärmeleitpaste	17 s – 19 s
Kanalfühler einfacher Sensorlitzenaufbau	20 s – 26 s
Einfacher Kanalfühler (ETF, ROF)	15 s – 16 s
Flinker tmg – Kanalfühler 6/∅ 4,5 mm (FKATF)	8 s – 10 s

Tabelle 3: Vergleich von Kanalfühler-Varianten

<sup>1</sup> Messung im DKD-Labor der Fa. tmg bei v=0,8m/s Wasserströmung sowie teilweise Messungen an der TU Ilmenau: Dynamik-Kennwerte weisen fühlerbezogene Differenzen von bis zu ± 40% auf

Beachtet man weiterhin, dass die Zeitprozentkennwerte in Luft ca. 10 x größer sind, d. h. manche Fühler erst nach 1,5 min ausreichend „aufgewärmt“ sind, so erkennt man

die energetische Bedeutung schnellansprechender Kanalfühler im Regelkreis bzw. den Vorteil des tmg-Typs FKATF (Abb.9)!

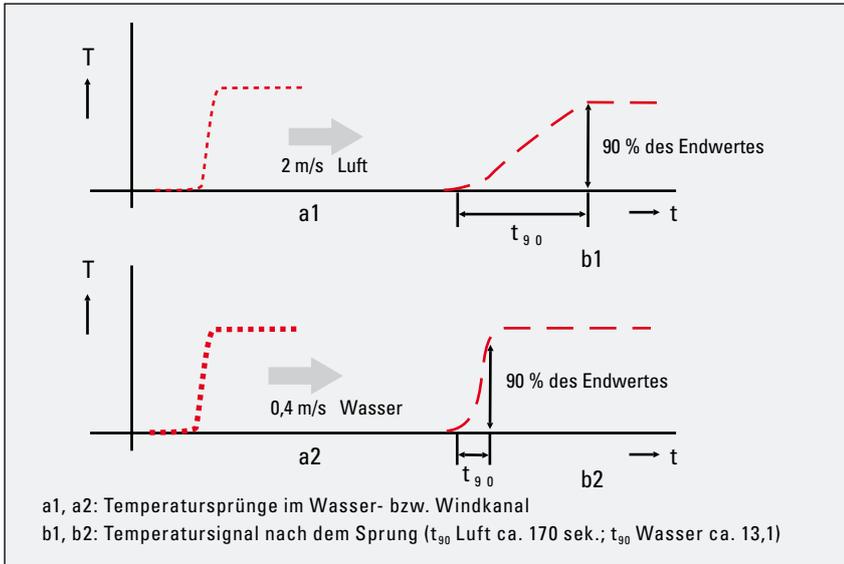


Abbildung 8: Dynamisches Verhalten von Temperaturfühlern

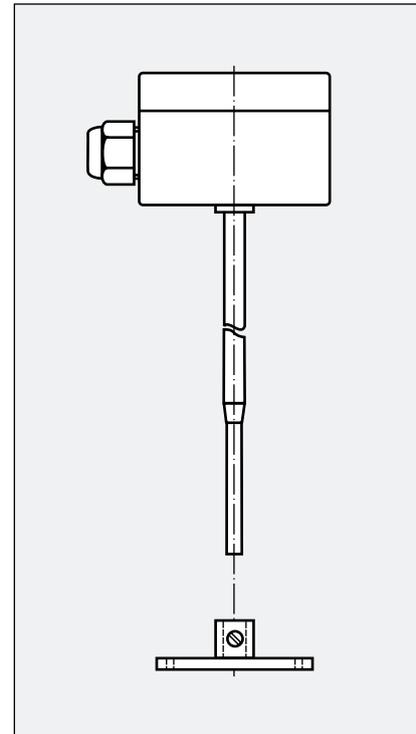


Abbildung 9: Kanalfühler Typ FKATF mit verjüngtem Schutzrohr (verbessertes Ansprechverhalten)

## 5 tmg-Fühlerbeispiele

### 5.1 tmg-Einbautemperaturfühler in starrer, flexibler und Standardausführung (ROF..., ETF...)

Gemäß VDI/VDE 3512 besteht ein Rohrtemperaturfühler aus einem Kopfanschlussgehäuse und einem einschraubbaren Zusatzschutzrohr, wobei im Zusatzschutzrohr der Messeinsatz so angeordnet ist, dass sich der primäre Temperatursensor an der Rohrspitze befindet (Abbildung 10).

Das freie Teil zwischen Einschraubgewinde und Kopfanschlussgehäuse bezeichnet man auch als Halsrohr. Ist das Halsrohr sehr kurz (oder bei manchen Ausführungen fast Null), da es so leicht in die Rohrisolation eingebunden werden kann, zieht die vom Medium über das Schutzrohr fließende Wärme direkt in den Anschlusskopf! Dem Kunden muss daher bei Transmittereinbau

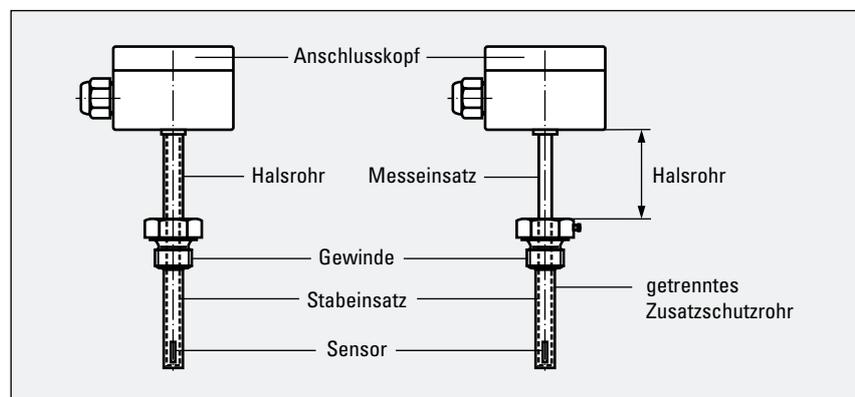


Abbildung 10: Varianten von Rohrtemperaturfühlern

im Anschlusskopf eine Messbereichsgrenze (max. Mediumstemperatur) vorgegeben werden. Diese sollte bei 85°C liegen. Aber auch bei einfachem Fühlereinbau

bei sehr kurzer Halsrohlänge und einem standardgemäßen Messbereich von -40 bis +150°C ist zu beachten, dass einerseits das Kunststoffmaterial des Anschlus-

kopfes grenzwertmäßig belastet wird und Klemmen im oberen Temperaturbereich ab 120°C parasitäre Thermospannungen liefern können. Dies ist mit negativen Folgen für die elektrische Messwerterfassung behaftet (Abb. 11)!

Eine innovative tmg-Fühlerlösung ist der Fühlertyp ROF. Im Anschlusskopf separiert befindet sich ein Silikonkabel mit Sensor Spitze. Durch Herausziehen des Silikonkabels aus dem Gehäusekopf kann die sogenannte Fühlernennlänge vergrößert werden. Der Fühler eignet sich also zur Typenreduzierung. (Zusammenfassung der NL z. B. 150, 200, 250 mm). Wird das Silikonkabelteil auf 1 mm Überlänge herausgezogen, ergeben sich günstige angefederte Anlegeverhältnisse des Sensoreinsatzes im Zusatzschutzrohr.

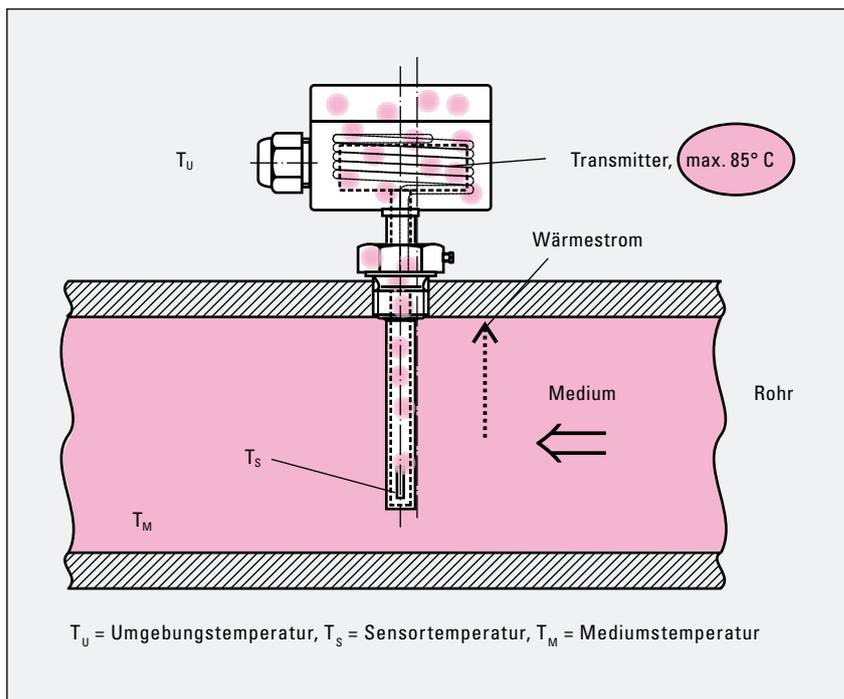


Abbildung 11: Temperatureinflüsse in der Einbausituation des Rohrleitungsfühlers



Abbildung 12: Gerader Fühlereinsatz mit Zusatzschutzrohr (feste Längen) Typ ETF 121



Abbildung 13: Flexibler Fühler mit Zusatzschutzrohr (variable Längen) Typ ROF 121



Abbildung 14: Industrieller Einschraubfühler für 400°C (auch 500, 600 oder 750°C) Typ ETF 521

## 5.2 tmg-Innenraumtemperaturfühler (RTF...)

Die Innenraumfühler haben die Aufgabe, die Innentemperatur der Räume in relativ hoher Genauigkeit, d. h. oft unter 0,1 K genau zu messen. Ein generelles Problem bei der Innentemperaturmessung ist das Auffinden und Festlegen der richtigen Messstelle. Hierzu sind in der VDI/VDE 3512 verschiedene Hinweise gegeben.

Unabhängig davon bleibt das Prinzip der Wandmontage als Messort ein grundsätzliches Problem. Wird in das Wandgehäuse eine entsprechende Elektronik montiert, z. B. ein Transmitter zur Wandlung des Signals in ein 4–20 mA Normsignal, so treten bei hochisolierten Wänden Eigenerwärmungsprobleme durch die Elektronik auf. In diesem Fall ist es unumgänglich, den im Inneren montierten Sensor nach außen zu führen. Dies gelingt bei den tmg-Fühlern durch ein 2,0 mm hochpoliertes VA-Rohr, in dem der Sensor einmontiert ist (Abb. 16).

Die Innenraumfühler vom Typ RTF besitzen eine Toleranz von 0,1 K bei 0°C und befinden sich damit in einer noch höheren als in der VDI/VDE-Richtlinie 3512 aufgeführten höchsten Genauigkeitsklasse „A“. Die Sensortoleranz beträgt im Bereich 0° bis 30°C weniger als  $\pm 0,15^\circ\text{C}$ .

Die Erzielung hoher Genauigkeit korrespondiert zwangsläufig mit der Verwendung

geringer Messströme, da sonst die Eigen- bzw. Selbsterwärmung der Sensoren merkliche Fehleranteile in die Temperaturmessung einbringt (siehe Kapitel 3 „Thermische Messfehler“). Die bei tmg eingebauten Sensoren werden entsprechend an einem Leitstück montiert, sodass der Eigenerwärmungsfehler gemindert und gleichzeitig auch die Wärmeübertragung vom Medium zum Sensor verbessert wird.



Abbildung 15: Innenraumfühler in Standardausführung mit innenliegendem Sensor Typ RTF121



Abbildung 16: Innenraumfühler mit 2,0 mm Außenfühlerrohr (Sonderausführung)

## 5.3 tmg-Anlegetemperaturfühler (ALTF...)

Es gibt vielfältige Formen von Anlegefühlern, wobei das wichtigste Bauteil des Anlegefühlers das Anlegeteil ist. Es überträgt die Wärme vom temperaturführenden Bauteil auf den Sensor. Bei dem Temperaturfühler Typ ALTF (Abb. 17 & 18) ist unterhalb des Gehäuses ein Metallformteil angebracht. Im Inneren des Formteiles ist der Sensor mit Wärmeleitkleber befestigt und im Weiteren nach hinten wasserdicht vergossen. Auf dem Formteil befindet sich

eine perforierte Wärmeleitfolie, wobei sich in den Perforationen Wärmeleitpaste befindet. Wird der Fühler fest an eine Rohr-

leitung angespannt bzw. angedrückt, wird die Wärmeleitpaste aus den Perforationen auf der Oberfläche verteilt und damit der

Fühlerausführung	thermischer Fehler	B <sub>rel</sub>
Fühler mit gefederter Ms Hülse	ca. 8 K	9 %
Fühler mit Federblech	ca. 10 K	11 %
Fühler mit Cu Anlegeblock	ca. 6 K	7 %
tmg Fühler ALTF mit Wärmeleitfolie	ca. 2 K	2 %

Tabelle 4: Anlegefühler-Varianten mit Fehlerkennwerten

Wärmeübergang verbessert. Diese Maßnahme bringt eine Verdreifachung des Wärmeübergangs. Die Tabelle 4 bietet eine Gegenüberstellung der Messfehler verschiedener Fühlerausführungen, die an einem speziell für Anlegefühler entwickeltem Prüfstand ermittelt wurden.

Geht man davon aus, dass literaturgemäß Oberflächentemperaturmessfehler in der Größenordnung 3–10 % vom Messwert liegen, so erreicht der tmg-Anlegefühler außerordentlich günstige Messergebnisse.



Abbildung 17: Fühlertyp ALTF 221

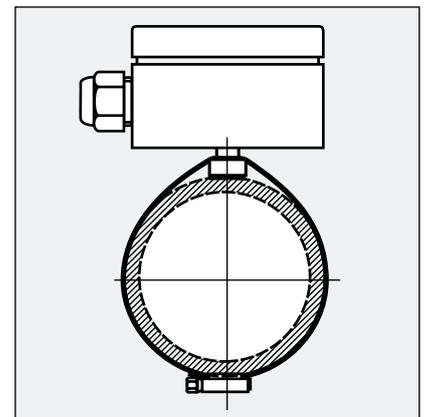


Abbildung 18: prinzipielle Anordnung am Messrohr

#### 5.4 tmg-Ruten-/Mittelwerttemperaturfühler (MWTF...)

Die bei tmg gefertigten Mittelwerttemperaturfühler (Abb. 19) in Längen bis zu 20 m bestehen aus dem Anschlusskasten und einem biegbaren Sensorrohr, welches



Abbildung 19: Mittelwerttemperaturfühler

wiederum aus einem Kupferrohr besteht. Für den Einsatz bis 60°C ist das Rohr mit einem Schutzschlauch überschrumpft und enthält im Inneren eine Drahtwicklung. Diese Drahtwicklung ist sowohl im  $R_0$ -Nennwert als auch im TK-Wert auf die Toleranzklasse TGA-A eingemessen. Knicke oder zu kleine Biegeradien des Ruten-temperaturfühlers führen zu mechanischen Belastungen des Drahtes im Inneren und können Veränderungen im Nullwert bewirken.

Die Mittelwerttemperaturfühler, auch Ruten-temperaturfühler genannt, werden im

Allgemeinen in große Luftkanäle eingespannt. In Abhängigkeit vom Strömungsprofil der zu messenden Luftströmung können erhebliche Messfehler auftreten. Dies ergibt sich, da das Temperaturprofil mit dem Strömungsprofil korrespondiert. In diesem Sinne ist es also erforderlich, dass die Verlegeabstände im Strömungsprofil-Maximum deutlich geringer sind als am Rand. Die entsprechende Abstandsbestimmung und Verlegerichtlinie kann mathematisch errechnet werden. Als Sonderausführung werden diese Fühler „nicht überschrumpft“ auch für Temperaturen bis +300°C gefertigt.

#### 5.5 tmg-Außentemperaturfühler (ATF...)

In einer Studie am Hermann-Rietschel-Institut in Berlin wurden im Auftrag der tmg langzeitmäßig Außentemperaturfühler getestet. Das Testprogramm umfasste Außenfühler mit Außenschutzrohr, ohne Schutzrohr (siehe Abbildung 20) und verschiedene Sonderausführungen. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, wie sich die thermalen Eigenschaften der

Außenfassade auf den Fühler und sein Temperaturfeld auswirken (an der Wand hoch ziehende Strömung, Abstrahlung des Hauses in der Nacht usw.). Tatsächlich gibt es eine Reihe von interessanten Erscheinungen, die schwierig zu fassen sind und zu Messfehlern führen, wobei mit Einbrechen der Dunkelheit die Messfehler teilweise sogar das Vorzeichen gegenüber dem



Abbildung 20: Allgemeine Außentemperaturfühler ohne Strahlungsschutz

Normal wechseln. Man muss beachten, dass Außentemperaturfühler, die einen im Gehäuse innenliegenden Temperatursensor besitzen, zwar prinzipiell zur Außentemperaturmessung geeignet sind, aber jedoch wegen ihrer Oberflächenwirkung durch das Gehäuse bevorzugt auf Temperaturstrah-

lung reagieren und nicht den konvektiven Anteil der Außentemperatur wiedergeben.

Die Firma tmg stellt bis zu sechs verschiedene Typen von Außentemperaturfühlern her. Die gewählte Standardvariante im Heizungs-Klima-Lüftungs-Bereich besitzt

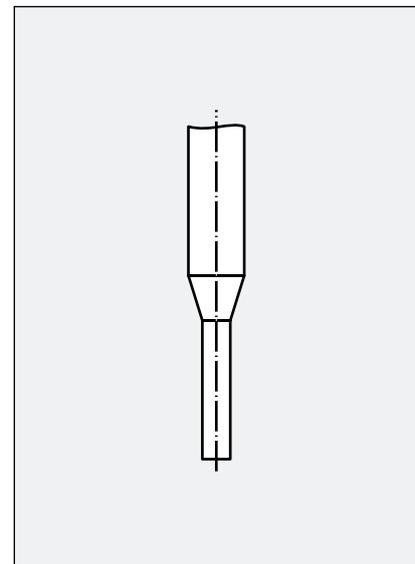
als Kompromiss ein kurzes Fühlerteil, in dem der Sensor untergebracht ist. Allgemein anzuratende Strömungs- und Strahlungsschutzbleche können in Abstimmung mit dem Kunden auch als Variante in Edelstahl ausgeführt werden.

## 5.6 tmg-Kanaltemperaturfühler in flinker Ausführung (FKATF...)

Eine Schutzrohrverjüngung im vorderen Teil führt zu einer Verbesserung der Ansprechzeit des Temperaturfühlers. Auch bei dem Kanaltemperaturfühler wurde das 6mm Schutzrohr auf  $\varnothing$  4,5mm verjüngt. Obwohl die Fühlereinsätze und Kanalfühler bei der Firma tmg durch einen ausgewählten Innenaufbau bereits sehr gute dynamische Ansprechwerte zeigen, kann durch die Verjüngung nochmals eine Verbesserung um bis zu 50 % erreicht werden. Neben der Standard-Verjüngung des FKATF sind noch weitere Verjüngungen möglich, sodass die Zeitkonstante noch weiter verringert und damit die Regeleigenschaften der Leittechnik verbessert werden könnten.



**Abbildung 21:** Kanaltemperaturfühler mit verjüngter Messspitze



**Abbildung 22:** verjüngte Messspitze

## 5.7 tmg-Kabeltemperaturfühler (KTF...)

Kabeltemperaturfühler (Abb.23) gehören zum Standard-Equipment. Im Rahmen der allgemein üblichen Standardtechnologie wird der Sensor in einer VA-Hülse positioniert. Um den Sensor ausreichend zu zentrieren und so eine gute Reproduzierbarkeit in den thermalen Eigenschaften zu erreichen, wird der Sensor in einem Keramikröhrchen zentriert eingebaut. Die Hülse wird am hinteren Ende über einen Sick-Quetsch-Vorgang oder eine flächige Verpressung dicht mit dem Kabel verbunden.

Damit beim Verformungsvorgang der Kabelhülse durch exponierte Spannungszustände keine Verletzungen an dem Silikonkabel hervorgerufen werden, wird über das Kabel ein Zwischenschlauch übergezogen auf den die Hülse gepresst wird. Der innere Vorderteil der Hülse ist mit einer leitenden Paste komplett ausgefüllt.

Neben der Standardlänge sind auf Kundenwunsch beliebige Kabellängen herstellbar.



**Abbildung 23:** Kabeltemperaturfühler

**Temperaturmeßtechnik Geraberg GmbH**

Heydaer Straße 39 D-98693 Martinroda

Tel: +49 (0)3677 7949-0 Fax: +49 (0)3677 7949-15

e-mail: [tmg@temperatur.com](mailto:tmg@temperatur.com)

<http://www.temperatur.com>