



(10) **DE 10 2016 105 949 A1** 2017.10.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 105 949.8**  
(22) Anmeldetag: **31.03.2016**  
(43) Offenlegungstag: **05.10.2017**

(51) Int Cl.: **G01K 1/14 (2006.01)**  
**G01K 13/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**ABB Schweiz AG, Baden, CH**

(74) Vertreter:  
**Marks, Frank Dieter, Dipl.-Ing. Pat.-Ing., 40764  
Langenfeld, DE**

(72) Erfinder:  
**Wildermuth, Stephan, Dr., 69514 Laudenbach,  
DE; Disselkötter, Rolf, Dr., 69256 Mauer, DE;  
Gebhardt, Jörg, Dr., 55130 Mainz, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

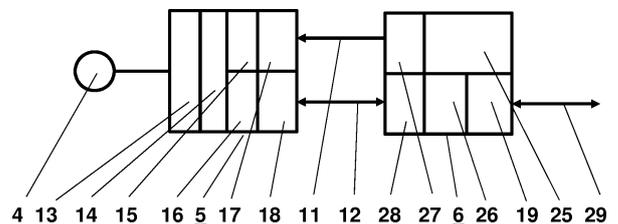
<b>DE</b>	<b>10 2014 012 086</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2010 / 0 111 135</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 114 013</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2014 / 0 036 956</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2014/ 195 721</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2015/ 023 462</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Nicht-intrusive Temperaturmessvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine nicht-intrusive Temperaturmessvorrichtung zur Messung der Fluidtemperatur in zumindest teilweise thermisch isolierten Rohren (2) von Anlagen der Prozessindustrie vorgeschlagen, bei der das Rohr (2) zumindest an der Messstelle mit einer thermischen Isolationsschicht (8, 8') vollständig ummantelt ist, wobei innerhalb der thermischen Isolationsschicht (8, 8') eine Sensorelektronik (5) mit einem Temperatursensor (4) auf das Rohr (2) montiert ist, außerhalb der thermischen Isolationsschicht (8, 8') eine Verbindungselektronik (6) angeordnet ist und wobei die Sensorelektronik (5) und die Verbindungselektronik (6) Mittel (17, 27) zur drahtlosen Energieübertragung (11) zur Versorgung der Sensorelektronik (5) und Mittel (18, 28) zur drahtlosen Kommunikation (12) zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik (5) zur Verbindungselektronik (6) aufweisen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine nicht-intrusive Temperaturmessvorrichtung zur Messung der Fluidtemperatur in zumindest teilweise thermisch isolierten Rohren von Anlagen der Prozessindustrie.

**[0002]** Bislang sind hauptsächlich Einbaulösungen (intrusiv) bekannt, welche mit verschiedenen Nachteilen behaftet sind: Der Temperatursensor sollte möglichst bereits beim Aufbau der Anlage eingebaut werden. Falls Nachrüstung erforderlich, muss entweder

- bereits eine Einbauöffnung für den Sensor vorhanden sein, oder
- ein Loch gebohrt und ein Thermowell eingeschweißt werden. In diesen wird der Temperatursensor eingesetzt. Letzteres ist im laufenden Betrieb nicht möglich, demzufolge die Anlage vorübergehend abgeschaltet werden muss. Eine solche Lösung ist beispielsweise aus der Veröffentlichung [http://www.burnsengineering.com/local/local/uploads/files/snx\\_family.pdf](http://www.burnsengineering.com/local/local/uploads/files/snx_family.pdf)20 bekannt.

**[0003]** Sie wird dort als nicht-intrusiv bezeichnet, da der eigentliche Sensor nicht in das Fluid eintaucht.

**[0004]** Bei nicht-intrusiven Sensorlösungen wird der Sensor außen am Rohr platziert und über die Messung der Rohrtemperatur indirekt auf die Fluidtemperatur geschlossen. Dabei besteht das Problem, dass aufgrund der meist von der Fluidtemperatur abweichenden Umgebungstemperatur über die Rohrwand und eventuelle Grenzschichten hinweg ein Wärmestrom zwischen Fluid und Umgebung erzeugt wird, der über die vorgeschalteten Wärmewiderstände entsprechende Temperaturdifferenzen und damit eine fehlerhafte Temperaturmessung bewirkt.

**[0005]** Damit diese Unterschiede möglichst gering bleiben (möglichst  $< 1\text{K}$ ), wird i.a. um das Rohr herum eine thermische Isolation vorgesehen, die den radialen Wärmefluss und somit den Fehler der Temperaturmessung reduziert. Dabei besteht das Problem, dass bei bekannten Lösungen durch die erforderlichen elektrischen und mechanischen Anschlüsse die thermische Isolation in der Nähe des Sensors unterbrochen wird und ein Teil der Wärme über diese Anschlüsse in Radialrichtung abfließt. Dieser Wärmefluss erzeugt weitere Messfehler und erfordert andererseits eine sehr gute thermische Kopplung des Sensors an die gekrümmte Rohroberfläche. Eine solche Vorgehensweise ist bei Retrofitanwendungen aber nur aufwändig zu bewerkstelligen. Dies gilt insbesondere, da die über das Sensorelement (in der Regel ein Pt100) angeschlossene Elektronik elektrisch gegen die Rohrwand isoliert sein muss. Dessen Einbettung muss in erster Linie auf elektrische Festigkeit ausgelegt werden und kann da-

her erst nachrangig auf guten thermischen Kontakt optimiert werden. Dies führt zwangsläufig zu einer schlechten thermischen Ankopplung, da elektrisch isolierende Materialien auch thermisch schlecht leiten. In der Regel ist der Pt100 von einigen Millimetern Keramikpulver in der Kappe des Temperaturfühlers umgeben.

**[0006]** Nachteile haben auch alternative Lösungen, bei denen die Sensorleitungen zunächst ein Stück in Axialrichtung am Rohr entlang geführt werden, um den entsprechenden Wärmefluss in Sensornähe zu reduzieren. Diese sind einerseits mit erheblichem Installationsaufwand verbunden. Außerdem löst man damit das Problem des hohen Wärmewiderstandes zwischen Pt100 und Rohr nicht, sondern erhöht durch die geschlossene Isolierung nur den Wärmewiderstand zur Umgebung. Dadurch wird zwar die absolute Genauigkeit im stationären Zustand verbessert, nicht jedoch die Ansprechzeit des Sensors. Ein schnelles Ansprechen des Sensors wird jedoch ebenfalls benötigt.

**[0007]** Drahtlose Verfahren zur Temperaturmessung sind aus verschiedenen Anwendungen bekannt, allerdings nicht vor dem Hintergrund einer verbesserten Messgenauigkeit in Fällen, bei denen sich zwischen dem Ziel der Temperaturmessung und der eigentlichen Messstelle unvermeidbare und nicht vernachlässigbare Wärmewiderstände befinden.

**[0008]** Aus der Publikation [http://www.sengenuity.com/tech\\_ref/Smart\\_Grid\\_Solutions\\_Leveraging\\_SAW.pdf](http://www.sengenuity.com/tech_ref/Smart_Grid_Solutions_Leveraging_SAW.pdf) ist die drahtlose Messung zum potentialfreien Monitoring der Temperatur massiver Leiter- und Kontaktelemente in Schaltanlagen mittels SAW-Sensoren bekannt, ohne dass Batterien oder Energie-Harvesting-Verfahren erforderlich wären.

**[0009]** In der US 8,152,367 B2 ist eine intrusive Temperaturmessung in einem geschlossenen Behälter beschrieben, ohne dass dieser eine Durchföhrung benötigt.

**[0010]** Aus dem INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS, VOL. 4, NO. 2, JUNE 201, veröffentlicht unter <http://www.s2is.org/Issues/v4/n2/papers/paper10.pdf>, ist die Temperaturmessung auf rotierenden Maschinen ohne mechanischen Kontakt bekannt.

**[0011]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen nicht-intrusiven Temperatursensor zur Messung der Fluidtemperatur in Rohren von Anlagen der Prozessindustrie anzugeben, welcher ohne Beeinträchtigung der thermischen Isolation der Rohre die Fluidtemperatur mit hoher Messgenauigkeit bestimmt.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den rückbezogenen Ansprüchen angegeben.

**[0013]** Die Erfindung geht aus von einem Rohr, welches mit einer nicht-intrusiven Temperaturmessrichtung ausgestattet ist.

**[0014]** Erfindungsgemäß ist eine Messeinrichtung zur nicht-intrusiven Bestimmung der Fluidtemperatur in dem Rohr, welches zumindest an der Messstelle mit einer thermischen Isolationsschicht vollständig ummantelt ist, vorgesehen, welche aus einer Sensorelektronik mit einem Temperatursensor und einer Verbindungselektronik mit einer Verarbeitungseinheit, einer Kommunikationseinheit sowie einer Energieversorgungseinheit besteht, wobei die Sensorelektronik innerhalb dieser umschließenden, thermischen Isolationsschicht und die Verbindungselektronik außerhalb dieser Isolationsschicht angeordnet sind. Die Verbindungselektronik und die Sensorelektronik weisen Mittel zur drahtlosen Energieübertragung zur Versorgung der Sensorelektronik aus der Energieversorgungseinheit und Mittel zur drahtlosen Kommunikation zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik zur Verbindungselektronik auf. Der Temperatursensor der Sensorelektronik ist unmittelbar oder über einen Wärmekontaktvermittler (Rohradapter) zur Vergrößerung der Kontaktfläche auf der äußeren Oberfläche des Rohrs angeordnet.

**[0015]** Bei einem thermisch gegen die Umwelt isolierten Rohr nimmt die Rohrwand die Fluidtemperatur an. Damit nimmt auch der Temperatursensor nahezu verzögerungsfrei die Temperatur der Rohrwand – also die Fluidtemperatur – an. Folglich wird die Fluidtemperatur mit hoher Messgenauigkeit und kurzer Ansprechzeit der Messeinrichtung gemessen. Gleichzeitig ist die Verbindungselektronik elektrisch vollständig gegen die Rohrwand isoliert.

**[0016]** Im Ergebnis der drahtlosen Übertragung von Energie und Messwerten zwischen der Sensorelektronik und der Verbindungselektronik ist die thermische Isolationsschicht am Messort ununterbrochen, so dass thermische Verluste sowie dadurch bedingte Messwertverfälschungen vermieden werden.

**[0017]** Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden im Rahmen von Ausführungsbeispielen beschrieben. Die dazu erforderlichen Zeichnungen zeigen:

**[0018]** Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung eines Rohrs mit einer nicht-intrusiven Messeinrichtung

**[0019]** Fig. 2 eine Längsschnittsdarstellung eines Rohrs mit einer nicht-intrusiven Messeinrichtung

**[0020]** Fig. 3 eine Detaildarstellung des mechanischen Aufbaus der Wärmekontaktvermittlung des Temperatursensors

**[0021]** Fig. 4 eine alternative Detaildarstellung des mechanischen Aufbaus der Wärmekontaktvermittlung des Temperatursensors

**[0022]** Fig. 5 eine Detaildarstellung (Blockdiagramm) der Sensorelektronik und der Verbindungselektronik

**[0023]** Fig. 6 eine Detaildarstellung des mechanischen Aufbaus der Sensorelektronik

**[0024]** Fig. 7 eine grafische Darstellung der Temperaturverteilung an der Messstelle

**[0025]** In der Fig. 1 ist ein Rohr 2 zur Leitung eines Fluids 1 mit einer nicht-intrusiven Messeinrichtung im Querschnitt und unter Verwendung gleicher Bezugszeichen für gleiche Mittel in Fig. 2 im Längsschnitt dargestellt. Das Rohr 2 ist an der Messstelle vollständig in einer umschließenden thermischen Isolation 8, 8' eingebettet. Die thermische Isolation 8, 8' kann dabei einteilig ausgebildet oder aus mehreren Teilen 8, 8' zusammengesetzt sein. Die thermische Isolation 8, 8' kann nachträglich außen an das Rohr 2 angebracht werden und wird durch eine Einrichtung zur mechanischen Fixierung 10 um das Rohr 2 gespannt und an ihren Platz gehalten.

**[0026]** Auf der Oberfläche des Rohrs 2 ist innerhalb der thermischen Isolation 8, 8' ein Temperatursensor 4 angeordnet, welcher mit einer Sensorelektronik 5 verbunden ist. Der Temperatursensor 4 und die Sensorelektronik 5 sind gemeinsam mit einem Rohradapter 3 auf die Oberfläche des Rohrs 2 montiert. Der Rohradapter 3 ist rohrseitig an den Außendurchmesser des Rohrs 2 und sensorseitig an die Kontur des Temperatursensors 4 und der Sensorelektronik 5 angepasst. Dadurch wird ein guter Wärmekontakt zwischen dem Temperatursensor 4 und der Oberfläche des Rohrs 2 erreicht. Der Temperatursensor 4, die Sensorelektronik 5 und der Rohradapter 3 sind in die das Rohr 2 an dieser Stelle vollständig umschließenden thermischen Isolation 8, 8' eingebettet. Dadurch werden Temperaturänderungen durch radiale und/oder axiale Wärmeströme an der Messstelle vermieden und die Messgenauigkeit erhöht.

**[0027]** Außerhalb der thermischen Isolation 8, 8' ist eine Verbindungselektronik 6 angeordnet, welche mittels einer Halterung 9 in ihrer Position fixiert ist. In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die Verbindungselektronik 6 über ein Anschlusskabel 7 mit einer lokalen Anzeigeeinheit 20 verbunden.

**[0028]** Die thermische Isolation 8, 8' besteht aus Schaumstoff-Material, vorzugsweise Hartschaum,

und ist mit Aussparungen zur Aufnahme des Temperatursensors **4** und der Sensorelektronik **5** ausgestattet. Vorteilhafterweise ist die thermische Isolation **8**, **8'** zweiteilig ausgeführt. Dadurch wird die Ausrüstung eines bereits verlegten Rohrs **2** erleichtert. Dieser Vorteil kommt insbesondere bei nachträglicher Ausrüstung (Retrofit) zum Tragen.

**[0029]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung ist die thermische Isolation **8**, **8'** geometrisch entlang der Tangente auf der Oberfläche des Rohrs **2** geteilt. Dadurch wird eine verbesserte Wärmeisolation gegenüber einer radialen Teilung durch einen längeren Trennsplatt erreicht. Vorzugsweise ist der Temperatursensor **4** mittig der Halbschale der thermischen Isolation **8** angeordnet. Dadurch wird die Wirkung von Wärmeverlusten an den Teilungsspalten zwischen den Halbschalen der thermischen Isolation **8**, **8'** vermieden.

**[0030]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung weist die thermische Isolation **8**, **8'** eine ausreichende radiale Materialstärke und genügend hohen Widerstand auf, um die radialen Wärmeverluste auf ein Minimum zu reduzieren. Dabei wird eine maximale Temperaturdifferenz zwischen Sensor- und Fluidtemperatur von weniger als 1K angestrebt.

**[0031]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung besteht die Fixierung **10** aus einer die thermische Isolation **8**, **8'** umschließenden Metallklammer oder Bändern, die einen Verschlussmechanismus aufweist. Dieser Verschlussmechanismus kann einen Klapphebel oder Verschraubungsmöglichkeiten aufweisen. Darüber hinaus ist die Fixierung **10** als Träger der lokalen Anzeigeeinheit **20** mit der Schnittstelle für die Fern-Kommunikation zu einer übergeordneten Einheit ausgebildet.

**[0032]** In der Fig. 3 ist der mechanische Aufbau der Wärmekontaktvermittlung des Temperatursensors **4** detailliert dargestellt. Der Rohradapter **3** ist rohrrseitig der geometrischen Form des Rohrs **2** und auf der dem Rohr **2** abgewandten Seite der Kontur des Temperatursensors **4** sowie der Sensorelektronik **5** angepasst.

**[0033]** In einer ersten Ausführungsform ist der Rohradapter **3** aus einem elastischen, wärmeleitenden Trägermaterial gebildet. Insbesondere kann als Rohradapter **3** ein Träger aus Gummi vorgesehen sein, welcher mit wärmeleitendem Material gefüllt ist.

**[0034]** In einer zweiten Ausführungsform besteht der Rohradapter **3** aus einem deformierbarem Metallschaum, welcher unter Druck an die konkrete Kontur der Oberfläche des Rohrs **2** angepasst ist. Hierzu sind insbesondere Metallschäume aus Silber oder Aluminium geeignet.

**[0035]** In Abhängigkeit von der Bauform des Temperatursensors **4** kann gemäß Fig. 4 vorgesehen sein, einen flächigen Temperatursensor **4** parallel zur Sensorelektronik **5** zwischen dem Rohradapter **3** und der Sensorelektronik **5** anzuordnen.

**[0036]** Alternativ kann vorgesehen sein, den Temperatursensor **4** auf den Träger (Leiterplatte) der Sensorelektronik **5** zu integrieren und die dem Rohr **2** abgewandten Seite des Rohradapters **3** der Kontur des Temperatursensors **4** sowie der Sensorelektronik **5** anzupassen. Dabei kann der Temperatursensor **4** auf der dem Rohr **2** abgewandten Seite der Sensorelektronik **5** oder als Temperatursensor **4'** auf der dem Rohr **2** zugewandten Seite der Sensorelektronik **5** angeordnet sein.

**[0037]** Als die Erfindung verbessernde Maßnahme kann eine Wärmeleitpaste zwischen dem Rohradapter **3** und dem Temperatursensor **4** und/oder zwischen dem Rohradapter **3** und dem Rohr **2** vorgesehen sein. Alternativ kann vorgesehen sein, dem Temperatursensor **4** mittels Wärmeleitkleber auf dem Rohradapter **3** zu fixieren.

**[0038]** Darüber hinaus kann die Wärmeankopplung des Temperatursensors **4** an das Rohr **2** durch eine Feder verbessert werden, welche zumindest den Temperatursensor **4** gegen das Rohr **2** drückt. In Abhängigkeit von der Bauform des Temperatursensors **4** kann die Sensorelektronik **5** in die kraftschlüssige Verbindung einbezogen sein.

**[0039]** In der Fig. 5 sind die Sensorelektronik **5** und die Verbindungselektronik **6** detailliert dargestellt. Die Sensorelektronik **5** umfasst zumindest eine analoge Signalaufbereitung **13**, eine Sende-/Empfangseinheit **16** mit zugeordneten Sende- und Empfangsantennen **18**. In bevorzugter Ausführungsform ist die Sensorelektronik **5** darüber hinaus mit einem Analog/Digitalwandler **14** ausgestattet. Darüber hinaus ist die Sensorelektronik **5** mit einer Energieversorgungseinheit **15** sowie Spulen für die induktive Energieversorgung **17** ausgerüstet. Der Temperatursensor **4** ist an die analoge Signalaufbereitung **13** angeschlossen.

**[0040]** Die Verbindungselektronik **6** umfasst eine Energieversorgungseinheit **25**, eine Sende-/Empfangseinheit **26** und ein Kommunikationsinterface **19**. Der Energieversorgungseinheit **25** sind Spulen für die induktive Energieversorgung **27** der Sensorelektronik **5** zugeordnet. Die Sende-/Empfangseinheit **26** ist mit Sende- und Empfangsantennen **28** verbunden. Die äußere Kommunikation **29** erfolgt über das Kommunikationsinterface **19**.

**[0041]** Die Sensorelektronik **5** wird drahtlos aus der Energieversorgungseinheit **25** der Verbindungselektronik **6** mit elektrischer Energie versorgt. Dazu werden die Spulen für die induktive Energieversorgung

**27** mit einem Wechselstrom angeregt. Im Wechselfeld der Spulen für die induktive Energieversorgung **27** wird in den Spulen für die induktive Energieversorgung **17** der Sensorelektronik **5** eine Spannung induziert, welche in der Energieversorgungseinheit **15** zur Speisung der Sensorelektronik **5** aufbereitet wird.

**[0042]** Vorteilhafterweise sind die Spulen für die induktive Energieversorgung **17** und **27** als Planarspulen ausgebildet, welche auf der Leiterplatte der Sensorelektronik **5** sowie der Verbindungselektronik **6** aufgedruckt sind. Alternativ können in einen elektronischen Schaltkreis integrierte Planarspulen vorgesehen sein. Die induktive Kopplung zwischen den Spulen für die induktive Energieversorgung **17** und **27** erfolgt vorzugsweise im MHz-Bereich. Dadurch wird eine geringe Baugröße der Spulen für die induktive Energieversorgung **17** und **27** erreicht. Eine weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahme wird darin gesehen, die Spulen für die induktive Energieversorgung **17** und **27** mit einem ferromagnetischen Material, wie offene Ferritkerne, auszurüsten. Dadurch wird die induktive Kopplung zwischen den Spulen für die induktive Energieversorgung **17** und **27** weiter verbessert.

**[0043]** In einer alternativen Ausgestaltungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, die elektrische Energie von der Verbindungselektronik **6** zur Sensorelektronik **5** im GHz-Bereich zu übertragen und anstelle der Spulen für die induktive Energieversorgung **17** SAW-Sensoren zum Empfang der Energie anzuordnen.

**[0044]** In einer weiteren, alternativen Ausgestaltungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, die elektrische Energie von der Verbindungselektronik **6** zur Sensorelektronik **5** im optischen Bereich zu übertragen. Dabei sind anstelle der Spulen für die induktive Energieversorgung **27** Leuchtdioden im sichtbaren oder infraroten Sendebereich und anstelle der anstelle der Spulen für die induktive Energieversorgung **17** Photozellen vorgesehen.

**[0045]** Der Temperatursensor **4** kann als temperaturabhängiger Widerstand, als Thermoelement oder als Sperrschichtbleiter ausgebildet sein. Das Messsignal des Temperatursensors **4** wird in der Sensorelektronik **5** vorverarbeitet. In einer ersten Verarbeitungsstufe wird das Messsignal in der analogen Signalaufbereitung **13** auf die nachfolgende Digitalisierung im Analog/Digitalwandler **14** vorbereitet. Das digitalisierte Messsignal wird über die Sende-/Empfangseinheit **16** mit zugeordneten Sende- und Empfangsantennen **18** drahtlos an die Verbindungselektronik **6** übertragen.

**[0046]** Das gesendete Messsignal wird von den Sende- und Empfangsantennen **28** der Sende-/Empfangseinheit **26** aufgenommen und an das Kommu-

nikationsinterface **19** weitergereicht. Das Kommunikationsinterface **19** ist mit einer nicht dargestellten, übergeordneten Einrichtung verbunden. Die Kommunikation **29** mit dieser übergeordneten Einrichtung kann drahtlos oder drahtgebunden erfolgen.

**[0047]** Zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik **6** ist eine drahtlose Kommunikation **12** vorgesehen, über die die Temperatur sowie optional weitere Information aus der Sensorelektronik **5** ausgelesen werden können. Im Fall einer bidirektionalen Kommunikation können außerdem Triggersignale oder Konfigurationsbefehle von der Verbindungselektronik **6** zu der Sensorelektronik **5** übertragen werden

**[0048]** In der **Fig. 6** ist die prinzipielle räumliche Anordnung der Sensorelektronik **5** gezeigt. Entlang der Rohrachse **23** des Rohrs **2** sind auf der Sensorelektronik **5** die Spulen für die induktive Energieversorgung **17**, der Temperatursensor **4** und die Sende- und Empfangsantennen **18** in Längsrichtung aufeinanderfolgend angeordnet. Der Temperatursensor **4** kann vorteilhafterweise auch mit der Sensorelektronik **5** auf einem Substrat integriert sein. Insbesondere ist vorgesehen, dass Bauteile, die Verlustwärme erzeugen, zur Vermeidung von Temperaturfehlern in ausreichendem Abstand vom Temperatursensor **4**, beispielsweise in Axialrichtung der Rohrachse **23** des Rohrs **2** verschoben, angebracht sind.

**[0049]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Kommunikation zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik **6** über separate Sende- und Empfangsantennen **18**, **28** digital nach einen der für sich bekannten Standards, wie Bluetooth LE, ausgebildet.

**[0050]** In einer alternativen, vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Kommunikation zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik **6** analog induktiv. Dazu kann eine Modulation des zur Energieversorgung verwendeten Signals nach dem Prinzip der reflektierten Impedanz vorgesehen sein.

**[0051]** In einer weiteren, alternativen Ausgestaltung der Erfindung kann die Kommunikation zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik **6** durch Integration von Energieversorgung und drahtloser Kommunikation mittels SAW-Technologie erfolgen.

**[0052]** Darüber hinaus ist auch eine analog-kapazitive Kommunikation zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik **6** denkbar.

**[0053]** Schließlich ist bei optischer Energieversorgung denkbar, die Kommunikation zwischen der Sensorelektronik **5** und der Verbindungselektronik

**6** ebenfalls optisch durch Modulation der zurückgestrahlten Lichtintensität auszubilden.

**[0054]** In der **Fig. 7** ist eine grafische Darstellung der Temperaturverteilung an der Messstelle gezeigt. Unter Verwendung gleicher Bezugszeichen für gleiche Mittel ist die Anordnung der Sensorelektronik **5** mit dem Temperatursensor **4** und dem Rohradapter **3** auf der Oberfläche eines ausschnittsweise gezeigten Rohrs **2** dargestellt, welches zumindest teilweise oder vollständig von einer thermischen Isolation **8** umschlossen ist. Bei einer teilweisen thermischen Isolation **8** ist der Temperatursensor **4** in Längsrichtung etwa mittig der thermischen Isolation **8** auf der äußeren Oberfläche des Rohrs **2** angeordnet. In der Rohrwand sind axiale Wärmeflüsse **21** als Pfeile dargestellt, deren Länge ein Maß für die Menge des Wärmeflusses am jeweiligen Ort der Rohrwand darstellt. Infolge der thermische Isolation **8** sind Wärmeflüsse **21** in der unmittelbaren Umgebung der Messstelle zunächst gering und nehmen mit zunehmender Annäherung an das jeweilige Ende der thermische Isolation **8** zu.

**[0055]** Bezogen auf die körperliche Anordnung der Sensorelektronik **5** mit dem Temperatursensor **4** auf der Rohrwand sind eine Temperaturverteilung der Fluidtemperatur **22** und eine Temperaturverteilung der Rohrwandtemperatur **24** als Temperatur  $T$  über die Länge  $x$  des Rohrs **2** grafisch aufgetragen. Die Fluidtemperatur **22** ist längs des Rohrs **2** konstant. Die thermische Isolation **8** bewirkt, dass die Rohrwandtemperatur **24** an der Messstelle gleich der Fluidtemperatur **22** ist und im Ergebnis der Wärmeflüsse **21** zum jeweiligen Ende der thermischen Isolation **8** abnimmt. Dadurch wird eine hohe Messgenauigkeit der Fluidtemperatur **22** an der Messstelle erreicht.

**[0056]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung weist die thermische Isolation **8, 8'** eine ausreichende axiale Länge auf, um in der vom Wärmekontakt-Vermittler belegten Zone um ihre axiale Mitte herum die axialen Wärmeflüsse **21** in der Rohrwand **2** zur Erzielung einer nahezu konstanten Temperaturverteilung **22** auf ein Minimum zu reduzieren.

**[0057]** Vorteilhafterweise ist der Einbau der erfindungsgemäßen nicht-intrusiven Temperaturmessvorrichtung an einem beliebigen geraden Rohrabchnitt ausreichender Länge möglich und zeichnet sich dabei durch einen einfachen mechanischen Aufbau aus. Insbesondere ist die erfindungsgemäße Temperaturmessvorrichtung mit einfachen Mitteln an einem bereits verlegten Rohr **2** ohne Betriebsunterbrechung (Retrofit) anzubringen.

**[0058]** Darüber hinaus ist die Temperaturmessung der erfindungsgemäßen Temperaturmessvorrichtung weitgehend unabhängig von radialen und

axialen Wärmeströmen an der Messstelle. Die Empfindlichkeit gegenüber der Qualität der thermischen Ankopplung der Temperaturmessvorrichtung an das Rohr **2** ist gering. Insbesondere dieser Vorteil ist in industriellen Anwendungen bedeutsam, die Anforderungen an Robustheit und Langzeitstabilität zu erfüllen. Dadurch wird insgesamt eine hohe Messgenauigkeit erreicht.

**[0059]** Aufgrund der drahtlosen Anbindung der Verbindungselektronik **6** entfällt gleichzeitig die Notwendigkeit einer elektrischen Isolation des Temperatursensors **4** gegenüber dem Rohr **2**, wodurch der mechanische Systemaufbau weiter vereinfacht und der Wärmekontakt zwischen Temperatursensor **4** und der Kontaktfläche zum Rohr **2** verbessert wird. Dadurch werden die Sensor-Ansprechzeiten verringert.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Fluid
<b>2</b>	Rohr
<b>3</b>	Rohradapter
<b>4, 4'</b>	Temperatursensor
<b>5</b>	Sensorelektronik
<b>6</b>	Verbindungselektronik
<b>7</b>	Anschlusskabel
<b>8, 8'</b>	Isolation
<b>9</b>	Halterung
<b>10</b>	Fixierung
<b>11</b>	Energieversorgung
<b>12</b>	drahtlose Kommunikation
<b>13</b>	Analoge Signalaufbereitung
<b>14</b>	Analog/Digitalwandler
<b>15, 25</b>	Energieversorgungseinheit
<b>16, 26</b>	Sende-/Empfangseinheit
<b>17, 27</b>	Spulen für die induktive Energieversorgung
<b>18, 28</b>	Sende- und Empfangsantennen
<b>19</b>	Kommunikationsinterface
<b>20</b>	lokale Anzeigeeinheit
<b>21</b>	Wärmeflüsse
<b>22</b>	Fluidtemperatur
<b>23</b>	Rohrachse
<b>24</b>	Rohrwandtemperatur
<b>29</b>	Kommunikation mit übergeordneter Einrichtung
<b>T</b>	Temperatur
<b>X</b>	Länge

## ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### Zitierte Patentliteratur

- US 8152367 B2 [0009]

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

- [http://www.burnsengineering.com/local/local/uploads/files/snx\\_family.pdf20](http://www.burnsengineering.com/local/local/uploads/files/snx_family.pdf20) [0002]
- [http://www.sengenuity.com/tech\\_ref/Smart\\_Grid\\_Solutions\\_Leveraging\\_SAW.pdf](http://www.sengenuity.com/tech_ref/Smart_Grid_Solutions_Leveraging_SAW.pdf) [0008]
- INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS, VOL. 4, NO. 2, JUNE 201 [0010]
- <http://www.s2is.org/Issues/v4/n2/papers/paper10.pdf> [0010]

### Patentansprüche

1. Nicht-intrusive Temperaturmessvorrichtung zur Messung der Fluidtemperatur in zumindest teilweise thermisch isolierten Rohren von Anlagen der Prozessindustrie

**dadurch gekennzeichnet,**

- dass das Rohr (2) zumindest an der Messstelle mit einer thermischen Isolationsschicht (8, 8') vollständig ummantelt ist,
- dass innerhalb der thermischen Isolationsschicht (8, 8') eine Sensorelektronik (5) mit einem Temperatursensor (4) auf das Rohr (2) montiert ist,
- dass außerhalb der thermischen Isolationsschicht (8, 8') eine Verbindungselektronik (6) angeordnet ist,
- dass die Sensorelektronik (5) und die Verbindungselektronik (6) Mittel (17, 27) zur drahtlosen Energieübertragung (11) zur Versorgung der Sensorelektronik (5) aufweisen und
- dass die Sensorelektronik (5) und die Verbindungselektronik (6) Mittel (18, 28) zur drahtlosen Kommunikation (12) zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik (5) zur Verbindungselektronik (6) aufweisen.

2. Temperaturmessvorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet,** dass die Sensorelektronik (5) zumindest eine analoge Signalaufbereitung (13), eine Sende-/Empfangseinheit (16) mit zugeordneten Sende- und Empfangsantennen (18) umfasst.

3. Temperaturmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet,** dass der Temperatursensor (4) und die Sensorelektronik (5) gemeinsam mit einem Rohradapter (3) auf die Oberfläche des Rohrs (2) montiert sind.

4. Temperaturmessvorrichtung nach Anspruch 3 **dadurch gekennzeichnet,** dass der Rohradapter (3) rohrseitig an den Außendurchmesser des Rohrs (2) und sensorseitig an die Kontur des Temperatursensors (4) und der Sensorelektronik (5) angepasst.

5. Temperaturmessvorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet,** dass die Verbindungselektronik (6) zumindest aus einer Verarbeitungseinheit, einer Kommunikationseinheit (19) sowie einer Energieversorgungseinheit (25) besteht.

6. Temperaturmessvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet,** dass die drahtlose Energieübertragung (11) zur Versorgung der Sensorelektronik (5) induktiv und die drahtlose Kommunikation (12) zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik (5) zur Verbindungselektronik (6) funkbasiert ist.

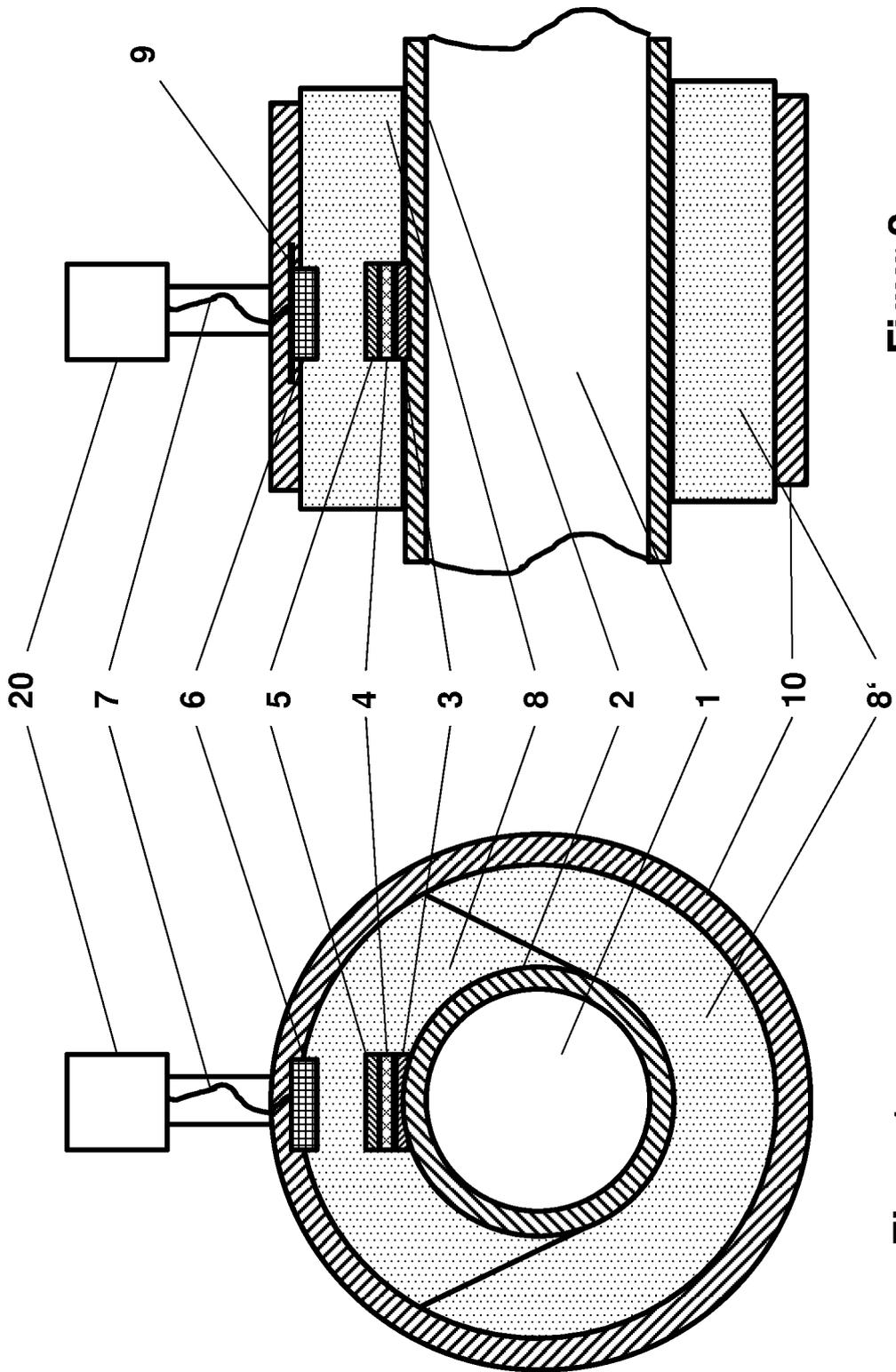
7. Temperaturmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet,** dass die drahtlose Energieübertragung (11) zur Versor-

gung der Sensorelektronik (5) optisch und die drahtlose Kommunikation (12) zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik (5) zur Verbindungselektronik (6) durch Modulation der zurückgestrahlten Lichtintensität ausgebildet ist.

8. Temperaturmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet,** dass die drahtlose Energieübertragung (11) zur Versorgung der Sensorelektronik (5) und die drahtlose Kommunikation (12) zur Übertragung der Temperaturmesswerte von der Sensorelektronik (5) zur Verbindungselektronik (6) mittels SAW-Technologie ausgebildet sind.

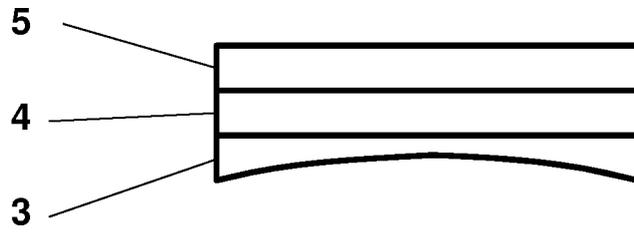
Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

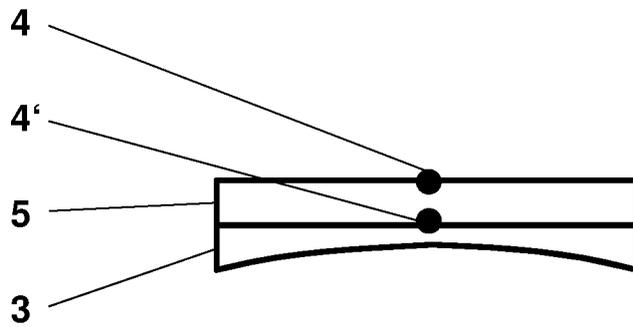


Figur 2

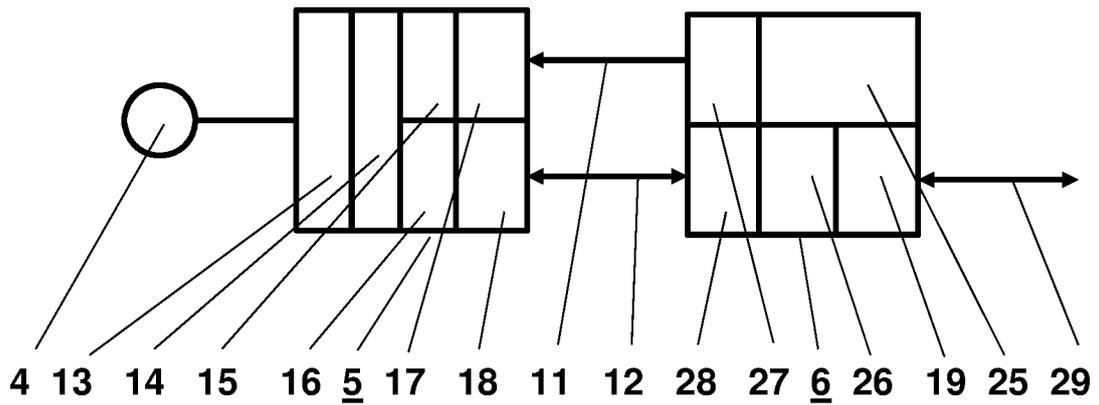
Figur 1



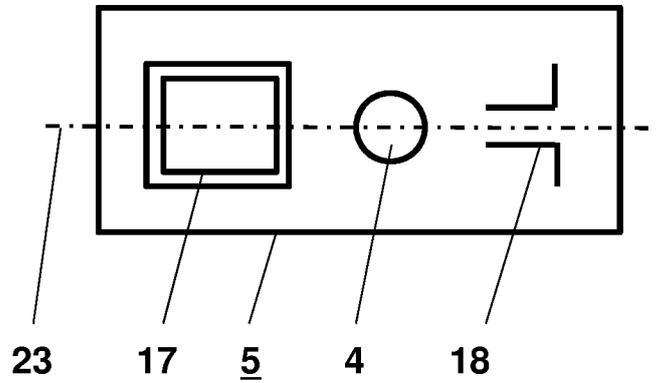
**Figur 3**



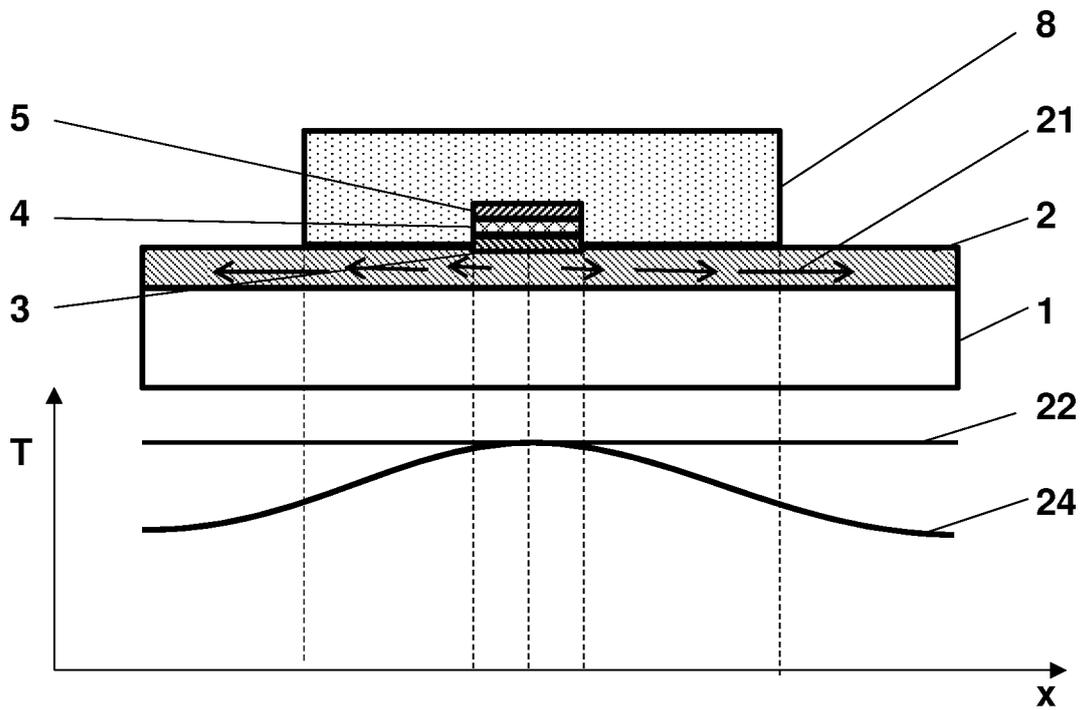
**Figur 4**



**Figur 5**



Figur 6



Figur 7