

FORSCHUNGSBERICHT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2922/Fachgruppe Umwelt/Verkehr

Herausgegeben vom Minister für Wissenschaft und Forschung

Prof. Dr. -Ing. Martin Fiebig

Dr. -Ing. Alfred Leipertz

Institut für Thermo- und Fluidodynamik
der Ruhr-Universität Bochum

Lokale Bestimmung gasförmiger Schadstoffe
mittels einer Impuls-Laser-Streulicht-Sonde



Westdeutscher Verlag 1980

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Fiebig, Martin:

Lokale Bestimmung gasförmiger Schadstoffe mittels einer Impuls-Laser-Streulicht-Sonde / Martin Fiebig ; Alfred Leipertz. - Opladen : Westdeutscher Verlag, 1980.

(Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen ; Nr. 2922 : Fachgruppe Umwelt, Verkehr)

ISBN 978-3-531-02922-1 ISBN 978-3-322-88474-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-88474-9

NE: Leipertz, Alfred:

© 1980 by Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen
Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

ISBN 978-3-531-02922-1

Inhalt

| | |
|---|----|
| Verzeichnis häufig benutzter Symbole | V |
| I. Einleitung | 1 |
| II. Theoretische Grundlagen des Meßprinzips | 6 |
| II.1 Schadstoffidentifikation | 7 |
| II.2 Konzentrationsbestimmung | 15 |
| II.2.1 Bestimmung von Linienintensitäten | 15 |
| II.2.2 Technische Nutzung | 22 |
| II.2.3 Theoretische Nachweisgrenzen | 23 |
| III. Aufbau der Streulicht-Sonde | 26 |
| III.1 Gesamtbeschreibung des Aufbaus | 26 |
| III.2 Optischer Aufbau | 28 |
| III.2.1 Laser- und Einstrahloptik | 28 |
| III.2.1.1 Gesamtbeschreibung | 28 |
| III.2.1.2 Referenzdiode für Laserausgangsenergie | 31 |
| III.2.2 Registrieroptik und Signalumsetzung | 32 |
| III.2.2.1 Gesamtbeschreibung | 32 |
| III.2.2.2 Interferenz- und Rotfilter | 34 |
| III.2.2.3 Opto-elektronische Signalumsetzung | 35 |
| III.2.3 Lokale und räumliche Auflösung | 36 |
| III.3 Elektronischer Aufbau | 38 |
| IV. Aufbaubezogene Konzentrationsmessung | 40 |
| IV.1 Konzentrationsabhängiges Ramansignal | 40 |
| IV.2 Fehlerabschätzung | 41 |
| IV.2.1 Fehler des normierten Ramansignals | 43 |
| IV.2.1.1 Registrier- und Ablesefehler | 43 |
| IV.2.1.2 Konzentrations- und untergrundabhängige Fehler | 44 |
| IV.2.2 Diskussion der Fehlergrößen | 45 |
| IV.3 Signalmittelwerte und ihre Fehler | 46 |
| IV.4 Komponenteneichkurven und ihre Fehler | 47 |
| IV.5 Konzentrationsbestimmung und ihre Fehlergröße | 48 |
| V. Aufbautests | 49 |

| | |
|---|----|
| VI. Optisches Energie- und Raumfilter | 52 |
| VI.1 Notwendigkeit der Einführung | 52 |
| VI.2 Beschreibung des Filters und seiner Wirkung | 53 |
| VI.3 Experimentelle Erprobung des Filters | 55 |
| VII. Signalsteuerung über Polarisationsdrehung | 57 |
| VII.1 Einführung in die Problematik | 57 |
| VII.2 Abhängigkeit der Ramanintensität vom Polarisationszustand des Einstrahllichtes | 58 |
| VII.3 Technische Nutzung zur Signalsteuerung | 60 |
| VIII. Konzentrationsmessungen und Nachweisgrenzen | 62 |
| VIII.1 Theoretische Nachweisgrenzen und Vertrauensbereiche für ideale und reale Versuchsbedingungen | 62 |
| VIII.2 Experimentelle Eichkurven | 67 |
| VIII.3 Reproduzierbarkeit | 69 |
| VIII.4 Konzentrationsbestimmung | 71 |
| VIII.4.1 Konzentrationsmessung in reinen Gasen | 71 |
| VIII.4.2 Konzentrationsmessung in Gasgemischen | 74 |
| IX. Zusammenfassung | 76 |
| X. Literaturverzeichnis | 79 |
| XI. Bilder | 84 |

Verzeichnis häufig benutzter Symbole:

Lateinische Buchstaben:

| | |
|-----------|--|
| a | Achsenabschnitt der Komponenteneichkurven (Kap.IV,VIII) |
| b | Spaltbreite Steigung der Komponenteneichkurven (Kap. IV,VIII) |
| c | Gaskonzentration |
| C | Streukapazität der Registrierelektronik |
| d_L | optisch wirksamer Durchmesser der Linse L |
| d_L^* | optisch wirksamer Durchmesser der Linse L [*] |
| D^* | Fokusedurchmesser der Linse L [*] |
| E | Energie |
| E_L | Laserausgangsenergie |
| \vec{E} | Elektrischer Feldvektor |
| f | Brennweite (Index bezeichnet die jeweilige Linse) |
| F | Fotodioden-Referenzsignal |
| G | Verstärkungsfaktor des Fotomultipliers (Kap.III-V, normiertes, aufbaubedingtes Untergrundsignal (Kap.IV,VIII) |
| i_{nm} | Lichtintensität je Molekül beim Quantenübergang n + m |
| I | Lichtintensität |
| J | Rotationsquantenzahl |
| l | betrachtete Länge des Laserstrahls im Untersuchungsbe- reich |
| n_x | optischer Brechungsindex des Mediums x |
| n | Gas-Moleküldichte |
| N_M | Anzahl Moleküle im Streuvolumen |
| N_L | Anzahl eingestrahelter Laserphotonen |
| $N_{L,o}$ | Anzahl je Laserpuls ausgekoppelter Laserphotonen |
| N_P | Anzahl Photoelektronen |
| $N_{P,o}$ | Anzahl aus der Multipliekathode ausgeschlagener Photo- elektronen |
| N_S | Anzahl Streuphotonen |

| | |
|-----------|---|
| p | Druck oder Partialdruck (mit Index) |
| \vec{p} | Dipolmoment |
| Q | Ladung Quantenausbeute der Multiplierekathode |
| Q_{kn} | Streuquerschnitt für Ramanübergang $k \rightarrow n$ (Kap. VII) |
| r | Radius |
| R_L | Lastwiderstand der Registrierelektronik |
| t_p | Pulsdauer des Laserpulses |
| T | Temperatur |
| T_R | optische Transmission der Registrieroptik |
| T_L | optische Transmission der Lasereinstrahl-optik |
| $T(v, J)$ | molekularer Energie-Termwert für die Quantenzahlen v, J |
| U | Energie (Kap. II) Spannung, abgelesenes Signal |
| v | Vibrationsquantenzahl |
| V | Vertrauensbereich einer Messung |
| W | normiertes Ramansignal |

Griechische Buchstaben

| | |
|------------------|---|
| θ | Winkel zwischen der Schwingungsrichtung des elektrischen Vektors \vec{E} des einfallenden Lichtes und der Beobachtungsrichtung (Bild 7.1) |
| $\theta_{x,y,z}$ | Trägheitsmoment eines Moleküls um die Hauptträgheitsachsen x, y, z |
| λ | Wellenlänge einer elektromagnetischen Strahlung |
| ν | Frequenz einer elektromagnetischen Strahlung |
| $\tilde{\nu}$ | Wellenzahl einer elektromagnetischen Strahlung |
| ρ | Depolarisationsgrad für linear polarisierte Einstrahlung |
| ρ_n | Depolarisationsgrad für natürliche Einstrahlung |
| σ | Streuquerschnitt |
| τ | Zeitkonstante der Registrierelektronik ($= R_L \cdot C$) |
| ϕ | Winkel zwischen der Fortschrittrichtung des einfallenden Lichtes und der Beobachtungsrichtung (Bild 7.1) |

Ω Raumwinkel der Registrieroptik
 $d\sigma/d\Omega$ differentieller Streuquerschnitt

Indizes:

i Gaskomponente i
o eingestrahlte Größe
R Ramangröße

Konstante Größen:

a Proportionalitätskonstante zwischen Fotodiodensignal F
und Laserausgangsenergie E_L
c Lichtgeschwindigkeit ($= 2,99793 \cdot 10^8$ m/s)
 $\left. \begin{matrix} c \\ C \end{matrix} \right\}$ Proportionalitätskonstanten (Kap. II)
 e_0 Elektronenladung ($= 1,602 \cdot 10^{-19}$ Cb)
h Plancksches Wirkungsquantum ($= 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js)
k Boltzmann-Konstante ($= 1,3805 \cdot 10^{-23}$ J/K)
K dimensionslose Proportionalitätskonstante (Kap. II)
 k_λ wellenlängenabhängige Aufbaukonstante