



Atemgas-Analyse

Photothermische Detektion von Spurengasen

Empfindlicher Substanznachweis im Atemgas in Echtzeit

Der photothermische Gasanalysator MVP von Fraunhofer IPM erlaubt die schnelle und empfindliche Messung von Spurengaskonzentrationen – selbst bei kleinen Probengasflüssen. Damit wird es möglich, Atemgase in Echtzeit zu analysieren, wodurch Konzentrationsverläufe innerhalb eines Atemzugs sichtbar werden.

In den Spurenbestandteilen ausgeatmeter Luft stecken viele Informationen über den Zustand und die inneren Vorgänge im menschlichen Körper. Der MicroVolume-Photothermal-(MVP)-Gasanalysator von Fraunhofer IPM misst solche Substanzen in dieser anspruchsvollen Matrix schnell und empfindlich. Das macht ihn zu einem neuartigen und leistungsfähigen Werkzeug in der physiologischen und medizinischen Forschung oder Diagnostik.

Atemgasuntersuchungen – schnell und aussagekräftig

Der menschliche Körper reichert eingeatmete Luft in seinen Atemwegen mit vielen verschiedenen Substanzen an, die alle einen physiologischen Ursprung haben. Beim Ausatmen werden diese Substanzen zusammen mit der ausgeatmeten Luft abgegeben. Der Zusammenhang von flüchtigen organischen Verbindungen in der Atemluft mit unterschiedlichen Krankheiten wurde bereits von Nobelpreisträger Linus Pauling beschrieben. Aber selbst einfache Moleküle wie beispielsweise Stickoxide, Methan oder Ammoniak können als Biomarker für mögliche Erkrankungen und Stoffwechselstörungen dienen. Im Gegensatz zu Blutuntersuchung oder gar Biopsie ist die Untersuchung der Atemluft nichtinvasiv – die Probe wird kontinuierlich

abgegeben und erlaubt dadurch u. a. auch ein fortlaufendes Monitoring. Doch die Messung dieser Spurenkomponenten ist technisch anspruchsvoll. Das hat im Wesentlichen drei Gründe: Erstens liegen relevante Konzentrationen meist nur im mittleren bis niedrigen parts-per-billion-(ppb)-Bereich. Zweitens bildet Atemgas eine komplizierte Hintergrundmatrix; und drittens ist die Probenmenge in einem einzelnen Atemzug auf wenige Liter begrenzt. Deshalb sind bislang nur wenige Atemgastests für medizinische Anwendungen zugelassen.

Photothermische Laserspektroskopie

Infrarote Laserspektroskopie ist eine leistungsstarke Technik zur schnellen, empfindlichen und spezifischen Detektion von Substanzen.

Typische Spezifikationen

- **Zielsubstanzen¹**
NH₃, N₂O, CH₄, CO, HF, ...
- **Nachweisgrenze²**
< 50 ppb
- **Zeitauflösung**
< 1 s
- **Probengasfluss**
5–1000 ml/min

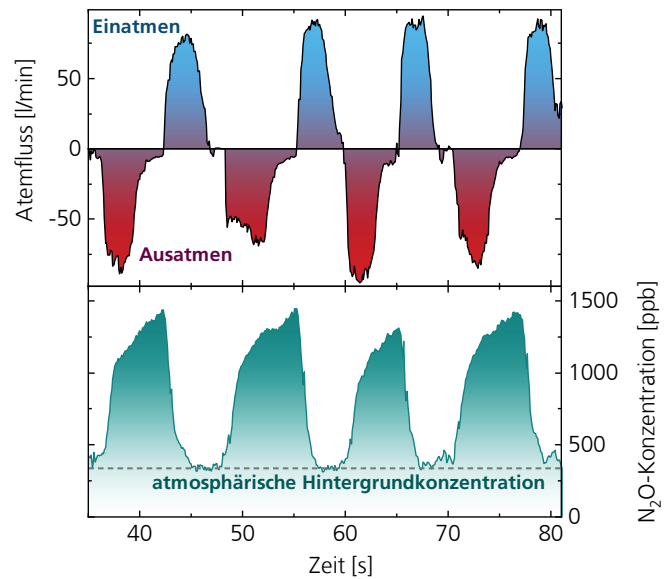
¹ frei konfigurierbar – je nach Laser

² abhängig von der Zielsubstanz

Konventionelle Methoden erreichen niedrige Nachweisgrenzen durch den Einsatz von Multipass-Zellen für lange Absorptionswege in der Probe. Die benötigte Probenmenge zum Austausch des Gasvolumens in der Zelle setzt diesen Techniken in der Atemgasuntersuchung jedoch Grenzen. Sogenannte photothermische Spektroskopie-Methoden, eng verwandt mit der Photoakustik, umgehen dieses Problem, indem statt der Abschwächung eines Laserstrahls die Erwärmung der Probe gemessen wird. Fraunhofer IPM hat ein Verfahren entwickelt und patentiert, in dem die Zielsubstanz durch ihre Wärmesignatur mittels eines separaten Abfragelasers nachgewiesen wird. Das Verfahren erlaubt Konzentrationsauflösungen bis in den einstelligen ppb-Bereich innerhalb einer Sekunde, während das Probenvolumen auf den Kreuzungspunkt der zwei Laserstrahlen und damit bis auf wenige Mikroliter begrenzt sein kann. Das optische Auslesen erlaubt es außerdem, eine Reihe von Störeinflüssen durch die Gasmatrix zu umgehen, die häufig den Einsatz photoakustischer Systeme limitieren.

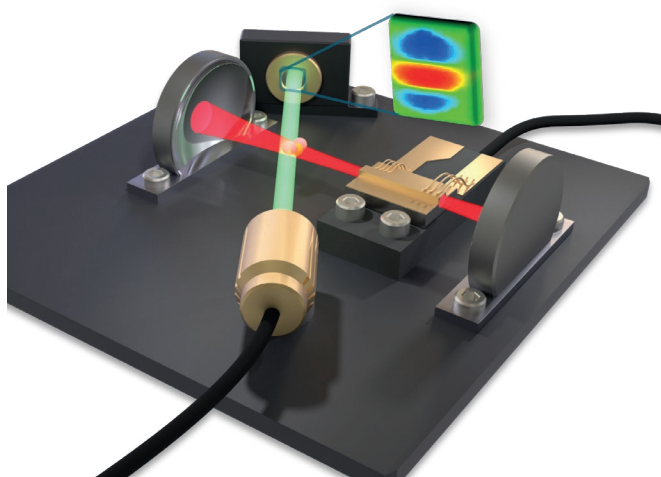
Vorteile in der Anwendung

Der MVP-Gasanalysator von Fraunhofer IPM ist als Plattform für die optische Spurengasanalyse in Atemluft konzipiert: Das System umfasst neben der photothermischen Sensoreinheit auch die Probenahme aus dem Atemstrom durch eine tragbare Atemmaske sowie sekundäre Sensorik (z. B. zur Messung von Atemfluss, Temperatur, Druck etc.). Durch die Wahl des Spektroskopie-Lasers lässt sich das System für verschiedene Zielsubstanzen konfigurieren. Die Probenahme erfolgt kontinuierlich und unabhängig vom Atemzyklus. Damit werden Konzentrationswerte in der ausgeatmeten Luft



Beispielmessung: Distickstoffmonoxid (N₂O) als Stoffwechselprodukt in der Atemluft. Der MVP-Gasanalysator misst simultan den Atemfluss und die enthaltene Spurenkonzentration.

direkt und fortlaufend gegen die eingeatmete Untergrundkonzentration referenziert. Der schnelle Gasaustausch im Messvolumen erlaubt die Auflösung von Konzentrationsverläufen auch innerhalb einzelner Atemzüge. Dies liefert wertvolle Zusatzinformationen wie z. B. die Unterscheidung der Eintragung in den oberen bzw. unteren Atemwegen.



Messprinzip der Photothermie: Ein auf die Zielsubstanz abgestimmter Laserstrahl (rot) wird von deren Molekülen absorbiert und es wird Wärme frei. Diese lokale Erwärmung erzeugt in einem zweiten Abfragelaserstrahl (grün) ein charakteristisches Muster – ähnlich einem Hitzeflimmern (vergrößert dargestellt). Dieses Muster lässt sich mit hoher Empfindlichkeit detektieren.

Kontakt

Dr. Sebastian Wolf
 Projektleiter Nichtlineare Optik und Quantensensorik NOQ
 Abteilung Gas- und Prozesstechnologie
 Telefon +49 761 8857-388
 sebastian.wolf@ipm.fraunhofer.de

Dr. Frank Kühnemann
 Gruppenleiter Nichtlineare Optik und Quantensensorik NOQ
 Abteilung Gas- und Prozesstechnologie
 Telefon +49 761 8857-457
 frank.kuehnemann@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
 Georges-Köhler-Allee 301
 79110 Freiburg
 www.ipm.fraunhofer.de

