

Erdgasspuren im Laserlicht

Von Dr. Hans H. Klingenberg und Dr. Andreas Fix



Das neue CHARM[®]-System kann Methan vom Hubschrauber aus aufspüren und so die Dichtheit von Gasleitungen prüfen

In 150 Metern Höhe fliegt ein Hubschrauber mit 70 Stundenkilometern über die Stadt hinweg. Seine Aufgabe: Das Prüfen von Erdgasleitungen. Dazu nutzt er ein innovatives optisches Messverfahren. Am Heck schwenkt ein Drehspiegel hin und her, um beim Überflug mittels eines Laserstrahls einen möglichst großen Bereich abzutasten. Für das Methan-Spürgerät CHARM erdachte das DLR die Grundkonzeption und entwickelte den Wellenlängenkonverter und die Detektionseinrichtung. Ein erster CHARM-Hubschrauber ist bereits im Einsatz, weitere Exemplare sind geplant.

Erdgas hat heute in Deutschland einen Anteil am Primärenergieverbrauch von rund 23 Prozent und ist damit fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens. Als eine der führenden Erdgasgesellschaften in Europa und einer der größten privaten Erdgasimporteure der Welt sorgt E.ON Ruhrgas dafür, dass Erdgas in Deutschland und anderen Ländern Europas zu jeder Zeit bedarfsgerecht verfügbar ist. Zur Versorgung seiner Kunden betreibt das Unternehmen ein rund 11.300 Kilometer umfassendes Erdgas-Hochdruckrohrleitungsnetz, das sich über ganz Deutschland erstreckt und im Zentrum des europäischen Erdgasverbundes liegt.

Für den sicheren Betrieb und die Überwachung dieses Erdgasrohrleitungsnetzes hat sich das regelmäßige Befliegen mit Kleinhubschraubern bewährt. Flugeinsätze werden insbesondere zur Kontrolle und Beobachtung bis hinein in die Zentren der Ballungsgebiete durchgeführt. Eventuelle Fremdeinwirkungen sollen so rechtzeitig entdeckt werden. Zusätzlich ist für Rohrleitungsverläufe in bebauten Bereichen eine Dichtheitsüberprüfung durch eine Leitungsbegehung mit Gasspürgeräten vorgeschrieben. Neue Möglichkeiten erschließt hier die moderne Lasertechnik mit dem Lidar-Verfahren (Light Detection and Ranging), das bisher hauptsächlich in der Atmos-

phärenforschung eingesetzt wurde. Aus der Lidar-Technik entwickelte das DLR im Auftrag von E.ON Ruhrgas CHARM (CH₄ Airborne Remote Monitoring). An dem Projekt sind das DLR-Institut für Technische Physik in Stuttgart und das Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen sowie die Laserfirma Adlars aus Teltow beteiligt. CHARM basiert auf einem Infrarot-Lasersystem und erlaubt es auch auf größere Entfernungen, Methan, den Hauptbestandteil des Erdgases, aufzuspüren. Damit steht ein effizientes und zuverlässiges Werkzeug mit hoher Nachweisempfindlichkeit für eine Leitungskontrolle auch in bebauten Gebieten zur Verfügung.

Mit der spektralen Signatur von Methan

Mittels Lidar können kleinste Gaskonzentrationen, wie etwa austretende Methanmengen, identifiziert werden. CHARM verwendet das DIAL-Messverfahren (Differential-Absorption Lidar), das bereits seit langem sehr erfolgreich im Bereich der Umweltmesstechnik zur Analyse von Spurengasen in der Atmosphäre eingesetzt wird. Das DIAL-Messverfahren benutzt kurze, hochenergetische Laserpulse zweier Wellenlängen, die mit einem geeigneten Laser erzeugt werden. Um die Einflüsse der

Atmosphäre und der Rückstreuung auf das zu erwartende Messsignal zu eliminieren, wird ein erster Lichtpuls als Referenzstrahl ausgesandt. Seine Wellenlänge ist genau auf die spektrale Signatur und auf die Absorptionseigenschaften des zu detektierenden Gases, also Methan, abgestimmt. Der zweite ausgesandte Lichtpuls besitzt eine Wellenlänge, die nicht oder nur wenig vom zu untersuchenden Gas absorbiert wird und als Referenzpuls dient.

Die Lichtpulse werden vom Hubschrauber aus in Richtung Erdboden ausgesandt und dort in alle Richtungen gestreut. Ein kleiner Teil des gestreuten Lichts wird vom Messsystem im Hubschrauber mit einem Teleskop aufgenommen und auf einen empfindlichen Detektor fokussiert. Dieser wandelt das Lichtsignal in ein elektrisches Signal um, das anschließend digitalisiert und ausgewertet wird. Aus dem Verhältnis der Signalintensitäten der beiden Pulse lässt sich die über den gesamten Lichtweg vorhandene Gaskonzentration direkt bestimmen. Da aus der Laufzeit der Pulse die Entfernung zum Erdboden bestimmt werden kann, lässt sich auch die mittlere Gaskonzentration entlang des Lichtwegs errechnen.

Um für die Überwachung von Gasleitungen einen erfolgreichen Einsatz der Lidar-Technik zu ermöglichen,

wählten DLR-Wissenschaftler zunächst die passende Messwellenlänge aus. Dies geschah unter den Aspekten der Realisierbarkeit einer geeigneten Lichtquelle, der Absorptionseigenschaften des zu messenden Methans sowie der Detektierbarkeit des zurückgestreuten Lichts. Weiterhin musste darauf geachtet werden, mögliche Überdeckungen mit anderen atmosphärischen Spurengasen, wie beispielsweise Wasserdampf, zu vermeiden. Die Überprüfung der Dichtheit unterirdisch verlegter Erdgasleitungen erfordert für Gasspürsysteme eine Nachweisempfindlichkeit im Bereich von parts per million (ppm).

Nach der Auswahl der Messwellenlänge und der Detektierbarkeit stellte sich die Frage nach der technischen Realisierbarkeit des Geräts. Ein System dieser Art kann nicht einfach von der Stange erworben werden. Daher initiierte das Technologiemarketing des DLR einen Kooperationsvertrag zwischen DLR und E.ON Ruhrgas mit dem Ziel der anwendungsorientierten Entwicklung des Gasferndetektionssystems. Dabei trat das DLR für einen Teil der Entwick-

lung finanziell in Vorleistung. Im Rahmen dieser neuen Form der Zusammenarbeit im Technologietransfer gelang es dem DLR schließlich, die technische Machbarkeit der Messaufgabe nachzuweisen.

Gas optisch erschnüffeln

Ein wesentliches Kernstück eines DIAL-Systems ist die Laserlichtquelle. Hierzu wurde zunächst ein speziell für Feldeinsätze ausgelegter Laser von der Firma Rofin-Sinar aus Günding entwickelt. Um den frequenzfesten Laserstrahl in die frequenzveränderlichen Infrarot-Messwellenlängen umzuwandeln, entwickelte das DLR einen Wellenlängenkonverter nach dem Funktionsprinzip des optischen parametrischen Oszillators. Er basiert auf nichtlinearen optischen Effekten in bestimmten Kristallen, die bei Bestrahlung mit intensiven Laserpulsen auftreten.

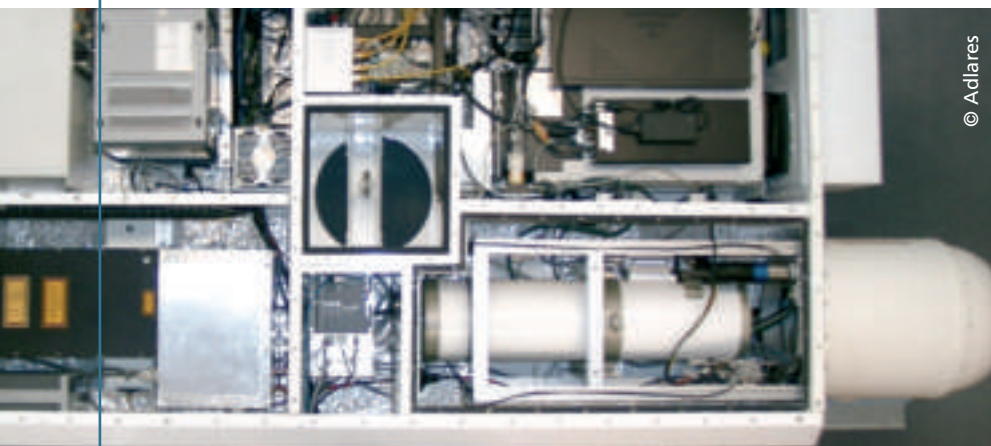
Um die hohe Nachweisempfindlichkeit für das Methan bei gleichzeitiger

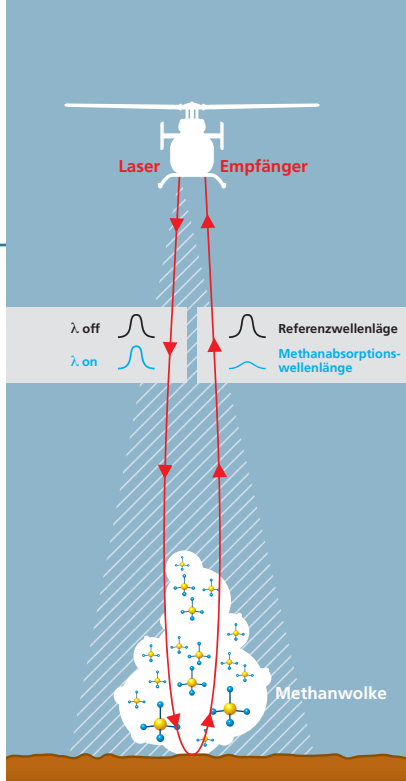
Vermeidung von Überdeckungen insbesondere mit dem allgegenwärtigen Wasserdampf zu erzielen, wurde besonderer Wert auf die spektrale Bandbreite des Lasers gelegt. Verwendet man einen schmalbandigen Laser mit sehr kleiner Ausgangsleistung und koppelt diesen in den eigentlichen Hochleistungslaser ein, übernimmt Letzterer die geringere Bandbreite. Derartige Laser sind normalerweise sehr erschütterungsempfindlich und werden nur in Laserlaboren eingesetzt. Eine große Herausforderung stellte daher die Entwicklung eines derartigen Lasers für den Betrieb in einem vibrierenden Hubschrauber dar. Sie konnte erfolgreich gelöst werden.

Im Betrieb sendet das CHARM-System Messpulspaare mit einem zeitlichen Abstand der beiden Pulse von circa 150 Mikrosekunden bei einer Frequenz von 100 Hertz aus. Der Hubschrauber fliegt dabei in rund 150 Metern Höhe. Am Boden haben die Pulse einen Durchmesser von etwa einem Meter. Eine zusätzlich entwickelte Drehspiegelanordnung erlaubt es, einen bis zu 18 Meter breiten Korridor auf der Leitungstrasse abzutasten. Die Ergebnisse eines umfangreichen Messprogramms bestätigten eindrucksvoll die Fähigkeit von CHARM, selbst kleinste Gasemissionen vom Hubschrauber aus nachzuweisen.

Neben der Fähigkeit des Geräts, Gas zu detektieren, ist für den erfolgreichen Einsatz des Systems zur Gasleitungskontrolle eine genaue Positionierung des Messstrahls auf der Pipeline notwendig. Die Basis hierfür bildet eine Datenbank mit Lagekoordinaten der Rohrleitungen in einer Genauigkeit von bis zu drei Metern. Zunächst wird die Position des Hub-

Detailaufnahmen des CHARM-Systems vor der Integration in den Hubschrauber





Das Messverfahren des CHARM-Systems:
Potenziell vorhandenes Methan verändert
Eigenschaften des Laserstrahls

Weiterhin wird mittels eines Inertialmesssystems die Lage und Bewegung des Helikopters im Raum errechnet. Ein Echtzeitrechner bestimmt aus diesen Daten die Position des Helikopters relativ zur Gaspipeline und prognostiziert die Position für die nächsten Sekunden.

Aus dem prognostizierten Flugweg und den Rohrleitungsdaten wird ein Steuerbefehl für die Ausrichtung des Laserstrahls entlang der Rohrleitungsachse errechnet. Entsprechend wird der Drehspiegel angesteuert, der schnell um die Längsachse des Hubschraubers gedreht werden kann, bis zu 40 Grad in beide Richtungen. Diese automatische und dynamische Strahlsteuerung des Laserstrahls kompensiert nicht nur die

Bewegungen des Hubschraubers, sondern auch die Abweichungen der Flugbahn und richtet den Messstrahl mit weniger als eineinhalb Meter Abweichung auf die Trasse der Erdgasleitung aus. Die Daten werden in Echtzeit ausgewertet und dem Benutzer auf einer elektronischen Karte im Hubschrauber dargestellt. Dabei erhält der Nutzer neben der Darstellung von detektierten Gasemissionen auch Informationen über den Überwachungsstatus der Leitung.

Autoren:

Dr. Hans H. Klingenberg ist Projektleiter am DLR-Institut für Technische Physik in Stuttgart, Dr. Andreas Fix Projektleiter am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen.

schraubers unter Nutzung des Satellitennavigationssystems GPS und des von E.ON Ruhrgas bereitgestellten Satelliten-Referenzdienstes ascos bis auf 50 Zentimeter genau bestimmt.

CHARM-Messhubschrauber im Einsatz über bebautem Gebiet – am Heck ist CHARM an der runden Abdeckung des Drehspiegels zu erkennen

