

Laser-basierte Ferndetektion von Propan und Methan

Laser-based remote detection of propane and methane

Dr. Johannes Herbst¹, Dr. Sven Rademacher, Thomas Strahl^{1,2}, Eric Maier¹, Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein^{1,2}

¹Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Georges-Köhler-Allee 301, 79110 Freiburg im Breisgau

²Institut für Mikrosystemtechnik - IMTEK, Professur für Gassensoren, Universität Freiburg, Deutschland

Johannes.herbst@ipm.fraunhofer.de

Kurzfassung

Da in vielen Ländern nicht Erdgas im Haushalt verwendet wird, sondern Flüssiggas, ein Gemisch aus Propan und Butan, wird eine Gasferndetektion entwickelt, die für beide Gase empfindlich ist. Im spektralen Messfenster bei 2968 cm^{-1} liegen Methan- und Propan-Absorptionslinien so spektral dicht zusammen, dass beide durch den gleichen Abstimmbereich eines Interbandkaskadenlaser (ICL) abgedeckt werden können. Das mittlere Infrarote (MIR)-Laserlicht wird an Oberflächen am Boden zurückgestreut und dann auf die spektrale Signatur der Gase hin ausgewertet. So werden Empfindlichkeiten für beide Gase von kleiner als $5\text{ ppm}\cdot\text{m}$ erreicht. Das kompakte, leichte, batterie-getriebene Laser-basierte Ferndetektionssystem wird für den Einsatz an einem Multikopter (Micro-UAV) ausgelegt. Die neuartige Entwicklung kann sowohl kleine als auch große Gasleckagen aus einer Entfernung bis zu 20 m feststellen.

Abstract

Since in many countries it is not natural gas that is used in the household but liquefied petroleum gas, a mixture of propane and butane, a remote gas detection is developed that is sensitive to both gases. In the spectral measurement window at 2968 cm^{-1} , methane and propane absorption lines are spectrally close enough together that both can be covered by the same tuning range of an interband cascade laser (ICL). The mid-infrared (MIR) laser light is backscattered from surfaces on the ground and then evaluated for the spectral signature of the gases. This achieves sensitivities for both gases of less than $5\text{ ppm}\cdot\text{m}$. The compact, lightweight, battery-powered laser-based remote detection system is being designed for use on a multicopter (micro-UAV). The novel development can detect both small and large gas leaks from a distance of up to 20 m.

1 Einleitung

Erdbeben, Gasexplosionen und Naturkatastrophen wie Starkregen können das Einstürzen von Gebäuden verursachen. Dabei werden häufig Menschen verschüttet, es beginnt für die Rettungskräfte ein Wettlauf gegen die Zeit.

Um die Einsatzkräfte vor Ort bei der Suche nach Überlebenden zukünftig effektiv mit neuartiger Technik zu unterstützen, wird im BMBF-Verbundprojekt „SORTIE: Sensor-Systeme zur Lokalisierung von verschütteten Personen in eingestürzten Gebäuden“ gemeinsam mit indischen Forschern und Anwendern eine autonom fliegende Drohne entwickelt, welche Trümmerfelder aus der Luft kartographiert und analysiert. Bevor aber die Rettungskräfte mit der Suche und Ortung beginnen, ist die oberste Priorität die Sicherheit Einsatzkräfte sicherzustellen. Denn durch austretendes Gas entsteht um die Gebäuderümmern herum ein erhebliches Risiko einer Explosionsgefahr. Um das Risiko zu minimieren, wird aus der Luft mit einer Micro-UAV das Trümmerfeld mit laserbasierter Gasferndetektion nach Gasleckagen abgesucht [1].

In Europa geht bei zerstörten Gebäuden das Hauptrisiko von austretendem Erdgas aus, das zu ~90% aus Methan besteht. In anderen Ländern mit einer erheblichen Erdbebenwahrscheinlichkeit, wie z.B. Indien, wird überwiegend Flüssiggas in den Haushalten verwendet. Das Flüssiggas besteht aus Propan und Butan. Dadurch besteht ein Bedarf

an einer für Methan als auch für Propan empfindlichen Detektionstechnik.

Herkömmliche Detektions- und Messmethoden, wie elektro-chemische Zellen, Pellistoren oder Metalloxidsensoren, arbeiten nicht berührungslos und sind damit nicht für die Gasferndetektion geeignet. Vorteilhaft bei der Laserspektroskopie ist, dass der Messlaser die Gaswolke nur durchqueren muss, der Laser kann sich dafür in einiger Entfernung zur Gaswolke befinden. Eine Bedingung ist aber, dass ein Teil des Laserlichts diffus reflektiert und wieder vom Messsystem gesammelt wird. Da der Rückstreu hintergrund von den Oberflächen grundsätzlich stark in Form und Material variiert, ist die größte technische Herausforderung die Lichtsammlung und Auswertung der Signale. Ein Trümmerhaufen eines eingestürzten Gebäudes, kann beispielsweise aus Schutt, glatten Betonplatten oder Metalloberflächen bestehen. Diese Materialien streuen und reflektieren sehr unterschiedlich. Das Ziel ist es ein Gasferndetektionssystem auf zu bauen, das die Suche nach einer Gaswolke von einer Micro-UAV aus ausführt, wie in **Bild 1** schematisch dargestellt. Das Messsystem muss dafür wichtige Randbedingungen, wie geringes Gewicht ($< 600\text{g}$), kompakte Dimension und geringe elektrische Leistungsaufnahme ($< 2\text{W}$) erfüllen. Die Micro-UAV überträgt die Messwerte zusammen mit der Position an die Basisstation, dort werden die Messwerte in eine Kartengrafik übertragen und sind somit für die Rettungskräfte schnell zu erfassen.

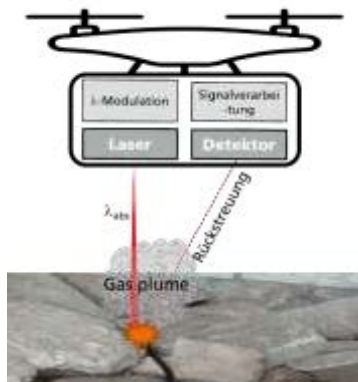


Bild 1 Schema des Gasferndetektionssystems

Ferndetektion für Methan im Nah-Infraroten ist Stand der Technik. Neuartig ist die Ferndetektion nach dem bekannten Prinzip der „tunable laser spectroscopy“ im MIR für Methan und Propan. Die Vorteile sind die starken Absorptionslinien im MIR, die Herausforderung die schwierigere Detektion durch weniger empfindliche Detektoren und schlechteren Streueigenschaften. In dieser Arbeit werden die technische Ausführung und die Ergebnisse vorgestellt, die mit einem Demonstrator für die Gasferndetektion bei einem Feldversuch erzielt worden sind.

2 Aufbau und Durchführung

Ein laserbasiertes Ferndetektionssystem besteht optisch aus zwei Funktionseinheiten: dem Sendemodul mit dem Laser und dem Empfängermodul für die Lichtsammlung. Für das Sendemodul wird ein Interbandkaskadenlaser (ICL, Nanoplus) verwendet, der in dem Bereich von 2968 cm^{-1} emittiert. Dieses spektrale Messfenster ermöglicht innerhalb von 3 cm^{-1} Abstimmbereich sowohl die Methan- als auch Propan-Absorptionslinien zu erfassen. Methan hat eine charakteristische Doppellinie, Propan hat eine um 1 cm^{-1} verschobene breitere Einzelbande.

Die Empfangsoptik besteht aus einer leichten Fresnel-Linse mit 50 mm Durchmesser und einem ungekühlten Infrarot-Quantendetektor (3.4-PVI, Vigo-Systems). Mit dieser Kombination wird ein Raumwinkel von $2 \cdot 10^{-5}\text{ sr}$ bei 10 m Entfernung erfasst. Ausgehend von ca. 3 mW Ausgangsleistung kann das gesammelte rückgestreute Laserlicht abhängig von der Entfernung nur wenige Nanowatt (10^{-9} W) Leistung haben. Das natürliche Tageslicht kann diesen Betrag um mehrere Größenordnungen übertreffen und muss deshalb effektiv unterdrückt werden. Die speziell entworfene Elektronik steuert und treibt den Laser, umfasst die umschaltbare Vorverstärkung, Signalverarbeitung und übergibt die Messwerte. Für die Signalverarbeitung wurde ein Algorithmus entwickelt, der aus der direkten Absorptionsspektroskopie (DAS) abgeleitet wurde. Das Verfahren, „pseudo Wavelength Modulation Spectroscopy (pseudo-WMS)“ nutzt die zweite Ableitung des Absorptionssignal und wird deutlich weniger von den

Rückstreuereigenschaften des Hintergrunds beeinflusst als das DAS-Verfahren.

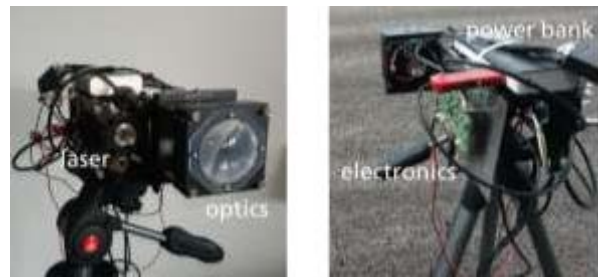


Bild 2 Vorläufiger Demonstrator-Aufbau

3 Methode und Ergebnisse

Der vorläufige Demonstrator-Aufbau (**Bild 2**) wurde für einen Feldtest auf einem THW-Übungsgelände genutzt, um die Funktionalität zu charakterisieren. Dafür wurde statt von einer Micro-UAV aus der Demonstrator als handgetragenes Ferndetektionssystem genutzt. Ein künstliches Leck bei dem Methan oder Propan ausströmt ($\sim 0,5\text{ l/min}$) wurde aus mehreren Metern Entfernung in verschiedenen Szenen betrachtet (**Bild 3**). Das Ergebnis ist, dass sowohl Methan als auch Propan erfolgreich detektiert werden konnten. Die Schwelle von $1/10$ der unteren Explosionsgrenze konnte für beide Gase (CH_4 : $4400\text{ ppm}\cdot\text{m}$ und C_3H_8 : $1700\text{ ppm}\cdot\text{m}$) sicher aus 10 m Entfernung gemessen werden. Eine Querempfindlichkeit durch Luftfeuchtigkeit wurde nicht festgestellt. Die Nachweisempfindlichkeit kann bei guten Rückstreuoberflächen (gesandstrahlte Aluplatte) besser als $5\text{ ppm}\cdot\text{m}$ und bei schlechten (Schutthaufen) deutlich größer sein.



Bild 3 Ferndetektion eines künstlichen Gaslecks aus ~ 6 m Entfernung beim Feldtest.

4 Ausblick

Der nächste Schritt ist, die Opto-Mechanik dahingehend zu überarbeiten, dass ein flugtaugliches Funktionsmuster entsteht. Mit diesem Funktionsmuster als Payload der Micro-UAV wird dann die Gasdetektion aus der Luft geschehen.

5 Literatur

- [1] [Projektumriss SORTIE](#) (29.10.2021), BMBF-Förderkennzeichen 13N15189 bis 13N15194