

Gefahr erkannt, Gefahr gebannt

Eine neue zuverlässige Detektionsmethode für Glimmnester

D. Lorenz, Mannheim

Kurzfassung

Wenn es möglich ist, in einer Anlage, in der brennbare Schüttgüter pneumatisch durch Rohrleitungen gefördert werden, Zündquellen zu vermeiden, dann sind konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen wie Entkopplungseinrichtungen oder Entlastungsklappen überflüssig. Das spart viel Geld. Die Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin (FSA) hat eine Methode entwickelt, die als bisher einzige auch bei hoher Schüttgutbeladung Glimmnester zuverlässig erkennt. Damit kann diese gefährliche Zündquelle unschädlich gemacht werden.

Abstract

Built-in explosion safety measures like explosion isolation systems or explosion doors become unnecessary when ignition sources can be avoided in plants in which burnable dusts are transported by pneumatic conveying tubes. This saves plenty of money. The FSA has developed a unique and so far the only reliable system to detect smouldering pockets even in high dust densities. It takes care of this dangerous kind of ignition source.

1. Einleitung

Seit vielen Jahren beschäftigen sich Menschen mit Explosionsschutzmaßnahmen, um industrielle Anlagen sicherer zu gestalten und zu betreiben. Bei den Schutzmaßnahmen wird zwischen den vorbeugenden und den konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen unterschieden. Konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen, wie Sicherheitsventile und Entlastungsklappen, lassen eine Explosion im Innern einer Apparatur zu, beschränken aber deren Auswirkungen auf ein unbedenkliches Maß. Unter vorbeugenden Explosionsschutzmaßnahmen versteht man alle Maßnahmen, welche die Bildung einer gefährlichen, explosionsfähigen Atmosphäre verhindern oder einschränken (z. B. Inertisierung) und die Maßnahmen, die eine Entzündung gefährlicher, explosionsfähiger Atmosphäre vermeiden (Vermeiden von Zündquellen). Ist in einer Anlage das sichere Vermeiden von Zündquellen möglich, werden keine konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen benötigt, was zu einer enormen Kosteneinsparung führen kann.

In vielen Anlagen werden brennbare Schüttgüter pneumatisch durch Rohrleitungen gefördert, wobei hohe Beladungen mit dem Förderprodukt üblich sind. In solchen Anlagen ist eine Vermeidung von Zündquellen zur Zeit nicht durchführbar, weil die Zündquelle Glimmnest nach dem heutigen Stand der Technik noch nicht beherrscht wird, sprich keine Detektionssysteme auf

dem Markt existieren, die bei hohen Produktbeladungen Glimmnester in pneumatischen Förderleitungen erkennen. Laut Statistik stellen Glimmnester die zweithäufigste Zündquelle bei Staubexplosionen dar. Darüber hinaus treten immer wieder – vermutlich durch Glimmnester hervorgerufene – Brandereignisse auf, die neben Personen- und Sachschäden auch beträchtliche Emissionen von Reaktionsprodukten verursachen.

Glimmnester sind Verklumpungen des im Fertigungsablaufes vorkommenden brennbaren Staubes, die sich durch chemische Reaktionen in ihrem Innern auf mehrere 100 °C aufheizen können, während die äußere Staubkruste deutlich geringere Temperaturen zeigt (Bild 3). Treten Glimmnester auf, so besteht die Gefahr, diese durch pneumatische Förderleitungen in Anlagenteile zu transportieren, in denen explosionsfähige Staub/Luft-Gemische vorhanden sind (z. B. Silos). Dort können Glimmnester dann als Zündquelle wirksam werden. Es ist daher schon lange das Ziel, Glimmnester bereits in pneumatischen Förderleitungen, in denen wegen der hohen Staubkonzentration keine Explosionsgefahr besteht, zu erkennen und dort auszuschleusen. Die Vermeidung von Zündquellen wäre damit in solchen Anlagen möglich.

2. Grundlegende Untersuchungen

1995 wurde von der FSA damit begonnen, Methoden für die Detektion von Glimmnestern aufzufinden (Infrarotstrahlung, Ultraschall, Gas-Detektion etc.), die letztendlich zur Entwicklung eines funktionstüchtigen Glimmnestdetektionssystem für pneumatische Förderanlagen führen sollten. Durch eine theoretische Abschätzung wurde zu Beginn der Projektarbeit geklärt, ob eine Detektion von Glimmnestern mit Hilfe von Infrarot-Sensoren prinzipiell möglich ist. Es zeigte sich, dass diese Aufgabe – wenn überhaupt – nur mit den enorm leistungsfähigen Halbleitersensoren auf Bleisulfid- oder Bleiselenid-Basis lösbar ist. Mit diesen Sensoren wurde ein erster, relativ primitiver Prototyp aufgebaut und zunächst im Labor getestet. Der Aufbau dieses Prototyps orientierte sich an den bis dato auf dem Markt befindlichen Funkenerkennungsanlagen für pneumatische Förderleitungen, d. h. zwei Infrarot-Sensoren stehen sich in die Rohrwand der Förderleitung integriert gegenüber. Dadurch kann nahezu der gesamte Rohrquerschnitt überwacht werden. Die Tests im Labor verliefen sehr vielversprechend und bestätigten zunächst die Vorhersagen, die auf theoretischem Wege gewonnen wurden. Weil im Labor das Fördern von Staub durch die Leitung nicht möglich war, wurde das Verhalten des Prototyps auch auf dem Versuchsgelände der FSA untersucht, wobei hier Situationen simuliert wurden, wie sie in der industriellen Praxis üblich sind. Das Ergebnis war ernüchternd: bei industrieüblichen Staubbeladungen in der pneumatischen Förderleitung konnte kein einziger der aufgegebenen Glimmnest-Dummies (etwa 100 °C warme Aluminiumtöpfchen) detektiert werden. Die Ursache dafür lag zum einen darin begründet, dass die Sensorfenster wegen ihrer Lage innerhalb der Rohrwand (langsame Strömungsgeschwindigkeit) sehr schnell mit einer Schicht des Fördergutes bedeckt wurden. Ihre Empfindlichkeit wurde dadurch stark herabgesetzt. Zum anderen lag der Verdacht nahe, dass die Absorption der vom Glimmnest emittierten Infrarotstrahlung durch das Fördergut

so stark ist, dass die am Sensor in der Förderwand ankommende Reststrahlung zu gering ist, um ein messbares Signal zu erzeugen.

Um diesem Verdacht nachzugehen und um die prinzipiellen Grenzen für die Detektion von Glimmnestern auf Infrarot-Basis auszuloten, wurden erneut Versuchsreihen durchgeführt. Dabei spielte ein geschwärzter Kupferblock in einem Ofen, der mit einem Chopper periodisch freigegeben wurde, die Rolle des Glimmnestes. In einer Küvette zwischen Kupferblock und Infrarot-Sensor wurden verschiedene Produktkonzentrationen realisiert. Der Versuchsaufbau war so konfiguriert, dass eine Rohrleitung mit etwa 120 mm Durchmesser simuliert wurde. Die Konzentration in der Küvette wurde so lange erhöht, bis der Sensor keine Signale mehr lieferte, wobei sowohl staubförmiges als auch körniges Produkt zur Verwendung kam. Es zeigte sich, dass Glimmester in 120 mm durchmessenden Rohren anhand ihrer Infrarotemission bis zu einer Staubkonzentration von rund 1 kg/m^3 erkannt werden können. Bei körnigem Produkt verschiebt sich diese Konzentrationsgrenze bis zu 6 kg/m^3 . Diese Ergebnisse wurden durch nachfolgende Versuchsreihen an einer realen pneumatischen Förderleitung auf dem Versuchsfeld der FSA bestätigt (Bild 1). Bei industrieüblichen Produktbeladungen in pneumatischen Förderleitungen ($\approx 20 \text{ kg/m}^3$) ist also tatsächlich die Absorption durch das Fördergut der Grund für die Nichterkennung der Glimmester.

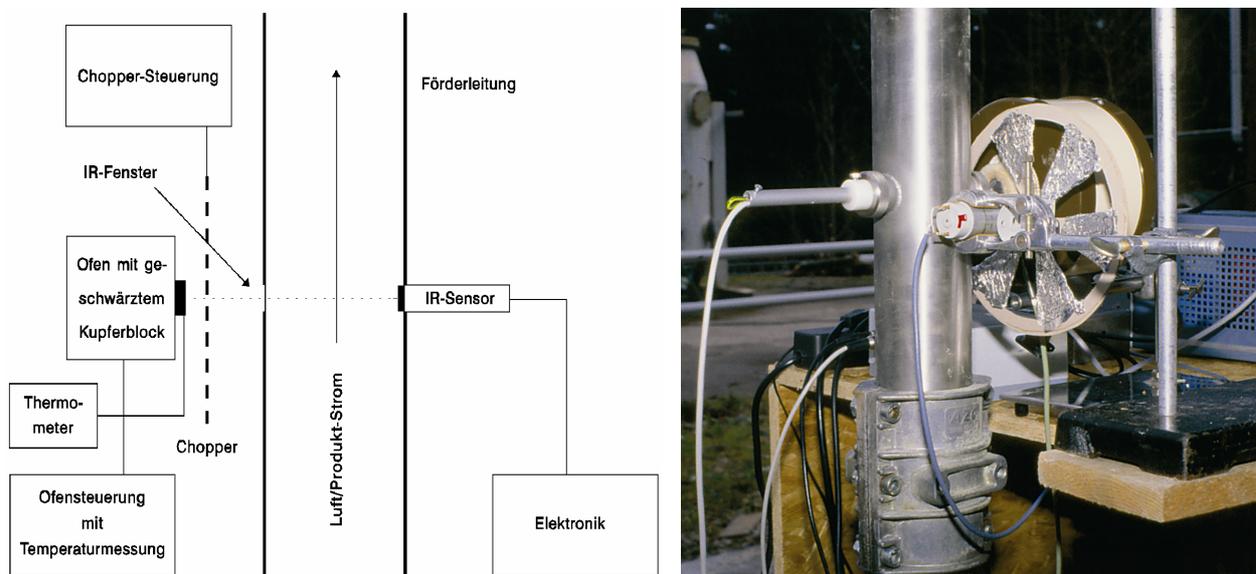


Bild 1: Schematisierter (links) und fotografierter (rechts) Versuchsaufbau an einer realen pneumatischen Förderanlage zur Bestimmung der Konzentrationsgrenze, bis zu der eine Detektion von Glimmnestern anhand ihrer Infrarotemission möglich ist.

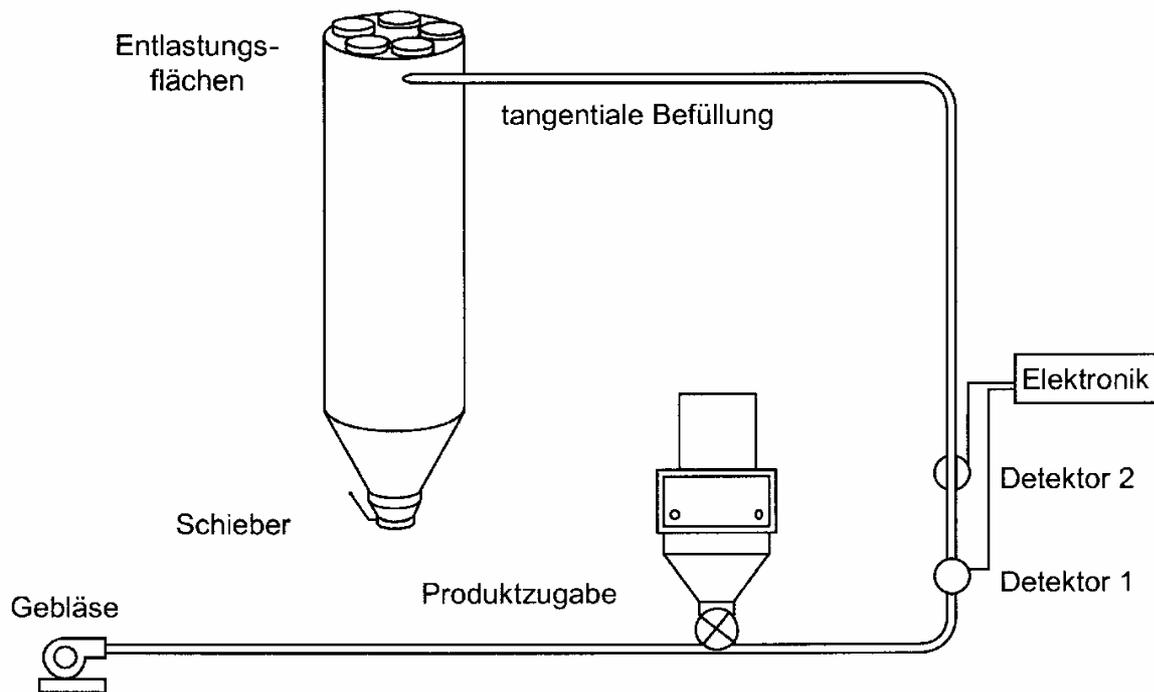


Bild 2: Schematisierter Versuchsaufbau zum Test eines kommerziellen Funkenerkennungssystems auf dem Versuchsgelände der FSA in Kappelrodeck

Neben diesen Untersuchungen wurde auch ein am Markt etabliertes Funken- bzw. Glimmnesterkennungssystem an der pneumatischen Förderleitung auf dem Versuchsfeld in Kappelrodeck getestet (Bild 2). Die renommierte Herstellerfirma wollte sehen, für welche Bereiche der Nahrungsmittelindustrie sich das System eignet und bis zu welchen Produktkonzentrationen das System dort eingesetzt werden kann.

Als Glimmnesten wurden Stahlwollekugeln (Durchmesser: 20 mm bis 30 mm) aufgegeben, die man einige Minuten vor der Aufgabe einseitig entzündete (Bild 3, links). Der rotglühende Oxidationsvorgang fand zum Zeitpunkt der Aufgabe im Inneren der Kugel statt, wobei die Oberfläche der Kugel geringe Temperaturen zeigte. Oberhalb einer Staubkonzentration von 1 kg/m^3 (Staub) bzw. 5 kg/m^3 (Korn) konnten die aufgegebenen Glimmnesten nicht zuverlässig erkannt werden. Das Argument der Herstellerfirma, die Stahlwollekugeln würden bei höheren Produktkonzentrationen im Förderstrom erstickt, wurde in dem Moment entkräftet, als es im angeschlossenen Silo zur Explosion kam, obwohl das Funkenerkennungssystem kein Glimmnest detektierte. Diese Situation trat wiederholt auf. Bei den Versuchen wurden die in den früheren Experimenten ermittelten Konzentrationsgrenzen eindrucksvoll bestätigt [1].



Bild 3: Im Labor erzeugte Glimmester aus Stahlwolle (links) bzw aus Milchpulver (rechts), welche innen glühen.

2. Entwicklung des Glimmestererkennungssystems GDS 2

Aus den Erkenntnissen der angestellten Untersuchungen wurde ein neuer Ansatz entwickelt: Dieser neue Ansatz der FSA zielt darauf ab, die beschriebenen Schwierigkeiten wie Absorption und Sensorverschmutzung bei der infrarot-basierten Glimmestdetektion zu umgehen. So wurde die Distanz zwischen einem potentiellen Glimmest und den Infrarot-Sensoren deutlich verringert. Dies gelang, indem die Infrarot-Sensoren von der Rohrwand in die Mitte des Förderrohres verlagert wurden. Dort sind sie so in einem strömungsgünstig geformten Hohlkörper („Detektionskörper“) untergebracht, dass sie – senkrecht zur Strömungsrichtung – in Richtung Rohrwand „schauen“. Im länglichen Detektionskörper, der parallel zur Rohrachse ausgerichtet ist, sind gerade so viele Infrarot-Sensoren untergebracht, dass eine vollständige Überwachung des Rohrquerschnittes möglich ist. Das Förderrohr ist an der Stelle, an der sich der Detektionskörper befindet, aufgeweitet, so dass es zu keiner Behinderung der Förderströmung kommt. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Distanz zwischen Infrarot-Sensoren und Rohrwand muss ein Glimmest zumindest einen der Sensoren sehr nah passieren. Wegen dieser nahen Passage ist die Absorption der vom Glimmest emittierten Infrarotstrahlung hinreichend gering, so dass am passierten Sensor stets ein Signal erzeugt wird. Eine zuverlässige Glimmestdetektion ist so auch bei hohen Produktkonzentrationen möglich.

Durch die Anordnung der Infrarot-Sensoren in einem Detektionskörper in der Mitte der Rohrleitung wurde gleichzeitig das Problem der Sensorverschmutzung gelöst: die hohe Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrmitte sorgt dafür, dass etwaige Staubablagerungen auf der Oberfläche des Detektionskörpers fortgerissen werden.

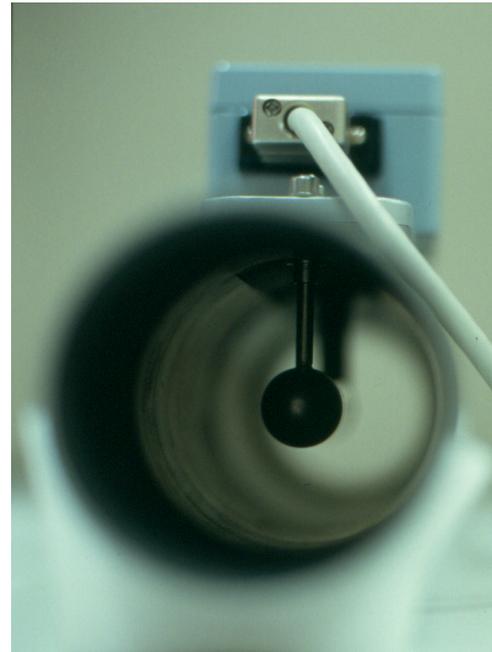
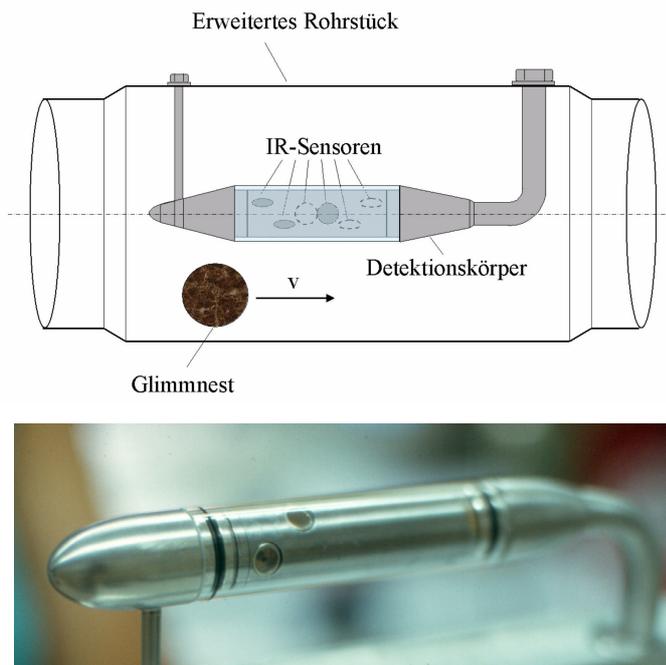


Bild 4: Detektionskörper mit Infrarot-Sensoren (links unten). Links oben (schematisiert) und rechts ist der Detektionskörper im aufgeweiteten Förderrohr gezeigt.

Mit diesem Konzept wurde ein neuer Prototyp aufgebaut. Nachdem dieser alle Tests im Labor erfolgreich bestanden hatte, wurde der Detektionskörper mit dem aufgeweiteten Rohrstück in die pneumatische Förderleitung auf dem Versuchsgelände in Kappelrodeck eingebaut und ein umfangreiches Versuchsprogramm abgearbeitet. Die Versuchsparameter waren:

Tabelle 1: Versuchsparameter beim Test des ersten Glimmnesterkennungssystem-Prototypen.

Rohrdurchmesser [mm]	80
Fördergeschwindigkeit [m/s]	10, 20, 30
Förderprodukt	Maisstärke, Weizenkörner
Produktkonzentration [kg/m ³]	20, 25, 30, 35
Glimmnestmaterial	Stahlwolle, Milchpulver

Insgesamt wurden über mehrere Tage hinweg mehr als 50 Versuche durchgeführt. In allen Fällen, in denen ein Glimmnest aufgegeben wurde, konnte dieses auch detektiert werden und zwar unabhängig von den eingestellten Versuchsparametern. Nach Beendigung der Versuchsreihe wurde der Detektionskörper aus der Förderleitung ausgebaut. Er zeigte keinerlei Abnutzungs- und nur sehr geringe Verschmutzungserscheinungen [2].

Nach den Untersuchungen zur Detektionsfähigkeit des Systems wurden auch Druckmessungen an der Rohrleitung vor und nach dem Detektionskörper durchgeführt, um dessen Strömungswiderstand zu bestimmen. Dabei wurde ein Druckabfall zwischen 0,3 mbar und 1,5 mbar auf einer

Länge von etwa 80 cm festgestellt, je nach eingestellter Fördergeschwindigkeit. Der Widerstand, den der aerodynamisch geformte Detektionskörper der Förderströmung entgegenbringt, ist also äußerst gering und kann vernachlässigt werden.

Aus den Versuchsergebnissen heraus war es möglich, einige Verbesserungen für den Prototypen abzuleiten. So war die Form des Detektionskörpers noch nicht optimal und konnte weiter verbessert werden. Außerdem wurde die Elektronik des Systems weiterentwickelt. Letztendlich entstand ein verbesserter Prototyp, der die Bezeichnung GDS 2 (Glimmnestdetektionssystem, 2. Version) trägt.

Für das Glimmnesterkennungssystem wurde eine deutschlandweite Patentanmeldung getätigt, die etwas zeitverzögert auf ganz Europa ausgedehnt wurde [3], [4].

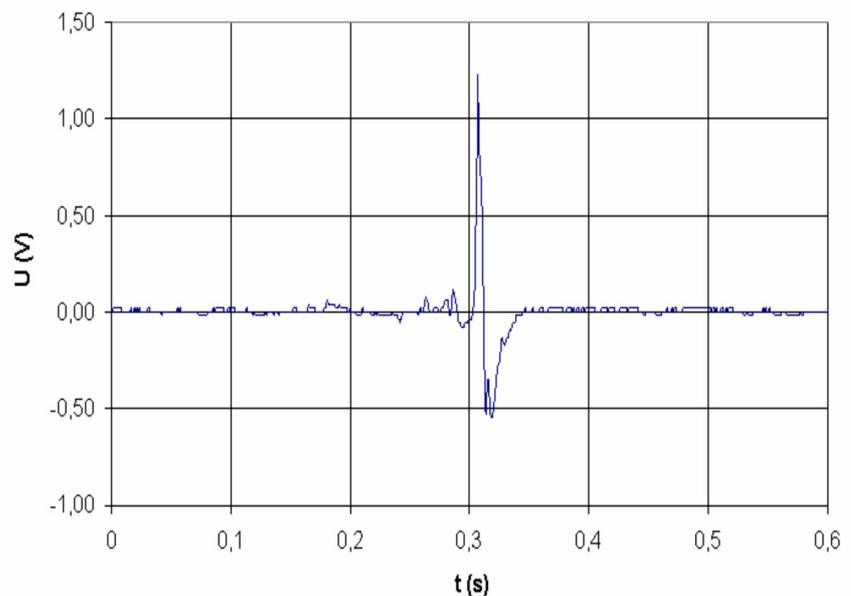


Bild 5: Detektionskörper mit aufgeweitetem Rohrstück eingebaut in die pneumatische Förderanlage auf dem Versuchsfeld in Kappelrodeck (links). Ein von einem Glimmnest in einer Maisstärkeförderung (Konzentration: 20 kg/m^3 , Fördergeschwindigkeit: 20 m/s) erzeugtes Spannungssignal nach dem Verstärkerausgang des GDS 2 (rechts).

Gegenwärtig wird daran gearbeitet, das GDS 2 zur Marktreife weiterzuentwickeln. Dies beinhaltet z. B. die Entwicklung einer intelligenten Systemsteuerung (Triggerschwellenanpassung, Temperaturüberwachung etc.), die Auslotung und Festlegung der genauen Anwendungsgrenzen, die Durchführung weiterer Versuche und Langzeittests sowie die Durchführung des Zulassungsprozesses. Angestrebt ist, dass das System im Jahre 2006 den Marktreifestatus erlangt. Prinzipiell steht nun erstmals ein System zur Verfügung, welches es ermöglicht, die Zündquelle „Glimmnest“ in Anlagen für die Verarbeitung brennbarer Schüttgüter zu beherrschen. Dies gilt für nahezu beliebige Rohrweiten, da der Detektionskörper verschiedenen Rohrdurchmessern angepasst werden kann.



Bild 6: Frontansicht von Steuereinheit und Sensorteil des GDS 2.

Literaturangaben

- [1] D. LORENZ, M. KRAFT: Erkennung von Glimmnestern in bewegten Staub/Luft-Gemischen mit Hilfe von Infrarot-Detektoren, Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin, Bericht Nr. F-05-9503, 2001.
- [2] R. DE VRIES: Erkennung von Glimmnestern in pneumatischen Förderleitungen mit Hilfe von Detektionssonden und Infrarot-Sensoren, Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin und Fachhochschule Mannheim, Diplomarbeit, 2002.
- [3] DE 102 49 743 A1
- [4] EP 03 02 3055