



## Lasergestützte Stand-off Detektion von CB(RN)E

### *Laser based standoff detection of CB(RN)E*

U-Bahn von Tokio unmittelbar nach einem  
Gasanschlag 1995

*Metro in Tokyo directly after a  
gas attack 1995*



Sowohl die vorsätzliche wie auch die unbeabsichtigte Freisetzung von chemischen, biologischen, radioaktiven, nuklearen und explosiven (CBRNE) Gefahrstoffen stellt eine Bedrohung für die zivile Sicherheit dar. Die lasergestützte Stand-off Detektion bietet vielversprechende Möglichkeiten, CBE-Gefahrstoffe frühzeitig zu detektieren und zu identifizieren. Durch ein derart abstands-basiertes, diskretes und zuverlässiges Detektionsverfahren lassen sich im Krisenfall rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten und Gefahren für die Bevölkerung und die Rettungskräfte verringern.

- 1995: Mitglieder der AUM-Sekte setzten das Nervengift Sarin in der U-Bahn von Tokio frei. Eine Identifikation des Gefahrstoffs dauerte 3 Stunden. 12 Menschen fanden den Tod und ca. 5000 Menschen mussten medizinisch versorgt werden, darunter auch zahlreiche Rettungskräfte.
- 2001: Briefe mit Milzbranderregern wurden an amerikanische Regierungsbeamte versendet. 5 Menschen starben.
- 2009: 46 Menschen wurden in Spanien bei der Detonation einer Autobombe vor einer Polizeikaserne verletzt.

Diese Vorfälle sind exemplarisch für die Bedrohung der zivilen Sicherheit durch Attentate radikaler Gruppen. Eine sofortige Identifikation der Chemikalie in Tokio, des Milzbranderregers in den USA bzw. die Ferndetektion von Explosivstoffen in Spanien hätte helfen können Menschenleben zu retten.

Heute schon verfügbare Detektionsmethoden benötigen zumeist direkten Kontakt mit dem Gefahrstoff. Dies erschwert eine frühzeitige Erkennung und ist selbst nicht ohne Gefahren durchführbar. Invasive Detektionsverfahren nutzen z.B. Biochips und Chroma-

*Both, the criminal and the accidental release of chemical, biological, radioactive, nuclear and explosive (CBRNE) substances represent a threat to public security. The laser based standoff detection offers promising possibilities for early detection and identification of hazardous CBE substances. In case of crisis management discrete and reliable detection methods allow for an immediate initiating of counter measures and thereby reduce the threat for people in general and first responders in particular.*

- 1995: Members of the Aum sect laid off the neurotoxin Sarin in the subway of Tokyo. An identification of the highly toxic substance took 3 hours. 12 people were killed and about 5000 people, including many helpers and first responders, had to receive medical care.
- 2001: Letters contaminated with bacillus anthracis, the Anthrax pathogen, were sent to U.S. government officials. 5 people died.
- 2009: 46 people were injured by a detonating car bomb in front of a police barrack in Spain.

*These incidents are examples of modern threats to civil security due to attacks by radical groups. An immediate identification of the chemical agent Sarin in Tokyo, the anthrax pathogen in the U.S., or the stand-off detection of explosives in Spain would have helped saving lifes.*

*Presently available detection methods often require direct contact with the hazardous material. This seriously interferes with early detection and is dangerous, too. On-site detection methods may use biochips or chromatographic techniques. Non-contact detection capabili-*

Lasergestützte Stand-off Detektion auf der  
Freistrahlstrecke

*Laser based standoff detection at the  
free space optical test range*



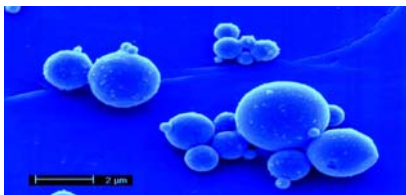
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Technische Physik  
Langer Grund  
74239 Hardthausen

Dr. Jürgen Handke  
Fon: +49 6298 28 -230  
Fax: +49 6298 28 -582  
Juergen.Handke@dlr.de  
www.DLR.de/tp

Mikroskopaufnahme von Flugasche

*Microscope picture of flue ash*



tografie zur Identifikation. Berührungslose Detektionsmöglichkeiten bieten die Terahertz (THz)-Spektroskopie und die Infrarotspektrometrie. Die Ausnutzung von THz-Strahlung ist auf Entfernungen im Meterbereich beschränkt. Damit ist sie interessant für den Einsatz an sogenannten Portalsystemen in Flughäfen. Bei der Infrarotspektrometrie wird passiv untersucht, wie sich das Spektrum der Hintergrundstrahlung beim Durchgang durch eine Wolke ändert. Diese Methode ist stark abhängig von den Umgebungsbedingungen. Bei einer aktiven Variante der Infrarotspektrometrie werden im Nahbereich Oberflächen von Gegenständen mit durchstimmbaren Infrarotlichtquellen beleuchtet. Das zurück gestreute Licht wird mit Bildverarbeitungsmethoden untersucht.

Mikroskopaufnahme eines Milzbranderreger

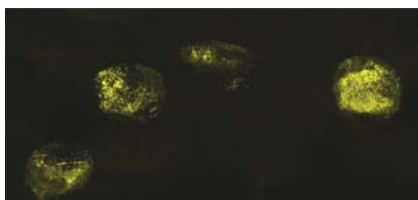
*Microscope picture of anthrax*



Erschwert wird die Detektion von Gefahrstoffen durch deren Vielzahl. Die unterschiedlichen Verbreitungs-, Kontaminations- und Inkubationswege erhöhen zusätzlich die Komplexität der Problemstellung. Chemische Gefahrstoffe, wie z.B. das Nervengift Sarin, werden zumeist gasförmig über die Luft verteilt. Bakterien und Viren können an Gegenständen haften oder sich als Aerosole über die Luft ausbreiten. Dort überleben sie mehrere Tage und Wochen. Explosivstoffe hinterlassen Spuren auf Oberflächen (z.B. in Form von Fingerabdrücken oder als Partikel an Textilien). Das gewählte Ferndetektionsverfahren muss dementsprechend flexibel und vielseitig einsetzbar sein.

Fingerabdruck mit Explosivstoffen

*Finger print with explosive substance*



Lasergestützte Detektionsmethoden nutzen unterschiedliche Wechselwirkungsmechanismen zwischen Licht und Materie aus. Dabei kann eine große Anzahl an Gefahrstoffen in unterschiedlichen Zustandsformen über weite Entfernungen erfasst werden. Diese Verfahren erlauben eine diskrete und schnelle Klassifikation von Substanzen in Entfernungen bis in den Kilometerbereich. Dabei wird ausgenutzt, dass Laserlicht durch das zu untersuchende Objekt gestreut, absorbiert bzw. remittiert wird. Das zurück kommende Licht wird mit einem Teleskop aufgesammelt und bezüglich seiner Intensität, Polarisation und spektralen Verteilung untersucht. Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf die Eigenschaften eines möglichen Gefahrstoffs.

*ties are available by the Terahertz (THz) spectroscopy and the infrared spectrometry. The detection range of THz radiation is limited to distances of some few meters. Due to these properties, the THz technique is appropriate for portal systems, e.g. at airport gateways. Passive infrared spectroscopic methods register changes in background radiation passing through a cloud. These methods strongly depend on environmental conditions. In the active version, surfaces of suspect objects are irradiated by tunable infrared light sources. The backscattered light is analysed by image processing systems.*

*The detection and identification of hazardous substances is complicated due to their huge variety. In addition, different ways of circulation, contamination, and incubation increase the complexity of the problem. Chemical hazards, like the volatile neurotoxin Sarin, are often released in gaseous form through the air. Bacteria and viruses can be adsorbed to any objects and spread out as aerosols through the air. There, they survive and stay dangerous for days and weeks. Explosives leave traces on surfaces (e.g. as fingerprints or as particles on textiles). Consequently, an optimum method of remote detection must be flexible and versatile depending on the actual threat.*

*Laser-based detection methods make use of different mechanisms of interaction between light and matter at remote distances. The laser-based techniques are able to cover large numbers of hazardous substances in different forms. A discrete and fast classification is feasible at distances up to the kilometer range. For the particular detection technique, laser light is directed to the suspect region, where the irradiated substances cause scattering, absorption or remission of the radiation. The returning light is collected by a telescope and analysed regarding intensity, polarisation, and spectral distribution. From the specific results, conclusions may be drawn concerning the existence of hazardous materials.*

Bei der Streuung von Licht, z.B. an Aerosolen in der Luft, gibt die wellenlängenabhängige Intensitätsverteilung des gestreuten Lichts Aufschluss über die Größenverteilung der Aerosole. Die Gesamtintensität der Streustrahlung hängt von der Konzentration der Aerosole ab. Aus der Veränderung der Polarisation lässt sich auf die Form der Aerosole schließen. Diese Verfahren werden unter dem Begriff LIDAR (Light Detection and Ranging) zusammengefasst und erlauben die Detektion einer Substanz, aber keine Klassifikation des Gefahrstoffs.

In einer Kombination von LIDAR mit Absorptionsmessverfahren (DIAL: Differential Absorption LIDAR) werden Intensitäten des rückgestreuten Laserlichts bei benachbarten Wellenlängen untersucht. Liegt dabei eine Wellenlänge im Absorptionsbereich des gesuchten Stoffes und eine weitere außerhalb, so kann die Substanz durch das Intensitätsverhältnis des Streulichtes detektiert werden. DIAL wird standardmäßig zur Fernerkundung z.B. im Bereich der Atmosphärenforschung eingesetzt. Voraussetzung dabei ist, dass der zu untersuchende Stoff bereits bekannt ist, um die zur Bestrahlung eingesetzten Laserwellenlängen auf das Absorptionsspektrum des gesuchten Stoffes abstimmen zu können.

Bei der laserinduzierten Fluoreszenz (LIF) wird der Gefahrstoff selbst zur Emission von charakteristischer Strahlung angeregt. Das energiereiche Licht des Lasers regt die zu untersuchenden Moleküle auf höhere Energieniveaus an. Das Spektrum der darauffolgenden verzögerten Emission (Fluoreszenz) ist charakteristisch für die bestrahlten Moleküle und eignet sich daher zu deren Klassifikation. Bei der inelastischen Ramanstreuung wird das Laserlicht nahezu unverzögert gestreut und frequenzverschoben remittiert. Die Intensität des Streusignals ist sehr schwach. Sein Spektrum spiegelt die Vibrationsniveaus der Moleküle wieder und erlaubt eine Klassifikation.

Laserstrahlen hoher Energiedichte können Plasmen an den zu untersuchenden Stoffen erzeugen. Dabei werden die Moleküle in Fragmente aufgespalten (LIBS: laserinduzierte Breakdown-Spektroskopie). Die resultierende Linienstrahlung erlaubt Rückschlüsse auf die vorhandenen Fragmente und damit auch auf mögliche Gefahrstoffe.

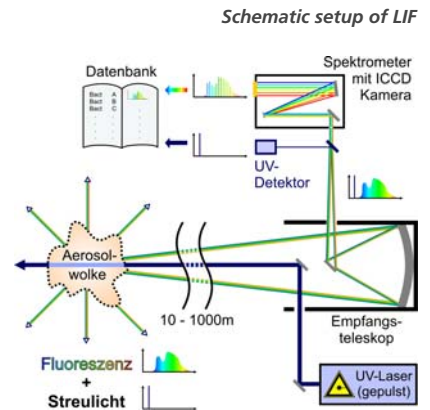
*The wavelength dependent intensity distribution of light scattered by aerosols in the air provides information on the size distribution of these aerosols. The overall intensity of the elastically scattered light correlates with the concentration of the aerosols. The alteration of the polarization provides information on the shape of the aerosols. These methods denoted by LIDAR (Light Detection and Ranging) do allow for a detection, but do not allow for a precise classification of an unknown, hazardous substance.*

*In combining LIDAR with absorption measurements (DIAL: Differential Absorption LIDAR) more detailed information on the scattering material is gained. Applying two adjacent wavelengths for illumination, one in band and one out of band of the absorbing molecule, the intensity ratio in the scattered light allows for the detection of the substance. DIAL is a common technique in remote sensing of the atmosphere. But, as the laser wavelength has to meet the absorption of the molecule precisely, the hazardous substances have to be known in advance.*

*Applying laser-induced fluorescence (LIF), the hazardous material itself is initiated to the emission of a characteristic radiation. The wavelength spectrum of subsequent delayed emission (fluorescence) is specific to assign hazardous materials and is therefore suitable for their classification. In case of inelastic Raman scattering the laser light is scattered almost spontaneously at shifted wavelengths. The back-scattered Raman signal is very weak. The recorded Raman spectrum reflects the vibrational levels of the molecules and this vibrational fingerprint identifies the hazardous substance.*

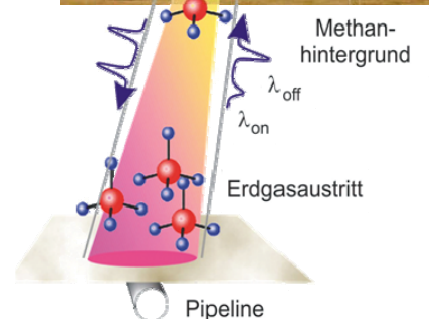
*High intensity laser radiation allows for plasma generation at relevant substances. The molecules are split into fragments (LIBS: laser-induced breakdown spectroscopy). The wavelength of the subsequent line radiation of the plasma is characteristic for the atomic composition of the involved fragments and thereby provides information on potentially involved hazardous substances.*

**Prinzipieller Aufbau von LIF**



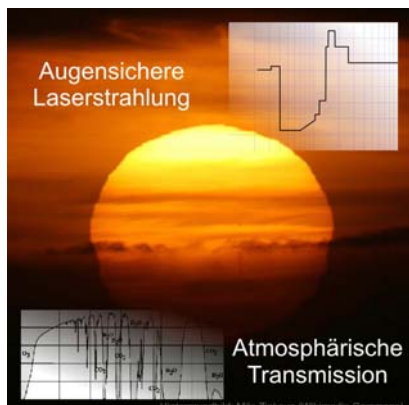
**Detektion von Methangasaustritt aus Erdgaspipelines (CHARM)**

**Detection of methane gas leakage from pipelines (CHARM)**



**Augensicherer Wellenlängenbereich und Transmission der Atmosphäre**

*Eye-safe wavelength region and atmospheric transmission*



Aufgrund der erwähnten Vielzahl an Gefahrstoffen sind zu deren zuverlässiger Identifikation Kombinationen der beschriebenen Methoden notwendig. Weiterhin sind für die lasergestützte Stand-off Detektion Laserquellen mit spezifischen Anforderungen bzgl. Wellenlänge, Energie und Pulslänge erforderlich.

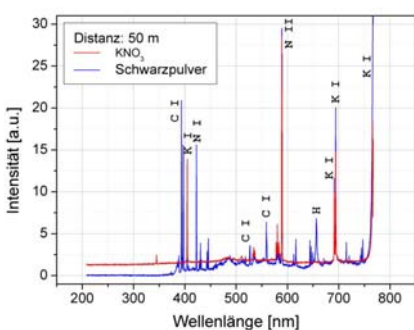
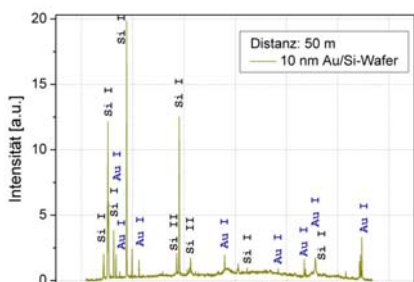
Bei realen Einsatzbedingungen ist zu beachten, dass das Detektionssystem an Orten mit Publikumsverkehr zum Einsatz kommt, d.h. der Laser muss im augensicheren Wellenlängenbereich betrieben werden. Dieser liegt im UV unterhalb von 400 nm bzw. im Infraroten oberhalb von 1400 nm. Andere Randbedingungen entstehen durch den Einsatz im Freien und dem damit verbundenen Einfluss der Atmosphäre. Sie betreffen die Transmission des Laserlichts sowie Störungen durch den veränderlichen Strahlungshintergrund, Witterungsbedingungen, Staub bzw. schadstoffähnliche Spurenstoffe.

*Due to the large number of hazardous materials (and their precursors), combinations of the described detection methods are necessary for a reliable identification. Furthermore, laser sources employed for stand-off detection have to fulfill particular requirements in terms of wavelength, energy and pulse length.*

*In realistic scenarios the detection system has to comply with additional specifications for public safety. The laser has to be eye-safe. The corresponding wavelength ranges comprise the ultraviolet region below 400 nm and the infrared region above 1400 nm. Further requirements are caused by outdoor use and the associated influence of the atmosphere, i.e. effects of the transmission of laser light, the interference from the variable background radiation, weather conditions, dust and simulants of hazardous substances.*

**LIBS-Spektren von Gold und Schwarzpulver**

*LIBS spectra of gold and black powder*



Eine Kernkompetenz des Instituts für Technische Physik des DLR liegt in der Entwicklung wellenlängenspezifischer Lasersysteme. Expertisen auf dem Gebiet der Ferndetektion haben bereits in nationalen wie internationalen Kooperationen bei Projekten wie CHARM, WALES (beide DIAL) und BODE (LIF) Eingang gefunden. Ziel der Forschungen ist die Entwicklung eines kompakten, mobilen lasergestützten Stand-off Detektionssystems für den schnellen und effektiven Einsatz im Krisenfall.

Die Validierung der aussichtsreichsten lasergestützten Detektionsmethoden erfolgt unter realen Umweltbedingungen auf der Laser-Freistrahlstrecke in Lampoldshausen. Dort konnte z.B. mit dem LIBS-Verfahren bei Tageslicht und einer Entfernung über 50 m Gold im Nanogramm-Bereich nachgewiesen werden. Darüber hinaus werden Tests an relevanten Gefahr- bzw. Gefahrersatzstoffen (z.B. Schwarzpulver) durchgeführt.

*The DLR Institute of Technical Physics has extensive experience in the field of wavelength specific laser development. Expertise in the field of laser-based remote diagnostics is established in national and international cooperation like CHARM, WALES (both applying DIAL) and BODE (LIF). The goal of the present research is to develop a compact, mobile laser-based stand-off detection unit as a fast and effective countermeasure against CBE-threats.*

*The validations of the most promising laser-based detection methods are carried out at realistic environmental conditions on the free space optical test range at the Lampoldshausen test site of DLR. There, LIBS technique was already successfully applied for the detection of nanograms of gold at distances above 50 m under daylight conditions. Furthermore, extensive test series are performed on safety relevant substances or substitutes like black powder.*



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Institut für Technische Physik**  
 Pfaffenwaldring 38-40  
 70569 Stuttgart  
 Telefon: +49 (0)711 6862-773  
 Telefax: +49 (0)711 6862-788

[www.DLR.de/tp](http://www.DLR.de/tp)