

Laser-Fernerkundung der planetaren Grenzschicht

Dissertation
am Fachbereich Physik
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Steffen Frey

Berlin, April 2002

Erster Gutachter:	Professor Dr. Ludger Wöste
Zweiter Gutachter:	Professor Dr. Klaus-Dieter Kramer
Datum der Disputation:	3. 6. 2002

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
Kapitel 1 Die planetare Grenzschicht	5
1.1 Zusammensetzung der Atmosphäre	6
1.1.1 Trockene Luft	6
1.1.2 Wasser	8
1.1.3 Aerosol	10
1.2 Die Schichtung der Erdatmosphäre	17
1.2.1 Luftdruck	18
1.2.2 Lufttemperatur	20
1.2.3 Stabilität der atmosphärischen Schichtung	22
1.3 Dynamik der Grenzschicht und Turbulenz	25
1.4 Strahlungsbilanz	28
1.4.1 Klimarelevanz von Spurengasen und Aerosol	30
1.5 Luftchemie in der planetaren Grenzschicht	35
1.5.1 Das photochemische Ausbreitungsmodell CALGRID	39
1.5.1.1 Bestimmung meteorologischer Parameter mit CALMET	42
1.5.2 Wirkung von Luftverunreinigungen auf Menschen und Pflanzen	47
Kapitel 2 Laser-Fernerkundung	51
2.1 Streuung von Licht in der Atmosphäre	51
2.1.1 Streuung an Luftmolekülen	53
2.1.1.1 Der Rayleigh-Streuquerschnitt	54
2.1.1.2 Absorption	58
2.1.1.3 Raman-Streuung	65
2.1.2 Aerosol-Streuung	76
2.1.2.1 Mie-Theorie	78
2.1.2.2 Modell der Aerosol-Streuung	84
2.1.3 Lichttransmission durch die turbulente planetare Grenzschicht	91
2.2 Laser-Fernerkundungsmethoden	93
2.2.1 Numerischer Umgang mit Rückstreusignalen	94
2.2.2 Elastische Rückstreusignale	97
2.2.2.1 Aerosol	100
2.2.2.2 Depolarisation	103
2.2.2.3 Spurengase	104
2.2.3 Raman-Rückstreusignale	108
2.2.3.1 Aerosol	111
2.2.3.2 Spurengase	112
2.2.3.3 Temperatur	118
2.2.4 Das Doppler-Lidar	123
2.3 Berechnung sekundärer Größen	124
2.3.1 Die Mischungsschichthöhe	124
2.3.2 Die Sichtweite	125
2.3.3 Aerosol-Größenverteilung und Brechzahl	127

Kapitel 3 Die Messgeräte	129
3.1 Bestandteile eines Lidar	130
3.1.1 Der Laser	130
3.1.2 Sendeoptik	132
3.1.3 Empfangsoptik	136
3.1.3.1 Das Teleskop	136
3.1.4 Tageslichtfilter	142
3.1.4.1 Monochromator	143
3.1.4.2 Interferenzfilter	143
3.1.5 Detektoren und digitale Erfassung der Messdaten	144
3.1.6 Infrastruktur	148
3.2 Die Lidar-Station Charité	149
3.2.1 Das Aerosol-Lidar der Charité-Station	150
3.2.2 Spurengas-Lidar	154
3.2.2.1 Der abstimmbare Zwei-Wellenlängen-Festkörperlaser	155
3.2.2.2 Signalempfang und Erfassung	159
3.3 Das Kilohertz-Lidar	161
3.3.1 Vorteile und Grenzen hoher Pulswiederholraten	161
3.3.2 Das Raman-Aerosol-Ozon-Wasserdampf-Lidar	164
3.3.2.1 Laser und Drei-Wellenlängen-Sendeoptik	165
3.3.2.2 Multispektrale Empfangsoptik	167
3.3.2.3 Signalaufnahme	169
3.3.3 Das 1-kHz-Absorptions-Lidar	172
3.3.3.1 Der Ce:LiCaF-Ultraviolett-Festkörperlaser	172
3.4 Ergänzende und Vergleichs-Messungen	174
3.4.1 Fesselballonsystem	175
3.4.2 Flugzeugmessungen	177
3.4.3 In-Situ-Ozon- und Aerosol-Messungen der Charité-Station	181
3.4.4 Berliner Luftgüte-Messnetz	182
Kapitel 4 Die planetare Grenzschicht aus der Sicht des Lidar	185
4.1 Aerosol	185
4.2 Mischungsschichthöhe	195
4.3 Spurengase	199
4.4 Temperatur	211
Zusammenfassung	213
Verzeichnis verwendeter Symbole	221
Literaturverzeichnis	225
Danksagung	235
Lebenslauf	239
Veröffentlichungen	240