

Dipl.-Ing. Kai Wülbern, Merching

Prozeßgekoppelte Messung von Rauchgasen mit einem Fourier-Spektrometer

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **154**

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Symbole	VIII
Einleitung	1
1 Grundlagen der Absorptionsspektrometrie	3
1.1 Strahlungsabsorption in Gasen	3
1.1.1 Wechselwirkung zwischen Strahlung und Gasmolekül	3
1.1.2 Struktur von Rotations-Schwingungsspektren	4
1.1.3 Einfluß von Druck, Temperatur und Begleitgas	7
1.2 Quantitative Gesetzmäßigkeiten der Strahlungsabsorption	9
1.2.1 Das Lambert-Beer'sche Gesetz	9
1.2.2 Dichte und Konzentration eines Gases	11
1.3 Industrielle Gasanalyse	12
1.3.1 Technische Anforderungen an Rauchgasanalytoren	14
1.3.2 Prozeßkopplung	15
1.3.3 Meßprinzipien und Geräteausführungen	17
2 Fourier-Spektrometer	20
2.1 Aufbau und Funktionsweise	20
2.2 Geräteeigenschaften	23
2.2.1 Übertragungsverhalten	23
2.2.2 Spektrale Auflösung	24
2.2.3 Strahldivergenz	25
2.3 Aufnahme eines Extinktionsspektrums	27
2.4 Störeinflüsse	32
2.4.1 Rauschen	32
2.4.2 Drift	34
2.4.3 Einstreuungen	36

2.5	Beschreibung des verwendeten Fourier-Spektrometers	38
2.5.1	Aufbau	38
2.5.2	Strahlungsquelle	40
2.5.3	Detektor	41
2.5.4	Spülung des Spektrometers	45
2.5.5	Gaszelle	48
2.6	Kalibrierung	53
2.6.1	Möglichkeiten zur Herstellung von Kalibriergemischen	53
2.6.2	Verwendete Kalibriereinrichtung	55
3	Quantitative Spektrenauswertung	58
3.1	Grundlagen	58
3.2	Standardverfahren	59
3.2.1	Lineare Kalibrierung – das CLS-Verfahren	59
3.2.2	Faktorenanalyse – das PLS-Verfahren	63
3.3	Nichtlineare Kalibrierung – das NLS-Verfahren	64
3.3.1	Mathematisches Modell	66
3.3.2	Kalibrierschritt	68
3.3.3	Auswerteschritt	70
3.3.4	Höhere Modellordnung	73
3.3.5	Eigenschaften des Verfahrens	74
3.4	Spektrenauswertung mit dem NLS-Verfahren	77
3.4.1	Numerische Lösung der linearen Gleichungssysteme	77
3.4.2	Unsicherheit der Schätzwerte	79
3.4.3	Erkennung systematischer Meßfehler	80
3.4.4	Integrierte Basislinienkorrektur	83
3.4.5	Auswahl geeigneter Spektralbereiche	84

3.5	Einfluß verschiedener Parameter	87
3.5.1	Fensterung und Zerofilling	88
3.5.2	Anzahl der Spektralwerte	90
3.5.3	Spektrale Auflösung	92
3.5.4	Beschaffenheit der Referenzspektren	94
4	Messungen	97
4.1	Meßbedingungen	97
4.2	Geräteeigenschaften	98
4.2.1	Zeitverhalten	98
4.2.2	Stabilität	99
4.3	Messung der klassischen Rauchgaskomponenten	101
4.3.1	Kohlenmonoxid (CO)	101
4.3.2	Stickstoffmonoxid (NO)	107
4.3.3	Stickstoffdioxid (NO ₂)	111
4.3.4	Schwefeldioxid (SO ₂)	113
4.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	116
4.4	Messung adsorptiver und reaktiver Gase	117
4.4.1	Messung von NH ₃ in feuchtem Rauchgas	119
4.4.2	Erfassung von HCl und HF	122
4.5	Rauchgasmessungen in einem Heizkraftwerk	123
4.5.1	Ort der Messungen	124
4.5.2	Messanordnung	125
4.5.3	Meßergebnisse	126
4.6	Messungen an einer Gasturbine	136
4.6.1	Messanordnung	136
4.6.2	Meßergebnisse	137
	Zusammenfassung	142
	Literaturverzeichnis	144