

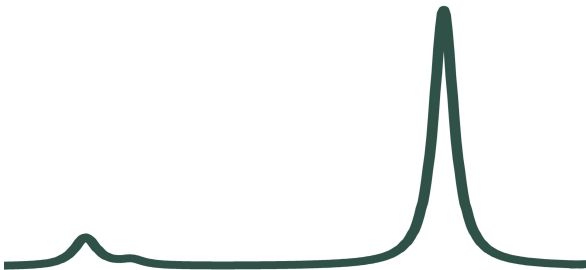


Jens Eichmann (Autor)

Zeitlich hochaufgelöste Analyse von Abgasen mittels Fourier-Infrarotspektroskopie

Jens Eichmann

Zeitlich hochaufgelöste
Analyse von Abgasen mittels
Fourier-Infrarotspektroskopie



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6825>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Analyse von Gasen mittels Infrarotspektroskopie	4
1.2	Zielsetzung und Gliederung der vorliegenden Arbeit	5
2	Grundlagen der Gasanalytik mittels Fourier-Infrarotspektroskopie	7
2.1	Strahlungsphysikalische Größen	7
2.2	Molekülspektren	8
2.2.1	Linienprofile	9
2.2.2	Das Gesetz von Lambert und Beer	10
2.2.3	Spektrenbibliotheken	12
2.3	Fourier-Spektroskopie	13
2.3.1	Michelson-Interferometer	14
2.3.2	Interferogramm	16
2.3.3	Spektrale Auflösung eines Fourier-Spektrometers	17
2.3.4	Nichtlinearität des Detektors	20
2.4	Gaszelle	22
3	Methode zur Analyse von Gasgemischen mittels Infrarotspektroskopie	25
3.1	Anforderungen an die Auswertung von Infrarotspektren in der Abgasmesstechnik	25
3.1.1	Abgaszusammensetzung und Entstehung von Schadstoffen	26
3.1.2	Maßnahmen zur Reduktion von Schadstoffemissionen	28
3.1.3	Relevante Abgasbestandteile und Anforderungen an die Messtechnik . .	29
3.1.4	Simulation des Spektrums einer typischen Rohabgasprobe	30
3.1.5	Basislinie im Spektrum einer Abgasprobe	32
3.1.6	Vergleich unterschiedlicher spektraler Auflösungen	34
3.1.7	Transmission als Funktion der Säulendichte bei niedriger spektraler Auflösung	37
3.1.8	Temperatur- und Druckabhängigkeit	39
3.2	Mögliche Analyseverfahren	46
3.2.1	Referenzspektren für die Analyseverfahren	47
3.2.2	Mögliche Methoden zur Berechnung der Basislinie	47
3.2.3	Bekanntes lineares Analyseverfahren	48
3.2.4	Vorteile eines nichtlinearen Analyseverfahrens	49
3.3	Strahlungstransport im Messsystem	50
3.3.1	Strahlungstransport unter Berücksichtigung der Strahlung der Gasprobe	52
3.3.2	Auswertung im radiometrisch nicht kalibrierten Spektrum	59
3.4	Algorithmus zur Messung der Bestandteile einer Gasprobe	64



3.4.1	Modellierung von Spektren einzelner Gase	65
3.4.2	Berechnung der Basislinie	68
3.4.3	Methode der nichtlinearen Modellierung	73
3.5	Quantifizierung einzelner Gase bei Umgebungstemperatur	76
3.5.1	Messung von Methanol-Luft-Gemischen	76
3.5.2	Messung bei unterschiedlicher spektraler Auflösung am Beispiel der Quantifizierung von Isobuten in Luft	77
3.5.3	Vergleich zweier Fourier-Infrarotmesssysteme am Beispiel der Quanti- fizierung von Methan in Luft	79
3.6	Messung von Gasgemischen bei hohen Gastemperaturen	82
3.6.1	Messung einer Gasprobe bei unterschiedlichen Temperaturen	82
3.6.2	Messungen bei unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und Vergleich mit einer zertifizierten Abgas-Messanlage	86
4	Gasanalysator zur Messung komplexer Gasgemische bei hohen Temperaturen	89
4.1	Übersicht über die Module des Gasanalysators	89
4.2	Gaszelle, Ein- und Auskoppeloptik	93
4.2.1	Simulation wichtiger Komponenten des Spektrometers	94
4.2.2	Durchmesser der Spiegel der Ein- und Auskoppeloptik	95
4.2.3	Brennweite der Off-Axis-Parabolspiegel	97
4.2.4	Justage von Ein- und Auskoppeloptik	99
4.3	Optischer Durchsatz	101
4.4	Geschwindigkeit des Gasaustausches	102
4.5	Untersuchung von Messunsicherheiten und Stabilität	105
4.5.1	Messung von Gaskonzentrationen	107
4.6	Nachweisgrenzen wichtiger Abgaskomponenten	110
4.6.1	Berechnung der rauschäquivalenten Konzentration	111
4.6.2	Vergleich von berechneten Nachweisgrenzen und Messergebnissen . . .	112
4.6.3	Nachweisgrenzen für relevante Bestandteile im Abgas	113
4.6.4	Unsicherheit bei der Messung von Kfz-Abgasen	113
5	Erprobung am Motorenprüfstand	115
5.1	Vergleich mit einer zertifizierten Abgas-Messanlage	115
5.2	Vergleich der spektralen Auflösung	119
5.3	Untersuchungen am Partikelfilter	121
5.4	Untersuchungen am SCR-Katalysator	123
6	Schlussbemerkungen und Ausblick	127
	Literaturverzeichnis	131
	Anhang	141