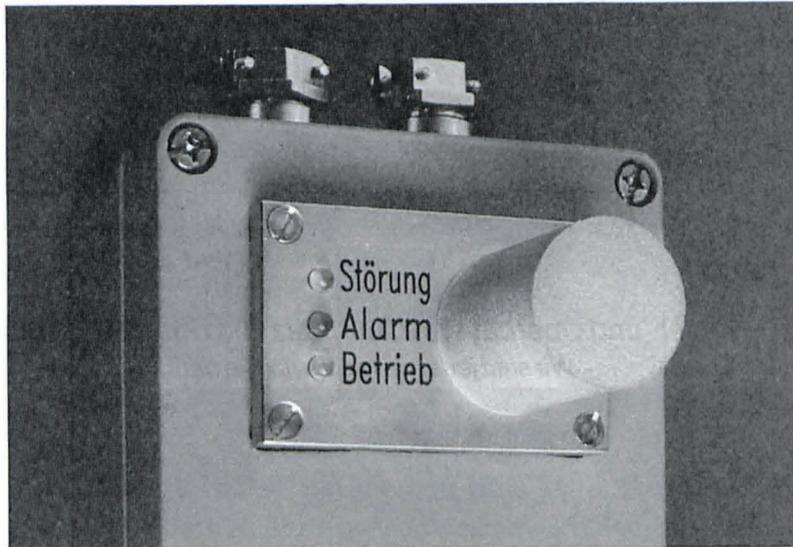


# Schwelbrände rechtzeitig erkennen

Ein Gassensormelder für Schwelbrände ■ Von Jörg Kelleter, Axel Schwarz und Dieter Kohl

Die Gassensormeldeinheit (GSME) zur Früherkennung von Schwelbränden. Durch den porösen Bronzekopf diffundieren die Schwelgase zu den Sensoren, während Rauchpartikel und Staub abgehalten werden. An den Leuchtdioden kann der Betriebszustand auch unmittelbar abgelesen werden.



**Wo Rauch ist, muß auch Feuer sein. Dieses Sprichwort läßt sich leider nicht umkehren. Es gibt Brände, die kaum Rauch entwickeln, weswegen Rauchmelder auf sie nicht ansprechen. Gießener Physiker entwickeln neuartige Brandmelder, die ohne Rauch auskommen.**

Zwei Förderbänder transportieren im Großkraftwerk die Braunkohle zu den Kesselanlagen. Kohlestaub weht von den Bändern und bedeckt alle Flächen mit einer einige Millimeter dicken Schicht, obwohl regelmäßig naß gereinigt wird. Ein Lager des Förderbands läuft heiß und zündet den Staub, der mit 450° C vor sich hinschwelt. Die konventionellen Rauchmelder entdecken den Brand nicht, weil bei Braunkohleschwelbränden kaum Rauch entsteht. Jemand öffnet eine Tür, der Luftzug verwirbelt das Glutnest, und der Kohlestaub verpufft.

In einem warmen Luftstrom kann sich Kohlestaub sogar von selbst entzünden. So oder ähnlich beginnen an die vierzig Mal im Jahr Brände in den Bandbrücken oder Zuteilern von Kesselanlagen. Alle paar Jahre kommt es zu einer Katastrophe mit Großbränden, die Millionen kosten. Gibt es eine Methode, den Schwelbrand zu erkennen, bevor er sich zu einem offenen Feuer auswächst? Konventionelle Rauchmelder funktionieren entweder auf optischem Wege und sprechen an, wenn der Rauch Licht streut, oder sie weisen Rauchpartikel nach,

die von einem schwach radioaktiven Präparat ionisiert worden sind. Optische und Ionisationsrauchmelder setzen allerdings voraus, daß es Rauch gibt, der bei reinen Braunkohleschwelbränden kaum entsteht. Schwelbrände müssen anders aufgespürt werden: entweder über die Gase, die dabei freigesetzt werden, oder über die erhöhte Flächentemperatur. Da bei einem Schwelbrand die Sauerstoffzufuhr behindert ist, werden hauptsächlich die Gase einer unvollständigen Verbrennung freigesetzt: Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und längerketige Kohlenwasserstoffe. Wenn die Temperatur beim Fortschreiten des Brandes anwächst, nehmen die Produkte einer vollständigen Verbrennung zu: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser. Die Versuchsgrubengesellschaft Dortmund hat Ende der achtziger Jahre verschiedene Gassensoren auf ihre Eignung zum Erkennen von Braun- oder Steinkohleschwelbränden geprüft. Die Sensoren reagieren auf eine Vielzahl verschiedener Gase, was bei Kohlenmonoxidkonzentrationen oberhalb von 100 ppm (parts per million) kein Problem darstellt. Um Schwelbrände automatisch zu detektieren, müssen allerdings weit aus niedrigere Konzentrationen der Schwelgase nachgewiesen

JUSTUS-LIEBIG-  
UNIVERSITÄT  
GIESSEN

Prof. Dr. Dieter Kohl

Institut für Angewandte Physik  
Heinrich-Buff-Ring 16  
35392 Gießen  
Telefon (06 41) 7 02-28 34

werden. Für unsere eigenen Versuche konnten wir mit Erlaubnis der RWE AG die Bekohlungsanlage des Kraftwerks Niederaußem und das Brandlabor des Verbands der Sachversicherer in Köln nutzen. An der Bekohlungsanlage maßen wir die Gaskonzentrationen, die realistischerweise nachgewiesen werden müssen. Das Haus am unteren Ende der Schrägbandbrücken ist acht Meter breit und drei Meter hoch; die Förderbänder reichen einige zehn Meter darüber hinaus, so daß mögliche Schwelgase durch den Luftstrom stark verdünnt werden. Bei einem 15 Meter entfernten Gassensor erreicht das Kohlenmonoxid maximal eine Konzentration zwischen vier und 20 ppm.

### Gassensoren kombinieren

Auf die Lösung brachte uns die Beobachtung, daß immer, wenn Wasserstoff und Kohlenmonoxid gemeinsam auftreten, mit hoher Wahrscheinlichkeit irgendwo etwas schwelt. Wir haben in unsere Meldeeinheit drei verschiedene Gassensoren gepackt, die selektiv auf Wasserstoff und Kohlenmonoxid reagieren und auf Stickoxide, die bei offenen Flammen entstehen.

Die Bekohlungsanlage des Braunkohlekraftwerks Niederaußem besteht aus der Brecherei, in der die angelieferte Kohle zerkleinert wird. Über eine Schrägbandbrücke transportieren Förderbänder die Braunkohle in den Verteiler-



Eine Schrägbandbrücke mit zwei Förderbändern in der Bekohlungsanlage des Kraftwerks Niederaußem. In dem Braunkohlestaub, der von den Förderbändern weht, können Schwelbrände entstehen, die kaum Rauch entwickeln.

turm und von dort weiter zu den einzelnen Kraftwerksblöcken. In Bunkern wird die Kohle zwischengespeichert, bevor die Kessel über Zuteiler beschickt werden. In der Schrägbandbrücke sind je

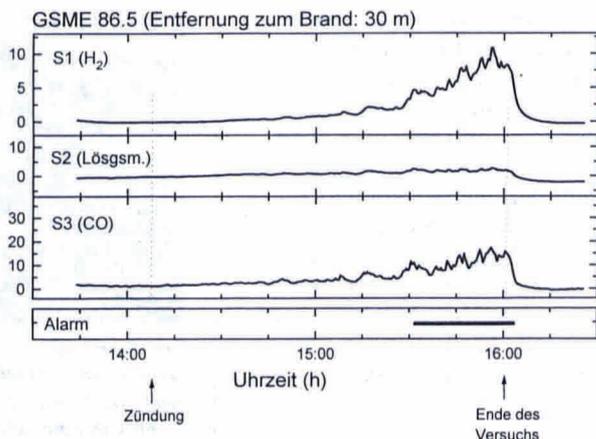
zwei Transportbänder parallel angeordnet, die mit einer Geschwindigkeit von vier Metern pro Sekunde laufen. Beide Bänder befinden sich in einem acht Meter breiten und drei Meter hohen Haus. Wie anfangs beschrieben, können sich hier Schwelbrände über viele Stunden hinweg ausbreiten, ohne daß offene Flammen entstehen. Seit 1992 betreiben wir hier die Meldeeinheiten mit je drei Sensorelementen.

Das Bild auf der nächsten Seite oben zeigt einen Deckenunterzug im unteren Drittel der Schrägbandbrücke mit den dort angebrachten Geräten. Neben zwei Prototypen der Meldeeinheiten sind zum Vergleich zwei ältere Versuchsgeräte mit nur einem Sensor, ein konventioneller Ionisa-

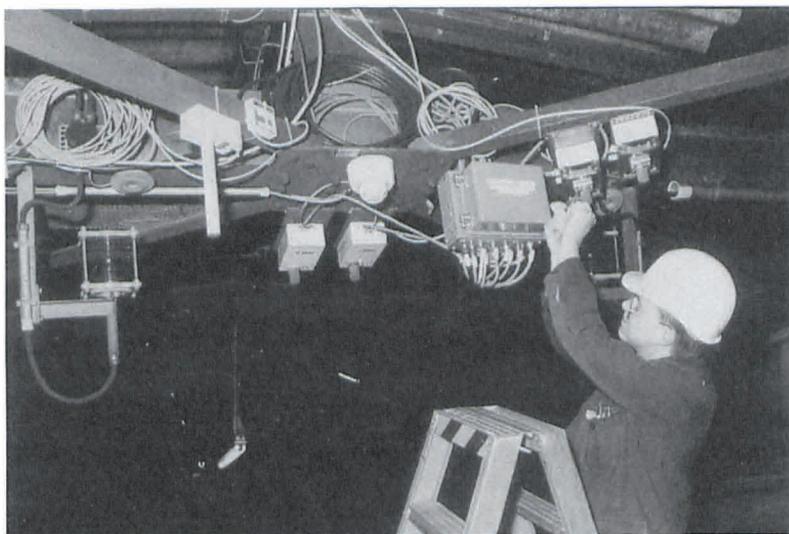
Dieter Kohl, 50, studierte Physik in Aachen. Nach Abschluß seiner Promotion baute er dort eine Arbeitsgruppe für Oberflächenanalytik auf. Nachdem er 1991 nach Gießen berufen wurde, etablierte er am Institut für Angewandte Physik eine Arbeitsgruppe für Sensorik. Er koordiniert einen BMBF-Verbund, in dem zehn Partner aus Industrie und Wissenschaft an der Entwicklung „künstlicher Nasen“ arbeiten.



Bei einem versuchsweisen Schwelbrand in der Bekohlungsanlage sprechen von den drei Sensoren diejenigen für Wasserstoff und Kohlenmonoxid an. Nach einer Stunde – als eine Fläche von 0,06 Quadratmetern schwelt – gibt die Meldeeinheit Alarm.



Jörg Kelleter, 29, studierte Physik in Aachen und untersuchte in seiner Diplomarbeit Adsorbatschwingungen mit Hilfe der Elektronenenergieverlustspektroskopie. In seiner Dissertation, die er 1992 am Institut für Angewandte Physik begonnen hat, erforscht er, ob Halbleitersensoren auch über lange Zeiträume stabil bleiben, und analysiert Schwelgase.



Testanordnung an einem Deckenunterzug: In der Mitte sitzen zwei Meldeeinheiten mit je drei Gassensoren, davor ein konventioneller Ionisationsrauchmelder. Zum Vergleich sind zwei ältere Geräte mit je einem Sensor angebracht und eine Meßstelle für Kohlenmonoxidkonzentration, Temperatur und Luftfeuchte.

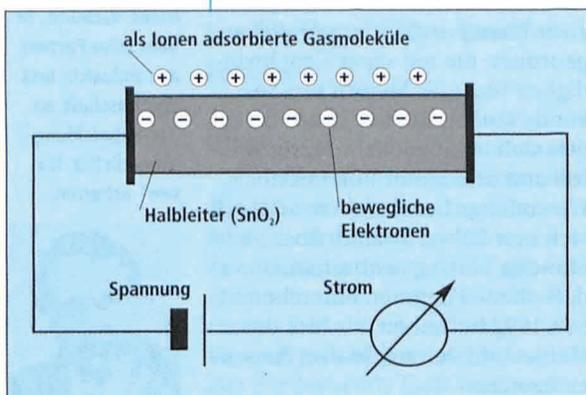
## Ein Brandmelder aus Gassensoren

Das Arbeitsprinzip der Halbleiter in einem Gassensor ist stark vereinfacht im Bild unten skizziert. Gase aus der Umgebungsluft werden auf der Sensoroberfläche chemisch gebunden. Dabei geben die Gasmoleküle elektrische Ladung ab, die den Leitwert des Halbleiters erhöhen. Von der Oberflächenschicht und Arbeitstemperatur her sind die Sensoren auf das jeweilige Schwelgas optimiert.

Wenn man noch die relativen Anteile der Gase berücksichtigt

- die optimale Heiztemperatur für die Sensorelemente steuert,
- die Sensorleitwerte mißt und die Sensorsignale berechnet,
- die Sensorsignale auswertet und entscheidet, ob ein Brand vorhanden ist,
- das Gerät auf Störungen kontrolliert
- und über eine Schnittstelle oder Leuchtdioden meldet, ob ein Alarm oder eine Störung vorliegen.

Die Meldeeinheit enthält eine Industriebusschnittstelle, über die alle Geräte mit einem Zentralrechner in der Überwachungszentrale verbunden werden. Der Zentralrechner wertet die Daten aus und leitet eine Alarmmeldung an die Brandzentrale oder Feuerwehr weiter. Pro Linie können bis zu 250 Geräte geschaltet werden. Netzwerke dieser Art überprüfen ständig ihre Datenübertragung und Verbindungen. Art und Ort eines Fehlers werden auf dem Zentralrechner angezeigt, so daß die Melder gezielt repariert werden können. Die Daten können für die Forschung aufgezeichnet werden, um den Auswertalgorithmus an andere Umgebungen wie gekapselte Förderbänder oder Lagerhäuser anzupassen.

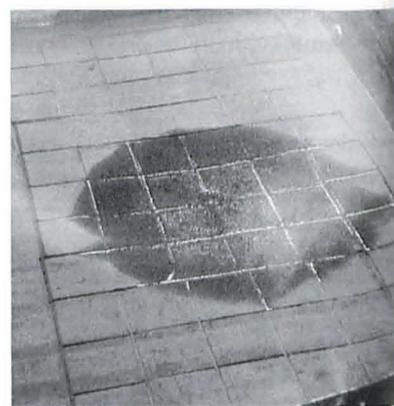


und den zeitlichen Verlauf ihrer Konzentration, kann man den Brandmelder beinahe narrensicher konstruieren. Das erfordert einen Microcontroller, der:

tionsrauchmelder und Meßstellen für Kohlenmonoxid, Temperatur und Luftfeuchte angebracht. Mittlerweile sind insgesamt vierzig Meldeeinheiten in der Brecherei, mehreren Schrägbandbrücken und im Verteilerturm installiert.

## Zündeln für den Brandschutz

Während der Erprobungsphase haben wir in den Gebäuden der Brecherei und einer Schrägbandbrücke versuchsweise verschiedene Brände gelegt: fünfzehn Braunkohleschwelbrände, Brände mit anderen Materialien, außerdem Schweiß-, Hartlöt- und Vulkanisierarbeiten. Zunächst mußten wir einen Auswertalgorithmus für den Microcontroller der Meldeeinheit entwickeln, der zuverlässig dann – und nur dann – Alarm schlägt, wenn verschiedene Schwelgase gleichzeitig eintreffen. Später wurde die Funktionsfähigkeit der Meldeeinheiten unter verschiedenen Strömungs- und Klimaverhältnissen überprüft. Für einen Braunkohleschwelbrand verteilen wir Braunkohlestaub in einer flachen Metallwanne und entzünden ihn mit einem glühenden Metallstück. Bei der Zündung entwickelt sich einiger Rauch, später kaum noch. In einem typischen Beispiel löst die Meldeeinheit nach einer Stunde Alarm aus, wenn eine Fläche von 0,06 Quadratmetern schwelt. Wie gefährlich diese Schwelbrände sind, zeigt sich, wenn man den Versuch löschen will. Dazu wird



Experiment mit einem Braunkohleschwelbrand 100 Minuten nach der Zündung. Die Gitterstäbe haben einen Abstand von zehn Zentimetern.

die Wanne mit dem schwelenden Staub ins Freie getragen. Löscht man mit einem Wasserstrahl, so kann ein Gemisch aus schwelender und noch unverbrannter Kohle aufwirbeln und kräftig verpuffen.

Wir haben weitere Materialien aus der Bekohlungsanlage geprüft: Holz in Form von Spänen oder Mehl, Kunststoff aus Kabelisierungen, Putzwolle und Dieselöl. Verbrennt man jeweils zweihundert Gramm von diesen Materialien, sprechen neben unseren Mel-

deinheiten auch konventionelle Ionisationsmelder innerhalb weniger Minuten an.

### Falschen Alarm vermeiden

Brandmelder müssen nicht nur sicher auf Brände reagieren, sie sollten auch sicher nicht reagieren, falls es nicht brennt. Kommerzielle Kohlenmonoxidmelder zum Beispiel sprechen häufig schon an, wenn nur ein Förderband anläuft.

Zur Reparatur werden häufig die Förderbänder in den Bekohlungs-

anlagen vulkanisiert. Dabei werden Lösungsmittel verwendet, zum Beispiel chlorierte Kohlenwasserstoffe. Die einzelnen Sensorelemente sprechen zwar auf Lösungsmittel an, doch wird ein Signalmuster erzeugt, das sich charakteristisch von Schwelbränden unterscheidet. Ein Gerät mit nur einem Gassensor gibt bei hohen Lösungsmittelkonzentrationen einen falschen Alarm. Unsere Meldeeinheit mit drei Gassensoren kann die Signalmuster vergleichen und bleibt zuverlässig stumm.

### Ausblick

Die Meldeeinheit mit drei Gassensoren wird inzwischen kommerziell vertrieben. Doch damit ist die Forschung nicht abgeschlossen: Wir untersuchen jetzt Kabelbrände, Brände in Müllbunkern und in gekapselten Förderbändern. Ein Glutnest auf einem laufenden Förderband verwirbelt, wenn es an der Übergabestation auf das nächste Förderband fällt. Auch hier kann Kohlestaub verpuffen – mit den bekannten Folgen. Anstatt der vielen Minuten bis zu einer Stunde Zeit bei den bisher untersuchten Schwelbränden hat ein Brandmelder in einem gekapselten Förderband nur sechs Sekunden Zeit, das Glutnest aufzuspüren.

In Lagerhäusern mit starkem LKW-Verkehr ist es besonders schwierig, Brände zu entdecken. Hier muß ein Schwelbrand über Gaskomponenten erkannt werden, die in Motorabgasen nicht enthalten sind. Deswegen bereiten wir zusammen mit Dr. Stefan Schütz und Prof. Hans Hummel vom Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie Experimente vor zum selektiven und hochempfindlichen Nachweis von 1-Alkenen in Konzentrationen von 0,1 ppm. Die Arbeit geht uns nicht aus. ■

Wir danken der RWE Energie AG für die Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit sowie dem Verband der Sachversicherer (VdS) dafür, daß er die Untersuchungen mit Testbränden ermöglicht hat.

Axel Schwarz, 26, studierte Physik in Gießen und untersuchte in seiner Diplomarbeit am Institut für Angewandte Physik mikrokolorimetrische Sensoren. In seiner Dissertation, die er anfang dieses Jahres begonnen hat, mißt er Gaskonzentrationen unter instationären Bedingungen und wertet Sensordaten mit neuronalen Netzen aus.



## Ein Streichholz, Schmierfett und Staub

Vor acht Jahren tötete ein Feuer in der Londoner U-Bahn-Station King's Cross 31 Menschen und verletzte viele mehr. Der Auslöser war wahrscheinlich ein glimmendes Streichholz, das von einem Passagier auf die Rolltreppe fallen gelassen worden war. Es versetzte das Gemisch aus Staub, Zigarettenresten, alten Fahrkarten und Schmierfett in Brand, das sich an den Führungsschienen der Rolltreppe angesammelt hatten. Die Metalleiste fehlte, die verhindert hätte, daß das Streichholz durch den Spalt zwischen der Seitenwand und den Stufen der Rolltreppe fallen konnte, und die Führungsschienen wurden nicht regelmäßig gereinigt. Der Schwelbrand breitete sich auf die hölzernen Stufen und Seitenwände der Rolltreppe aus, und nach zwanzig Minuten eruptierten offene Flammen plötzlich in die Schalterhalle. Die Sprinkleranlage, die unter der Rolltreppe installiert war, sprach nicht automatisch an, und der zuständige Inspektor übersah die Wasserhähne, die nicht gekennzeichnet waren. Obwohl die Kombination Streichholz mit Schmierfett und Dreck der unmittelbare Auslöser des Feuers war, gehen

die Ursachen weiter zurück. Bis ins höchste Management herrschte die Meinung, daß gelegentliche Feuer in den Rolltreppen unvermeidbar seien und daß sie gelöscht werden könnten, bevor sie ernsthaften Schaden anrichteten. Von 1958 bis 1987 gab es durchschnittlich zwanzig Feuer pro Jahr, die beschönigend Schwelbrände genannt wurden. Einige hatten Sachschaden angerichtet, und gelegentlich hatten Passagiere eine Rauchvergiftung erlitten, aber niemand wurde getötet. So setzte sich die Überzeugung fest, daß Schwelbrände handhabbar seien – bis zu den Toten von King's Cross.

Die Empfehlungen nach vorhergehenden Feuern waren nicht umgesetzt worden. So hätten die hölzernen Rolltreppen durch metallene ersetzt werden müssen. Sie hätten regelmäßig gereinigt, mit nicht-entflammarem Fett geschmiert und fehlende Leisten hätten erneuert werden müssen. Rauchmelder hätten installiert werden müssen, die die Sprinkleranlage automatisch angeschaltet hätten, und die Feuerwehr hätte bei jedem Brand gerufen werden müssen und nicht erst, wenn er außer Kontrolle zu geraten schien. utz