
Thomas Foken

Angewandte Meteorologie

Mikrometeorologische Methoden

Mit 113 Abbildungen und 90 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Symbolverzeichnis	XI
1 Allgemeine Grundlagen	1
1.1 Mikrometeorologie	1
1.2 Atmosphärische Maßstäbe	4
1.3 Atmosphärische Grenzschicht	6
1.4 Energiebilanz an der Erdoberfläche	8
1.4.1 Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche	11
1.4.2 Bodenwärmestrom und Bodenwärmespeicherung	14
1.4.3 Turbulente Austauschströme	18
1.5 Wasserbilanzgleichung	22
2 Grundgleichungen der atmosphärischen Turbulenz	25
2.1 Bewegungsgleichung	25
2.1.1 Navier-Stokes-Gleichung für mittlere Bewegung	25
2.1.2 Turbulente Bewegungsgleichung	26
2.1.3 Schließungsansätze	31
2.2 Gleichung der turbulenten kinetischen Energie	35
2.3 Fluss-Gradient-Ähnlichkeit	37
2.3.1 Profilgleichungen für neutrale Schichtung	37
2.3.2 Monin-Obukhov'sche Ähnlichkeitstheorie	42
2.3.3 Bowen-Verhältnis Ähnlichkeit	48
2.4 Fluss-Varianz-Ähnlichkeit	49
2.5 Turbulenzspektrum	53
3 Besonderheiten der bodennahen Turbulenz	61
3.1 Eigenschaften der Unterlage	61

3.1.1	Rauhigkeit	61
3.1.2	Verschiebungshöhe.....	67
3.1.3	Profile in Pflanzenbeständen	69
3.2	Interne Grenzschichten.....	71
3.2.1	Definition.....	71
3.2.2	Experimentelle Befunde	74
3.2.3	Thermische interne Grenzschicht	77
3.2.4	Das ‚Blending height‘ Konzept	78
3.2.5	Praktische Bedeutung interner Grenzschichten	79
3.3	Hindernisse.....	80
3.4	Footprint.....	83
3.4.1	Definition.....	83
3.4.2	Footprint-Modelle	84
3.4.3	Anwendung von Footprint-Modellen	85
3.5	Hohe Vegetation.....	86
3.5.1	Verhalten meteorologischer Größen im Wald	87
3.5.2	Counter-Gradient-Flüsse	88
3.5.3	Raue Unterschicht	90
3.5.4	Turbulente Maßstäbe über Wald	91
3.5.5	Verwirbelungsschicht Analogie	94
3.6	Bedingungen bei stabiler Schichtung	97
3.7	Schließung der Energiebilanz.....	99
4	Experimentelle Bestimmung des Energie- und Stoffaustausches.....	103
4.1	Eddy-Kovarianz-Methode	103
4.1.1	Messtechnische Grundlagen	104
4.1.2	Korrekturverfahren	107
4.1.3	Qualitätssicherung	113
4.1.4	Gesamteinschätzung	115
4.2	Profilmethode	116
4.2.1	Bulk-Verfahren.....	116
4.2.2	Bowen-Verhältnis-Methode	119
4.2.3	Modifizierte Bowen-Verhältnis-Methode	122
4.2.4	Weitere Parametrisierungsverfahren	124
4.2.5	Profilauswertung	126
4.2.6	Qualitätssicherung.....	128
4.2.7	Exponentialansätze	129
4.3	Fluss-Varianz-Beziehungen	131
4.4	Akkumulationsverfahren	132
4.4.1	Eddy-Akkumulations-Methode (EA)	132
4.4.2	Relaxed Eddy-Akkumulations Methode (REA).....	133
4.4.3	Disjunct Eddy-Kovarianz-Methode (DEC)	137
4.4.4	Boden Renewal-Methode	138
4.5	Flüsse chemischer Beimengungen.....	140
5	Modellierung des Energie- und Stoffaustausches.....	145

5.1	Energiebilanzverfahren.....	145
5.1.1	Bestimmung der potentiellen Verdunstung	146
5.1.2	Bestimmung der aktuellen Verdunstung.....	149
5.1.3	Bestimmung aus Routine-Wetterbeobachtungen.....	153
5.2	Hydrodynamische Mehrschichtenmodelle	154
5.3	Widerstandsansätze	157
5.4	Modellierung in großmaßstäblichen Modellen	161
5.5	Large Eddy Simulation	163
5.6	Flächenmittelung	165
5.6.1	Einfache Flächenmittelungsverfahren	166
5.6.2	Aufwendige Flächenmittelungsverfahren	167
5.6.3	Modellkopplung.....	169
6	Messtechnik	171
6.1	Datenerfassung	171
6.1.1	Prinzip der digitalen Datenerfassung.....	171
6.1.2	Signalabtastung.....	173
6.1.3	Übertragungsfunktionen	176
6.1.4	Trägheit eines Messsystems	177
6.2	Messung meteorologischer Elemente	180
6.2.1	Strahlungsmessungen	182
6.2.2	Windmessungen.....	185
6.2.3	Temperatur- und Feuchtemessungen	192
6.2.3	Niederschlagsmessungen.....	200
6.2.5	Sonstige Messtechniken	201
6.3	Qualitätssicherung	205
6.3.1	Qualitätskontrolle	207
6.3.2	Messgerätevergleiche	210
7	Mikroklimatologie.....	215
7.1	Klimatologische Maßstäbe	215
7.2	Kleinräumige Veränderlichkeit von Klimaelementen	217
7.3	Mikroklimatologisch relevante Zirkulationen	218
7.3.1	Land-Seewind-Zirkulation.....	218
7.3.2	Berg-Talwind-Zirkulation.....	218
7.4	Lokale Kaltluftabflüsse.....	220
7.5	Mikroklimatologische Messungen.....	222
8	Angewandte Meteorologie	223
8.1	Richtlinien im Bereich der Angewandten Meteorologie	223
8.2	Beispiele aus dem Bereich der Angewandten Meteorologie	225
8.2.1	Ausbreitung von Luftbeimengungen	225
8.2.2	Meteorologische Bedingungen der Windenergienutzung.....	228
8.2.3	Schallausbreitung in der Atmosphäre	229
8.2.4	Human-Biometeorologie	231
8.2.5	Klimabewertung im Planungsprozess.....	233

8.3 Perspektiven der Angewandten Meteorologie	234
Anhang	235
A1 Weiterführende Monografien.....	235
A2 Gebrauch der SI-Einheiten.....	236
A3 Konstanten und wichtige Parameter	237
A4 Ergänzende Gleichungen	239
Berechnung astronomischer Größen	239
Universelle Funktionen	240
A5 Übersicht zu genutzten Experimenten	244
A6 Glossar	244
A7 Deutsch–Englisches–Wörterverzeichnis.....	247
Literatur	255
Quellenverzeichnis	279
Sachwortverzeichnis.....	283