

Volker Klein
Christian Werner

Fernmessung von Luft- verunreinigungen

mit Lasern und anderen
spektroskopischen Verfahren

Mit 115 Abbildungen und 23 Tabellen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Aufbau der Atmosphäre.....	5
2.1	Einleitung.....	5
2.2	Höhenprofile.....	6
2.3	Aerosolgehalt und Vulkanausbrüche.....	12
2.4	Austauschprozesse in der Atmosphäre.....	15
2.5	Turbulenz.....	17
2.6	Zusammenfassung.....	19
2.7	Schrifttum.....	20
3	Gasförmige Luftverschmutzungen.....	21
3.1	Charakterisierung des Begriffes.....	21
3.2	Quellen für gasförmige Luftverunreinigungen.....	25
3.2.1	Gerichtete Quellen.....	27
3.2.2	Diffuse Quellen.....	32
3.3	Ausbreitung von Luftverunreinigungen.....	34
3.4	Schrifttum.....	35
4	Physikalische Grundlagen.....	36
4.1	Absorption.....	39
4.2	Spektrale Struktur der absorbierten Strahlung.....	45
4.2.1	Form der Absorptionslinien.....	46
4.2.2	Die natürliche Linienbreite.....	46
4.2.3	Dopplerverbreiterung.....	48
4.2.4	Druckverbreiterung.....	50
4.2.5	Schwache und starke Linien.....	52
4.2.6	Wachstumskurve.....	53
4.3	Emission.....	56
4.4	Fluoreszenz.....	59
4.5	Raman-Streuung.....	61
4.6	Streuung.....	67
4.6.1	Rayleigh- und Mie-Streuung.....	67
4.6.2	Mehrfachstreuung.....	73
4.7	Doppler Verschiebung.....	75
4.8	Zusammenfassung.....	80
4.9	Schrifttum.....	80

5	Methoden, Genauigkeit, Anwendungen.....	83
5.1	Einleitung.....	83
5.2	Einfache Meßverfahren.....	85
5.2.1	Sichtweitenmessung.....	86
5.2.2	Gaskonzentrationsmessung.....	87
5.3	Korrelationspektroskopie.....	89
5.4	FTIR Spektroskopie.....	91
5.5	DOAS.....	102
5.6	Langweg-Absorptionsmessungen mit Lasersystemen.....	104
5.6.1	Absorptionsmessungen mit abstimmbaren Laserdioden....	104
5.6.2	Absorptionsmessungen mit abstimmbaren Lasern.....	112
5.6.3	Absorptionsmessungen über Faseroptiken.....	124
5.7	Lidar.....	126
5.7.1	Rückstreulidar.....	129
5.7.1.1	Inversionsmethoden.....	130
5.7.1.2	Einfluß der Mehrfachstreuung.....	133
5.7.1.3	Simulationsprogramme.....	138
5.7.2	Differentielles Absorptions-Lidar (DIAL).....	142
5.7.2.1	DF-Lidar der GKSS.....	145
5.7.2.2	ARGOS-System von MBB und GKSS.....	149
5.7.2.3	Ausblick auf weitere Entwicklungen.....	151
5.7.3	Fluoreszenzlidar.....	154
5.7.4	Raman-Lidar.....	157
5.7.5	Doppler-Lidar.....	161
5.7.5.1	Messung der Windgeschwindigkeit.....	161
5.7.5.2	Dauerstrich- und gepulste Doppler-Lidars.....	162
5.7.5.3	Empfindlichkeiten.....	163
5.7.5.4	Windfernmessung für Ausbreitungsmessungen.....	165
5.7.5.5	Windprofile.....	166
5.7.5.6	Globale Windfernmessung.....	168
5.8	Modulierte Lidar Verfahren.....	169
5.8.1	Das Prinzip des RM-CW-Lidar.....	172
5.8.2	Abstands- und Geschwindigkeitsmessung mit einem FM-CW-Lidar.....	173
5.9	Augensicherheit bei Laserfernmeßverfahren.....	178
5.10	Zusammenfassung.....	180
5.11	Schrifttum.....	182
6	Bestimmung von Verfahrenskenngrößen bei Meßverfahren(unter Mitwirkung von K.Weber).....	191
6.1	Einleitung.....	191
6.2	Arten von Verfahrenskenngrößen.....	192
6.3	Ermittlung der Kalibrierfunktion.....	193
6.4	Nachweisgrenze (NWG).....	196
6.5	Bestimmungsgrenze (BG).....	197
6.5.1	Empfindlichkeit.....	197

6.5.2	Selektivität.....	197
6.5.3	Genauigkeit.....	198
6.5.4	Präzision.....	198
6.5.5	Wiederholbarkeit.....	199
6.5.6	Vergleichbarkeit.....	199
6.5.7	Instabilität.....	199
6.6	Überwachung der Luftqualität.....	200
6.7	Normen, Richtlinien, Grenzwerte.....	201
6.8	Eignungsprüfung.....	203
6.9	Zusammenfassung.....	205
6.10	Schrifttum.....	208
7	Anwendungsgebiete.....	210
7.1	Emissions- und Immissionsüberwachung.....	210
7.2	Industrieanlage.....	211
7.3	Klima, Luftverkehr und Umwelt.....	214
7.3.1	Einleitung.....	214
7.3.2	Klima und optische Fernerkundung.....	216
7.3.2.1	Treibhauseffekt und internationale Experimente.....	216
7.3.2.2	Flüssigphasenchemie und Wolken.....	220
7.3.2.3	Spezielle Sensoren.....	221
7.3.3	Luftverkehr und Umwelt.....	226
7.4	Luftverkehr.....	227
7.5	Zusammenfassung.....	230
7.6	Schrifttum.....	231
8	Zukunftsaussichten.....	233
8.1	Laser.....	233
8.1.1	Durchstimmbare Laser.....	233
8.1.2	Laserdioden als Pumplichtquellen.....	234
8.1.3	Frequenzstabile Laser.....	237
8.1.4	Optische Verstärker.....	238
8.1.5	Zusammenfassung.....	242
8.2	Fourier-Transformations-Spektroskopie (FTIR).....	242
8.3	Schrifttum.....	245
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	247
10	Sachwortverzeichnis.....	250