

Thomas Foken

Angewandte Meteorologie

Mikrometeorologische Methoden

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 112 Abbildungen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Symbolverzeichnis	XI
1 Allgemeine Grundlagen	1
1.1 Mikrometeorologie	1
1.2 Atmosphärische Maßstäbe	5
1.3 Atmosphärische Grenzschicht	7
1.4 Energiebilanz an der Erdoberfläche	9
1.4.1 Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche	12
1.4.2 Bodenwärmestrom und Bodenwärmespeicherung	16
1.4.3 Turbulente Austauschströme	19
1.5 Wasserbilanzgleichung	24
2 Grundgleichungen der atmosphärischen Turbulenz	27
2.1 Bewegungsgleichung	27
2.1.1 Navier-Stokes-Gleichung für mittlere Bewegung	27
2.1.2 Turbulente Bewegungsgleichung	28
2.1.3 Schließungsansätze	34
2.2 Gleichung der turbulenten kinetischen Energie	38
2.3 Fluss-Gradient-Ähnlichkeit	39
2.3.1 Profilgleichungen für neutrale Schichtung	39
2.3.2 Monin-Obukhov'sche Ähnlichkeitstheorie	45
2.3.3 Bowen-Verhältnis Ähnlichkeit	52
2.4 Fluss-Varianz-Ähnlichkeit	52
2.5 Turbulenzspektrum	55
3 Besonderheiten der bodennahen Turbulenz	63
3.1 Eigenschaften der Unterlage	63

3.1.1	Rauhigkeit	63
3.1.2	Verschiebungshöhe.....	69
3.1.3	Profile in Pflanzenbeständen	71
3.2	Interne Grenzschichten.....	73
3.2.1	Definition.....	73
3.2.2	Experimentelle Befunde	76
3.2.3	Thermische interne Grenzschicht	79
3.2.4	Das „Blending-height“-Konzept.....	80
3.2.5	Praktische Bedeutung interner Grenzschichten	81
3.3	Hindernisse.....	82
3.4	Footprint.....	84
3.4.1	Definition.....	84
3.4.2	Footprint-Modelle	85
3.4.3	Anwendung von Footprint-Modellen	87
3.5	Hohe Vegetation.....	90
3.5.1	Verhalten meteorologischer Größen im Wald	90
3.5.2	Flüsse gegen den Gradienten.....	92
3.5.3	Raue Unterschicht	93
3.5.4	Turbulente Strukturen in und über dem Wald	94
3.5.5	Verwirbelungsschicht Analogie	98
3.5.6	Kopplung zwischen Atmosphäre und Pflanzenbeständen	99
3.6	Bedingungen bei stabiler Schichtung	101
3.7	Schließung der Energiebilanz.....	104

4 Experimentelle Bestimmung des Energie- und Stoffaustausches..... 109

4.1	Eddy-Kovarianz-Methode	109
4.1.1	Messtechnische Grundlagen	110
4.1.2	Korrekturverfahren	113
4.1.3	Qualitätssicherung	122
4.1.4	Ergänzen von Datenlücken.....	125
4.1.5	Gesamteinschätzung	126
4.2	Profilmethode	127
4.2.1	Bulk-Verfahren.....	128
4.2.2	Bowen-Verhältnis-Methode	130
4.2.3	Modifizierte Bowen-Verhältnis-Methode	133
4.2.4	Weitere Parametrisierungsverfahren	135
4.2.5	Profilauswertung	137
4.2.6	Qualitätssicherung	140
4.2.7	Potenzansätze	141
4.3	Fluss-Varianz-Beziehungen	143
4.4	Akkumulationsverfahren.....	145
4.4.1	Eddy-Akkumulations-Methode (EA)	145
4.4.2	Relaxed Eddy-Akkumulations Methode (REA)	145
4.4.3	Disjunct Eddy-Kovarianz-Methode (DEC)	149
4.4.4	Boden Renewal-Methode	150
4.5	Flüsse chemischer Beimengungen.....	152

5	Modellierung des Energie- und Stoffaustausches.....	157
5.1	Energiebilanzverfahren.....	157
5.1.1	Bestimmung der potenziellen Verdunstung.....	158
5.1.2	Bestimmung der aktuellen Verdunstung.....	162
5.1.3	Bestimmung aus Routine-Wetterbeobachtungen.....	167
5.2	Hydrodynamische Mehrschichtenmodelle	168
5.3	Widerstandsansätze	171
5.4	Modellierung für Wasserflächen	175
5.5	Modellierung in großmaßstäblichen Modellen.....	176
5.6	Large Eddy-Simulation.....	179
5.7	Flächenmittelung.....	180
5.7.1	Einfache Flächenmittlungsverfahren	181
5.7.2	Aufwändige Flächenmittlungsverfahren.....	183
5.7.3	Modellkopplung.....	185
6	Messtechnik	187
6.1	Datenerfassung	187
6.1.1	Prinzip der digitalen Datenerfassung.....	187
6.1.2	Signalabtastung.....	189
6.1.3	Übertragungsfunktionen	192
6.1.4	Trägheit eines Messsystems	193
6.2	Messung meteorologischer Elemente	196
6.2.1	Strahlungsmessungen	199
6.2.2	Windmessungen.....	202
6.2.3	Temperatur- und Feuchtemessungen	209
6.2.4	Niederschlagsmessungen.....	217
6.2.5	Indirekte Messverfahren	218
6.2.6	Sonstige Messtechniken	221
6.3	Qualitätssicherung	226
6.3.1	Qualitätskontrolle	228
6.3.2	Messgerätevergleiche	229
7	Mikroklimatologie.....	233
7.1	Klimatologische Maßstäbe	233
7.2	Kleinräumige Veränderlichkeit von Klimaelementen	235
7.3	Mikroklimatologisch relevante Zirkulationen	236
7.3.1	Land-Seewind-Zirkulation.....	236
7.3.2	Berg-Talwind-Zirkulation.....	236
7.4	Lokale Kaltluftabflüsse.....	238
7.5	Mikroklimatologische Messungen.....	240
8	Angewandte Meteorologie	243
8.1	Richtlinien im Bereich der Angewandten Meteorologie	243
8.2	Beispiele aus dem Bereich der Angewandten Meteorologie	245
8.2.1	Ausbreitung von Luftbeimengungen	245
8.2.2	Meteorologische Bedingungen der Windenergienutzung.....	248

8.2.3	Schallausbreitung in der Atmosphäre.....	249
8.2.4	Human-Biometeorologie	251
8.2.5	Klimabewertung im Planungsprozess.....	254
8.3	Perspektiven der Angewandten Meteorologie.....	254
Anhang		257
A1	Weiterführende Monografien.....	257
A2	Gebrauch der SI-Einheiten.....	258
A3	Konstanten und wichtige Parameter	259
A4	Ergänzende Gleichungen	261
	Berechnung astronomischer Größen	261
	Universelle Funktionen	263
	Integrale Turbulenzcharakteristiken in der Bodenschicht	267
A5	Übersicht zu Experimenten.....	268
A6	Meteorologische Messstationen.....	270
A7	Glossar	271
A8	Deutsch–Englisches–Wörterverzeichnis.....	274
Literatur		283
Quellenverzeichnis		315
Sachwortverzeichnis		319