



Luftbild einer Gasverdichterstation der ©GASCADE Gastransport GmbH

Gasleck-Ferndetektion und -ortung mit autonomen mobilen Inspektionsrobotern in technischen Anlagen

Ein Konsortium¹ aus neun Projektplanern hat im Rahmen des Förderprogramms AUTONOMIK des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie den Prototyp eines autonomen mobilen Roboters zur Gaslecksuche in großen Industrieanlagen entwickelt. Mit verschiedenen Navigations-Sensoren wurde die autonome Beweglichkeit des Systems realisiert, mit der gleichzeitigen Option, jederzeit per Fernsteuerung manuell einzugreifen. Ausgestattet mit Video- und optischer Gasfernmessungstechnik ist der Roboter imstande, Inspektionsaufgaben in Industrieanlagen durchzuführen, ohne in mögliche Gefahrenbereiche direkt einfahren zu müssen – und ohne, dass ein Mensch vor Ort anwesend ist. Der Roboter kann zur routinemäßigen Inspektion von Anlagen oder zur gezielten Untersuchung spezifischer Anlagenteile eingesetzt werden. Dank der verwendeten Fernmesstechnik können auch Anlagenteile inspiziert werden, die aufgrund ihrer beschränkten Zugänglichkeit mittels herkömmlicher Messtechnik bisher nur schwer zu inspizieren waren.

Betreiber von Industrieanlagen (z.B. Chemieanlagen, Raffinerien, Gasverdichterstationen) legen höchsten Wert auf die Sicherheit ihrer Mitarbeiter und ihrer Produktionsanlagen. Dafür legen sie Prüfzyklen für regelmäßige Inspektionen fest. Hierbei wird die Anlage auf ihren ordnungsgemäßen Zustand von



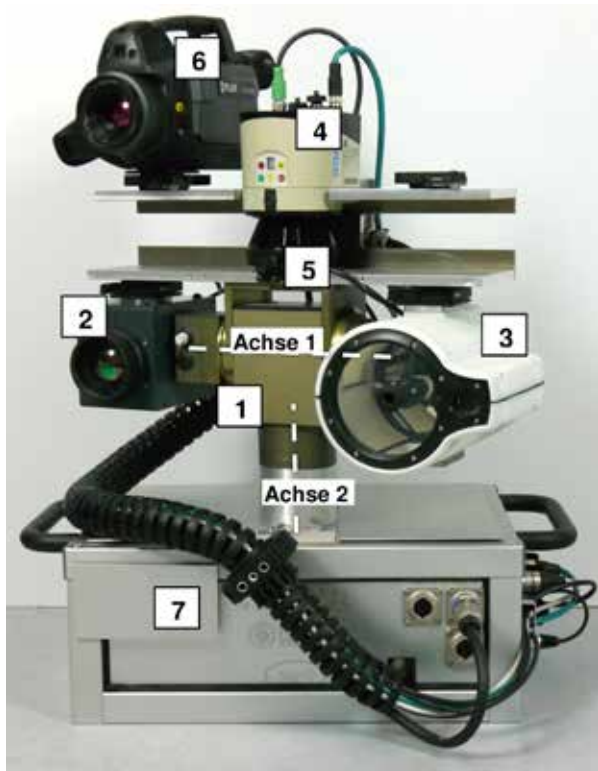
einem Mitarbeiter überprüft, der meist ohne Messtechnik nur anhand seiner Sinneswahrnehmungen und Erfahrung arbeitet. Die Frage, wie man eine automatisierte, gefahrenfreie und autonom auf Probleme reagierende Prüf- und Kontroll-Lösung gestalten kann, beschäftigte auch die Professoren Andreas Kroll



Bild: Der RoboGas^{Inspector} besteht aus drei Baugruppen: Kettengetriebene Fahrplattform, Navigationsmodul und Inspektionsmodul.

¹ Die Konsortialpartner: Universität Kassel, ADLARES GmbH, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie, Hermann Sewerin GmbH, PCK Raffinerie GmbH Schwedt/Oder, Telerob Gesellschaft für Fernhandlungstechnik mbH, Universität Kassel, GASCADE Gastransport GmbH





Das Multisensor-Inspektionsmodul. Die Schwenk-Neige-Einheit (1) ist mit einer IR-Thermografie-Kamera (2), einem aktiven TDLAS-Messgerät (3), einem Laserentfernungsmesser (4), einer Videokamera (5) und der FLIR-GF320-Infrarotkamera zur Visualisierung von Gasen (6) bestückt. Der Computer sowie weitere Elektrik/Elektronikbaugruppen sind in einem Schaltschrank (7) untergebracht

und Ludger Schmidt vom Fachbereich Maschinenbau der Kasseler Universität. Deshalb haben sie gemeinsam mit ihren Mitarbeitern und sieben Partnern aus Industrie und Wissenschaft einen Roboter für die Gasleck-Ferndetektion und -ortung in technischen Anlagen entwickelt – den RoboGasInspector. Mit an Bord ist u. a. die Gas-Visualisierungskamera GF-320 von Infrarotkamera-Weltmarktführer FLIR Systems.

Überall, wo eventuell toxische oder explosive Gase zum Einsatz kommen, ist höchste Sorgfalt oberstes Gebot. Daher gelten für die chemische Industrie, Biogasanlagen und Gasversorger strenge Inspektionsvorgaben. Alle diese Verfahren basieren aller-

dings auf Menschen als Inspektoren – und setzen diese damit einem gewissen Risiko aus. Außerdem besteht bei einem Routine-behafteten Vorgang wie einer wiederholten Untersuchung stets die Gefahr, durch Unaufmerksamkeit eventuelle Gefahrenquellen zu übersehen.

Betriebsicherheit in der Prozesstechnik

Für Betreiber prozesstechnischer Anlagen und Versorgungsinfrastruktur ist es eine kontinuierliche Aufgabe, die Betriebsicherheit auf hohem Niveau zu gewährleisten und den gesetzlichen Vorgaben zu genügen. Hierzu werden meist Präventions- und Inspektionsprogramme etabliert, die zeitbeanspruchende, vom Menschen täglich durchgeführte Routineinspektionsgänge einschließen. Dabei arbeitet der Inspekteur in der Regel ohne Messtechnik und nutzt seine Sinneswahrnehmung sowie persönliche Erfahrungen. Die Entwicklung neuartiger Überwachungsverfahren, die die Möglichkeiten modernster Mess-, Automatisierungs- und Robotertechnik ausschöpfen, verspricht eine Verbesserung der Zuverlässigkeit und der Wirtschaftlichkeit der Inspektionen – bei gleichzeitiger Entlastung des Menschen von monotonen, aufwändigen Tätigkeiten. Hier setzt ein Verbundforschungsprojekt unter der Leitung der Professoren Prof. Dr.-Ing. Andreas Kroll und Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt der Universität Kassel an.

Der RoboGasInspector

Gemeinsam mit ihren Konsortialpartnern entwickelten sie ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages) mit 2,4 Mio. Euro gefördertes Projekt: Den RoboGasInspector. "Ziel dieses Projektes war die Entwicklung und Erprobung eines innovativen Mensch-Maschine-Systems mit kooperierenden Inspektionsrobotern, die mit Gasfernmessetechnik und lokaler Intelligenz ausgestattet wurden." erklärt Prof. Dr.-Ing. Andreas Kroll vom Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik der Kasseler Universität. "Detektion und Ortung von Gaslecks sollten dabei weitgehend autonom von mobilen Robotern bewältigt werden. Die

Technische Detektionsmöglichkeiten: TVA

Um Schäden an Menschen, Umwelt und Investitionsgütern zu verhindern, müssen unbeabsichtigt aus Anlagen und Infrastruktureinrichtungen austretende Gase schnell und sicher detektiert und die Lecks geortet werden – denn sie können gesundheitsgefährdende oder explosionsfähige Gemische bilden. Dafür kommen heute verschiedene Verfahren zum Einsatz: Die herkömmliche Methode zum Aufspüren leicht flüchtiger organischer Verbindungen (VOCs) an Armaturen im Betrieb basiert hauptsächlich auf der Toxic Vapor Analyzer- (TVA) oder "Schnüffel"-Technologie. Auf der Suche nach Gasleckagen kontrolliert dabei ein Prüfer alle relevanten Anlagenteile an vorher markierten Stellen. Laut einer vom American Petroleum Institute durchgeführten Studie stammen 84% aller Lecks von weniger als 1% der Ausrüstung. Das bedeutet, dass Unternehmen den größten Teil ihrer Inspektionsverfahren den 99% funktionierenden, sicheren und Leckage freien Bereichen widmen müssen – eine mögliche Quelle für Unaufmerksamkeit durch monotone Routine und ein hoher Aufwand.

Die TVA-Technologie weist darüber hinaus eine Reihe von Nachteilen auf. Zuerst einmal setzt sie Mitarbeiter, die auf der Suche nach Leckagen sind, unsichtbaren und potenziell gefährlichen Chemikalien aus. Ein Arbeiten aus einer sicheren Entfernung ist mit TVAs nicht möglich. Zudem können im Außenbereich Wind oder andere Wetterfaktoren dazu führen, dass Gas und Dämpfe zerstreut werden, so dass die Genauigkeit der Messungen leidet

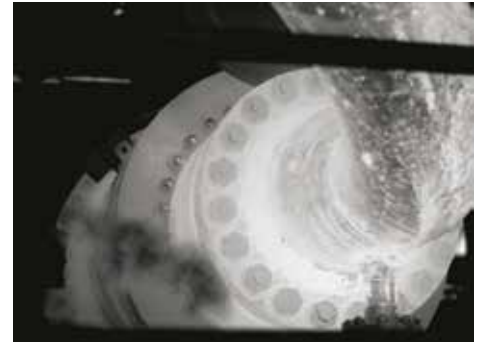


Die FLIR-GF320-Infrarotkamera visualisiert mehr als 20 unsichtbare, organische Gasverbindungen

Visualisierung unsichtbarer Gase mit einer speziellen gekühlten Infrarotkamera

FLIR Systems hat mit der GF-Serie eine Wärmebildkamera entwickelt, die auch aus mittlerer Entfernung Gasleckagen optisch visualisieren kann. Dazu gehören Methan, Benzol-Derivate und andere leicht flüchtige organische Verbindungen (VOCs), die mit herkömmlicher Kameratechnik oder mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen und daher nur schwer zu detektieren sind. Diese Chemikalien werden tagtäglich in großen Mengen transportiert und verarbeitet.

Die optische Bildgebung mit Infrarotkameras wie der FLIR-GF-Serie bietet eine Vielzahl von Vorteilen, da mit ihr wesentlich schneller als mit herkömmlichen Verfahren ein größerer Bereich erfasst werden kann und die Erkennung auch in Sektoren erfolgt, die sich mit Kontaktmessgeräten nur schlecht erreichen lassen. Lecks werden im Infrarotbild als Rauchfahne dargestellt. Wenn mit der GF-Kamera aus sicherer Distanz ein Leck gefunden wurde, kann z. B. mithilfe eines TVA-Geräts die Gaskonzentration quantifiziert werden.



Die FLIR-Kameras der GF-Serie visualisieren unsichtbare Gase an Leckagestellen als dunkle Rauchfahnen, die im bewegten Bild besonders gut zu erkennen sind.

mobilen Roboter sollten dabei zugleich die Auswertung der gemessenen Daten und die Dokumentation der Inspektionen übernehmen."

Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit

Nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch vor dem Hintergrund einer Entlastung des Menschen von sich wiederholenden Routineaufgaben bei gleichzeitig besserer Abdeckung des meist weitläufigen Inspektionsgebietes ist die Entwicklung neuartiger Inspektionstechnologien und die Konzentration der Flexibilität und Leistungsfähigkeit menschlicher Operateure auf die leitende Kontrolle des technischen Systems erstrebenswert.

Bereits bei seiner ersten Präsentation stellte der RoboGas^{Inspector} in einer Halle der Universität Kassel seine Funktionsfähigkeit unter Beweis. Selbstständig fuhr er eine Inspektionsstrecke ab, überwand dabei Hindernisse und eine Rampe. An vorgegebenen Inspektionen prüfte er verschiedene Rohrleitungen und fand dabei u. a. ein Methanleck. In den nächsten Monaten konnte dieser Erfolg unter Laborbedingungen auch auf teilweise mehrere Quadratmeter große Industrieanlagen ausgeweitet werden, in denen Umwelteinflüsse wie Wind und Sonne sowie Störfaktoren durch den Betrieb der Anlagen auftreten können.

Antrieb und Navigation des RoboGas^{Inspector}

Der RoboGas^{Inspector} besteht aus drei Baugruppen: Einer kettengetriebenen

Fahrplattform, einem Navigationsmodul und einem Inspektionsmodul, in dem u. a. die Gas-Visualisierungskamera GF-320 von FLIR Systems zum Einsatz kommt. Die kettengetriebene Plattform verfügt über einen Elektroantrieb mit handelsüblichen Autobatterien. Das Navigationsmodul besteht aus 2D-Laserscannern (vorne und hinten, besonders wichtig für die Navigation in Innenräumen) sowie einem GPS (zusammen mit den Laserscannern) für die Orientierung unter freiem Himmel. Durch den permanenten Abgleich mit einer digitalen Karte des zu inspizierenden Areals kann der kettengetriebenen RoboGas^{Inspector} seine Position jederzeit bestimmen – wobei auf dieser Karte natürlich auch Hindernisse und gesperrte Bereiche (z. B. Ex-Zonen) vermerkt werden können. "Dank seiner 2D-Laserscanner merkt der RoboGas^{Inspector} aber auch unerwartete Objekte wie geparkte Fahrzeuge,

Paletten, Fässer o. ä." erklärt Professor Kroll. "Dazu gehören natürlich auch Personen. Trifft der RoboGas^{Inspector} auf Hindernisse, weicht er ihnen aus – oder er stoppt, bis der Weg wieder frei ist."

Das Inspektionsmodul

Das Inspektionsmodul vereint auf einer Schwenk-Neige-Einheit verschiedene messtechnische Instrumente. Dazu gehört ein Gasfernmessgerät RMLD (Remote Methane Leak Detector), das auf einem aktiven TDLAS-Messgerät (Turnable Diode Absorption Spectroscopy) basiert. Seine





Schwenkbereich (Draufsicht oben) und Neigebereich (Seitenansicht unten) des Sensorsystems.

Funktionsweise erfüllt es mithilfe eines Infrarotlasers: Trifft dieser Laserstrahl auf eine Oberfläche, wird er reflektiert und seine Rest-Intensität wird gemessen. Bei einem RMLD wird der Laserstrahl allerdings permanent zwischen zwei Wellenlinien verstimmert. Trifft der Laser nun auf Methan, wird eine dieser Wellenlängen unterschiedlich stark absorbiert (abhängig von der Konzentration des Gases), während die zweite Wellenlänge nicht beeinflusst wird. Aus dem Unterschied lässt sich die Gaskonzentration berechnen. Außerdem ist auf dem Inspektionsmodul neben einer herkömmlichen Thermografie-Kamera auch eine FLIR-GF320-Infrarotkamera zur Visualisierung von Gasen montiert.

Damit der RoboGasInspector selbst nicht zu einem Risiko wird, befindet sich zusätzlich ein In-Situ-Gassensor an Bord, der das gesamte System ab 10% UEG (untere Explosionsgrenze) stromlos schaltet, um eine mögliche Gefahr durch eine zündfähigen Atmosphäre zu vermeiden.

Autonomer Ablauf der Messungen

Im Roboter selbst findet die Messdatenverarbeitung und Mustererkennung autonom statt. Auch das Abfahren der Inspektionsrouten und die

Durchführung der Messungen führt der RoboGasInspector selbst aus. Trotzdem ist er ständig mit der Leitwarte verbunden und kann von dort im Bedarfsfall ferngesteuert werden. Dazu ist u. a. noch eine Videokamera auf dem neig- und schwenkbaren Messmodul montiert. Im Regelbetrieb arbeitet der RoboGasInspector aber autonom und übermittelt lediglich per WLAN alle Messdaten an die Leitstelle.

Fazit

Mittlerweile hat der Systemprototyp in umfangreichen Testreihen seine Einsatzfähigkeit eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Bei den Tests konnten Antriebseinheit, Navigation und die sich ergänzenden Sensorsysteme überzeugen. Der RoboGasInspector ermöglicht eine autonome Gasdetektion und Leckortung auch an Stellen, die sonst nur schwer erreichbar sind. Außerdem hilft er, den Einsatz von menschlichen Prüfern in potentiell gefährlichen Umgebungen zu vermeiden. Vor einem industriellen Einsatz sind allerdings noch weitere Entwicklungsschritte (z. B. in Ex-Schutz, Software-Entwicklung etc.) notwendig, zumal vor einem kommerziellen Einsatz natürlich auch rechtliche Fragen geklärt werden müssten. Sicher ist aber, dass ein autonomer, mobiler

Gasdetektions- und Leckortungsroboter bereits heute möglich ist und einen deutlichen Sicherheitszuwachs ermöglichen kann. FLIR Systems ist stolz, mit seinen Produkten bei diesem spannenden Projekt beteiligt zu sein und wünscht dem Team der Universität Kassel um die Professoren Prof. Dr.-Ing. Andreas Kroll und Prof. Dr.-Ing. Ludger Schmidt viel Erfolg bei der weiteren Entwicklung.

Autoren:

Joachim Sarfels, FLIR Systems GmbH, R&D-Science Division, Area Sales Manager Central Europe, Berner Straße 81, 60437 Frankfurt am Main, Tel: +49 69 9500900, Fax: +49 69 950090 40, Email: info@flir.de www.flir.com

Frank Liebelt, freier Journalist, Frankfurt

For more information about thermal imaging cameras or about this application, please contact:

FLIR Commercial Systems
Luxemburgstraat 2
2321 Meer
Belgium
Tel. : +32 (0) 3665 5100
Fax : +32 (0) 3303 5624
e-mail: flir@flir.com
www.flir.com