

Diodenlaserspektroskopie: Darf's auch mal im Mittleren Infrarot sein?

Johannes Kunsch und Lars Mechold

Laserspektroskopische Sensorik befindet sich derzeit in einer sehr innovativen Phase der Weiterentwicklung. Konferenzen und Workshops widmen sich den Strahlungsquellen für spektroskopische Nachweisverfahren [1]. Dabei dominiert die Diodenlaser-Absorptionsspektroskopie mittels abstimmbarer Laser oder TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy), da sie sich durch höchste Nachweisempfindlichkeit in der Analytik vieler Gase, auch bei hoher Konzentration an Störkomponenten, auszeichnet [2].

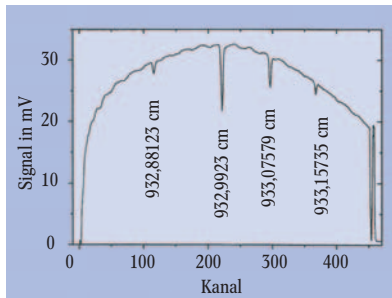


Abb. 1: Beispiel einiger Ammoniak-Absorptionslinien, gemessen mit einer Herriot-Langwegzelle (N_2+20 ppm NH_3 , $p=0,01$ mbar, $l=36$ m) [3].

Die TDLAS ist ein hochauflösendes nicht-dispersives spektrometrisches Verfahren: Der Diodenlaser als selektive Strahlquelle tastet einen charakteristischen Teil des zu untersuchenden Spektrums ab, ein zusätzlicher Spektralapparat wird nicht benötigt. Die spektrale Abstimmung erfolgt mittels Stromänderung, so lassen sich Messfrequenzen bis hin zu MHz realisieren und Auflösungen bis hin zu sub-Milliwellenzahlen. Gemessen wird die transmittierte Strahlung. Abbildung 1 zeigt einen Beispielscan für Ammoniak [5]. Die Konzentration der gesuchten Substanz wird mittels

des Lambert-Beerschen Gesetzes unter Kenntnis der Linienform berechnet. Mit dem TD-LAS-Verfahren werden seit Jahrzehnten hervorragende wissenschaftliche Ergebnisse z. B. in der Spurenanalytik erzielt. Das Verfahren ist selektiv, besitzt eine hohe Nachweisempfindlichkeit, ist kalibrierbar, erlaubt eine hohe Messrate bzw. Zeitauflösung (z. B. zyklengelöst im Verbrennungsmotor), erlaubt Fernmessungen und einen hohen Dynamikbereich. Eine Vielzahl von Molekülen ist auf diese Art und Weise selektiv und hochgenau spektroskopierbar, dementsprechend hoch ist die Zahl der potenziellen Anwendungen.

Das Anwendungspotenzial ist breit und doch konzentrieren sich derzeit die industriellen Applikationen auf den Spektralbereich zwischen $0,7$ und $2 \mu m$. Dieser Wellenlängenbereich zwischen dem Sichtbaren und dem mittleren Infrarot (MIR) wird auch als nahes Infrarot (NIR) bezeichnet. Ein erster Anwendungsschub geht vom laseroptischen Sauerstoffsensoren aus. Dabei wird die Rotations-Schwingungsbande des Sauerstoff-Moleküls um 760 nm genutzt (Abb. 2). Der Trend hin zum NIR wird auch wesentlich durch die Verfügbarkeit hochwertiger Faseroptiken gestützt. Dies ermöglicht es nicht nur, Messstelle und Laser räumlich zu trennen, sondern auch über Multiplexing diese – zwar meist teure, aber funktionell bessere – Technik simultan an mehreren Messstellen zu nutzen und so die Amortisation zu beschleunigen. Die Möglichkeiten im NIR erweitern sich stetig: Kürzlich wurde die Entwicklung eines 760 -nm-Laserdiodenarrays inklusive Ansteuerung bei Laser Components abgeschlossen [4]. Damit kann man z. B. auch Fluktuationen bei inhomogenen Messobjekten (wie Flammen) erfassen.

Nachteilig an NIR-Geräten ist aber, dass hier Oberschwingungen der Moleküle mit drastisch geringerer Linienstärke spektroskopiert werden und nicht die Grundschwingungen. In der Konsequenz ergibt sich (unter

sonst gleichen Messbedingungen) bei einer optischen Weglänge von 25 m z. B. für NH_3 eine Nachweisgrenze von $9,2 \mu g/m^3$ bei einer Wellenlänge von $1,544 \mu m$ im NIR und von $0,007 \mu g/m^3$ bei einer Wellenlänge von $10,744 \mu m$ im MIR [5] und eine tendenziell geringere Selektivität.

Demzufolge stellt sich die Frage: Darf es ein wenig mehr MIR sein? Man hätte dann eine bessere Nachweisempfindlichkeit aufgrund der Verwendung von Grundschwingungen, eine Vielfalt von messbaren Molekülen und einen Dynamikbereich in der Konzentration von bis zu sechs Größenordnungen [6].

Tabelle: Elektrische Daten des GenPulse 1 Moduls

Laserstrom	0 - 15,6 A
Pulslänge	50 ns - 1 μs
Wiederholfrequenz	10 Hz - 10 kHz
Max. Pulsleistung	1400 W
Einstellbarer Temperaturbereich	-10°C bis +50°C
Max. Peltier-Strom	1,7 A
Trigger	intern/extern
Monitorausgänge	Trigger Laserstrom Laserspannung Peltierstrom Temperaturdifferenz

Industrielle Anwendungen erfordern Raumtemperaturbetrieb, dieser ist im MIR mittels Quantenkaskadenlasern (QCL) möglich. Einen Überblick über den europäischen Entwicklungsstand bei QCL findet man unter [1]. Der QCL ist ein Intrabandlaser. Durch geeignetes Design des Energieniveaus ist es somit möglich, Diodenlaser im mittleren und fernen Infraroten herzustellen, basierend auf Materialsystemen wie InP und GaAs, deren Bandlücke bei Verfolgen klassischer Interbandlaserkonzepte eigentlich nur NIR-Emission erlaubt. Anders ausgedrückt: Es ist somit möglich, mit bestens bekannten, erforschten und beherrschten Materialsystemen in Wellenlängenbereiche vorzudringen, die bisher Lasern aus vergleichsweise wenig erforschten Materialsystemen (z. B. Blei-Chalkogenide) vorbehalten waren.

Anwendungsrelevant ist, dass beim QCL im Pulsregime Raumtemperaturbetrieb erstmals 1996 erreicht wurde und derzeit im Pulsbetrieb Lebensdauern realisiert werden, die oberhalb der typischen Mindestforderung von fünf Jahren liegen. Konsequenterweise realisierte die Firma Aerodyne Inc. im Jahr 2002 ein komplett thermoelektrisch gekühltes TDLAS-System mit einem QCL im Puls-

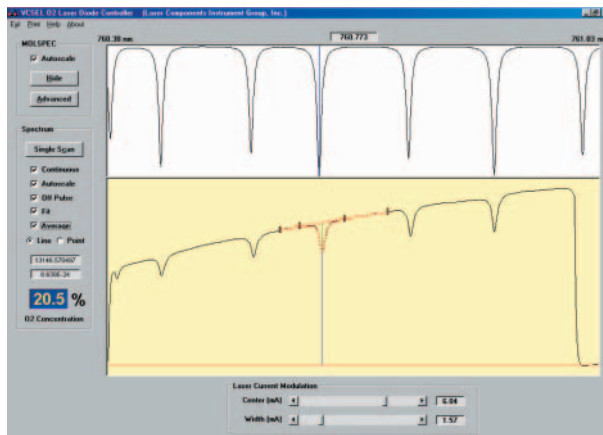


Abb. 2: Das TDLAS-Messsignal (unten) zeigt einen Beispielscan für Sauerstoff, bei dem zur Konzentrationsberechnung eine Linie ausgewählt wurde. Die aus einer Datenbank synthetisch generierte Kurve oben dient zur Linienidentifikation.

Dipl.-Phys. Johannes Kunsch und Dr. Lars Mechold, Laser Components GmbH, Werner-von-Siemens-Str. 15, 82140 Olching

betrieb. Gemessen wurde die Konzentration von NO [7].

QCL besitzen eine geringe Effizienz und demzufolge müssen sehr hohe Ströme innerhalb von Nanosekunden störungsfrei geschaltet werden. Dies leisten bisher marktübliche Treiber nur unzureichend. Der durch Laser

benötigte Lasergehäuse basiert auf Standardbauteilen, eine Chipintegration ist seitens Laser Components möglich. Interne Tests am Prototypen mit einem 5,5- μm -QCL zeigten überzeugende Ergebnisse. GenPulse 1 ist der Prototyp eines integrierten Lasermoduls, Weiterentwicklungen sind geplant.



Abb. 3: Steuerteil und Laserkopf des GenPulse 1 Lasermoduls.

Components GmbH entwickelte GenPulse 1 (Abb. 3) löst dieses Problem. GenPulse 1 erfüllt die speziellen Anforderungen der QCL, wie hohe Ströme und hohe Spannungen bei kurzen Pulsen und kleinen Tastverhältnissen zu handhaben, ohne die Umgebung elektromagnetisch zu verunreinigen (Tabelle 1, [8]). GenPulse 1 besteht aus einem kompakten Laserkopf und einer Steuereinheit. Der Laser lässt sich vom Nutzer einfach wechseln und eine Peltier-Steuerung ist integriert. Das

Laser Components fungiert somit als Bindeglied zwischen Waferfab und Anwender bzw. Gerätebauer und leistet einen Beitrag zur beschleunigten Verbreitung der QCL-Technologie. Erste Serienapplikationen werden in den kommenden Jahren erwartet. Die analytische Messtechnik ist somit das erste kommerzielle Anwendungsfeld der QCL-Laser, weitere wie z. B. die Freiraumdatenübertragung werden folgen. Für zusätzliche innovative Applikationsideen seitens der Leser des Physik

Journals stehen die Autoren gern als Ansprechpartner zur Verfügung. Mit Entwicklung der QCL-Technologie steht das Tor für mehr Anwendungen im MIR offen, diese Chance gilt es zu nutzen.

- [1] *J. Kunsch*, *Photonik* 6/2002, S. 54
- [2] *M. Tacke, F. Wienhold, R. Grisar, H. Fischer* und *F.-J. Lübken* in *Encyclopedia of Analytical Chemistry* by *R.A. Meyers* (Hrsg.), S. 2033, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, (2000).
- [3] *J. Röpcke et al.*, *Rev. of Sci. Instrum.* **71**, 3706 (2000).
- [4] Laser Components GmbH, Firmenschrift, Datasheet SPECILAS V-763-MTE-2x4L, Olching, April 2003
- [5] *P. Werle*, *VDI-Berichte*, Band **1366**, S. 1 (1998).
- [6] *J. Röpcke et al.*, *Plasma Chem. Plasma Process.*, **19**, 395 (1999).
- [7] *D. D. Nelson et al.*, *Appl. Phys. B* **75**, 343 (2002).
- [8] Laser Components GmbH, Firmenschrift: Preliminary Datasheet GenPulse Devices, Olching, Januar 2003