

Inhalt

Vorwort	11	
1 Was bedeutet Satellitenmeteorologie?	14	<i>Peter Köpke</i>
1.1 Motivation für satellitengestützte Fernerkundung	14	
1.2 Sprache und Namen	20	
1.3 Grundlagen	22	
1.3.1 Vorteile der Satellitenmeteorologie	22	
1.3.2 Probleme der Satellitenmeteorologie	24	
1.3.3 Kalibration und Validation	28	
1.4 Beispiele meteorologischer Fernerkundung.	29	
1.4.1 Information aus einem Kanal	29	
1.4.2 Information aus der Kombination mehrerer Messungen	34	
1.5 Vom gemessenen Signal zur gesuchten Information	36	
2 Licht und andere elektromagnetische Strahlung.	42	<i>Peter Köpke</i>
2.1 Grundlagen	42	
2.1.1 Farbe, Wellenlänge und Frequenz: Eigenschaften der Strahlung	42	
2.1.2 Emission, Absorption und Streuung	48	
2.1.3 Strahlen und andere Strahlungsgrößen	49	
2.2 Die Gesetze von Planck und Kollegen	57	
2.2.1 Plancksches Strahlungsgesetz	57	
2.2.2 Die Wellenlänge maximaler Strahlung und das Rayleigh-Jeans-Gesetz	61	
2.2.3 Stefan-Boltzmann-Gesetz	62	
2.2.4 Wie gehören Emission und Reflexion zusammen?	63	
2.3 Woher kommt die Strahlung, die bei der Satellitenmeteorologie genutzt wird?	65	
2.3.1 Strahlung von der Sonne	66	
2.3.2 Strahlung von der Erde	68	
2.3.3 Strahlung von Lasern und Mikrowellensendern	69	

Peter Köpke	3	Was passiert mit der Strahlung bis zum Signal am Satelliten?	73
	3.1	Extinktionsgesetz	73
	3.1.1	Extinktionskoeffizient und Transmission	73
	3.1.2	Absorptions- und Streukoeffizient	75
	3.2	Strahlungstransportgleichung	77
	3.2.1	Strahlung mit Schwächung und Verstärkung	77
	3.2.2	Was trägt alles zum Signal am Satelliten bei?	81
	3.2.3	Lösung der Strahlungstransportgleichung	82
	3.3	Streuung und Teilcheneigenschaften	83
	3.3.1	Teilchengröße und Wellenlänge	83
	3.3.2	Streutheorien	85
	3.3.3	Streuungsfunktion	88
	3.4	Was passiert in der Atmosphäre und am Boden?	89
	3.4.1	Eigenschaften im solaren Spektralbereich	90
	3.4.2	Strahlungstransport im solaren Spektralbereich	92
	3.4.3	Eigenschaften im terrestrischen Spektralbereich	93
	3.4.4	Strahlungstransport im terrestrischen Spektralbereich	95
	3.4.5	Eigenschaften im Mikrowellenbereich	96
	3.4.6	Strahlungstransport im Mikrowellenbereich	98
Peter Köpke	4	Wie fliegt ein Satellit? Wie wird ein Signal gemessen und genutzt?	101
	4.1	Umlaufbahnen: Orbits	101
	4.1.1	Zur Physik, die alles bestimmt	101
	4.1.2	Geostationäre Satelliten	104
	4.1.3	Polarumlaufende Satelliten	106
	4.2	Wie blickt ein Sensor? Beobachtungsgeometrien	109
	4.2.1	Nadirsondierung	110
	4.2.2	Okkultation und Horizontsondierung	114
	4.3	Radiometereigenschaften	116
	4.3.1	Aufbau	116
	4.3.2	Am Detektor verfügbare Energie	118
	4.4	Wie wird das Signal genutzt?	120
	4.4.1	Kombination unterschiedlicher Information	120
	4.4.2	Vegetationsindex und Ozeanfarbe	121
	4.4.3	Vertikalprofil mittels spektraler Messungen	124
	4.4.4	Vertikalinformation mittels Laufzeit	126
	4.4.5	Doppler-Effekt	127
	4.4.6	Winkel, Polarisierung und Abstand	128
	4.4.7	Mischungsregel	129
Kurt P. Günther	5	Temperatur	132
	5.1	Einleitung	132
	5.2	Methoden	133
	5.2.1	Grundsätzliches	133

5.2.2	Bodentemperatur	134
5.2.3	Landoberflächentemperatur LST	136
5.2.4	Meeresoberflächentemperatur SST	138
5.2.5	Validation	140
5.2.6	Lufttemperatur	142
5.3	Anwendung	143
5.3.1	Landoberflächentemperatur.	145
5.3.2	Meeresoberflächentemperatur	148
5.3.3	Weitere Anwendungen	150

6	Wolken	155
6.1	Die Bedeutung der Wolken	156
6.1.1	Der Einfluss der Wolken auf Strahlungsbilanz und Klima	156
6.1.2	Die Doppelrolle der Wolken in der Fernerkundung.	156
6.2	Methodik der Fernerkundung von Wolken	157
6.2.1	Die physikalischen Eigenschaften von Wolken	158
6.2.2	Systematik der makro- und mikrophysikalischen Wolkenparameter	162
6.2.3	Qualitative Wolkenerkennung: Die Identifikation von Wolken in Satellitendaten	163
6.2.4	Quantitative Ableitung makrophysikalischer Wolkenparameter	169
6.2.5	Quantitative Ableitung mikrophysikalischer Wolkenparameter	170
6.2.6	Methodenübersicht zur Wolkenanalyse aus Satellitendaten.	173
6.2.7	Validation der Wolkenfernerkundung.	177
6.3	Anwendungsbeispiele	180
6.3.1	Zeitreihen von Wolkenparametern und Klimatologien aus Satellitendaten	182
6.3.2	Wolkenfernerkundung für Wetter und Klima.	185
6.3.3	Beispiel einer Wolkenanalyse aus GOME2-Daten.	188
6.3.4	Beispiel für die Wolkenerkennung in Daten von Landnutzungssatelliten	189

Gerhard Gesell

7	Niederschlag	192
7.1	Einleitung	192
7.2	Methodik	194
7.2.1	Strahlungstransportmodellierung	196
7.2.2	Sichtbar/Infrarot.	197
7.2.3	Mikrowellen	200
7.2.4	Kombinierte Methoden	203
7.2.5	Validation	205
7.3	Einige Ergebnisse	207

Peter Bauer

<i>Oliver Reitebuch</i>	8	Wind	212
	8.1	Das Windfeld in der Atmosphäre	212
	8.2	Methodik	214
	8.2.1	Bewegung von Wolken und Wasserdampfstrukturen	214
	8.2.2	Rauigkeit der Ozeanoberfläche	219
	8.2.3	Doppler-Verfahren für Windprofile	221
	8.3	Anwendungen	225
	8.3.1	Wettervorhersage und Hurrikans	225
	8.3.2	Klimatologie hoher Windgeschwindigkeiten im Nordatlantik	226
	8.3.3	Windklimatologien als Basis für die Nutzung der Windenergie	228
<i>Thomas Hoizer-Popp und Matthias Wiegner</i>	9	Aerosol	231
	9.1	Einleitung	231
	9.2	Passive Methoden zur Aerosolfernerkundung	233
	9.2.1	Grundlagen	233
	9.2.2	Gängige Algorithmen	238
	9.2.3	Validation	240
	9.3	Aktive Methoden zur Aerosolfernerkundung	241
	9.3.1	Grundlagen	241
	9.3.2	Missionen und Ergebnisse	244
	9.4	Anwendungen	246
	9.4.1	Räumliche und zeitliche Variation der AOD	246
	9.4.2	Komponenten des Aerosols	251
	9.4.3	Feinstaub	253
	9.4.4	Aerosol als Störgröße	254
<i>Herbert Fischer</i>	10	Spurengase	257
	10.1	Einführung	257
	10.2	Methoden	259
	10.2.1	Die Messaufgabe	259
	10.2.2	Die Messgeometrie	260
	10.2.3	Das Spektrum in der Atmosphäre und dessen Nutzung	262
	10.3	Satellitenmissionen mit Spurengassondierungen	270
	10.4	Ergebnisse	271
	10.4.1	Ergebnisse zur Luftverschmutzung	271
	10.4.2	Ergebnisse zur Klimaforschung	275
	10.4.3	Ergebnisse zur stratosphärischen Ozonforschung	277
	10.4.4	Sonstige Forschungsgebiete	279
	10.5	Genauigkeit und Validation der Satellitenmessungen	280
<i>Wolfgang Dierking und Peter Lemke</i>	11	Eis und Schnee	283
	11.1	Einleitung	283
	11.2	Technologien und Methoden	286
	11.2.1	Optische und thermische Sensoren	286

11.2.2	Mikrowellen-Radiometer	287
11.2.3	Beispiel zur Datenauswertung: Meereiskonzentration . .	288
11.2.4	Laseraltimeter	291
11.2.5	Radaraltimeter	292
11.2.6	Beispiel zur Datenauswertung: Meereisdicke	294
11.2.7	Scatterometer	295
11.2.8	Abbildendes Radar (RAR und SAR).	295
11.2.9	Interferometrie als spezielles Auswerteverfahren für SAR-Daten	299
11.2.10	SAR-Interferometrisches Radaraltimeter	301
11.3	Beispiele zu Anwendungen und Ergebnissen	302
11.3.1	Ausdehnung schneebedeckter Gebiete	302
11.3.2	Albedomessungen	303
11.3.3	Meereisausdehnung und -konzentration	304
11.3.4	Meereisdrift	306
11.3.5	Meereisdicke	307
11.3.6	Meereisklassifizierung	308
11.3.7	Topographie der Eisschilde und Fließbewegung der Ausflussgletscher	309
11.3.8	Schmelzgebiete auf den Eisschilden	312
11.3.9	Schneeakkumulation auf den Eisschilden	312
11.3.10	Schelfeis- und Gletscherabbrüche	313
12	Strahlung	317
12.1	Einleitung	317
12.2	Erfassung der Strahlungskomponenten am Oberrand der Atmosphäre	318
12.2.1	Grundlagen	318
12.2.2	Methodik	319
12.2.3	Anisotropie-Korrektur, Kalibration und Satelliten-Missionen	320
12.3	Solare Einstrahlung am Erdboden	323
12.3.1	Methodik	323
12.3.2	LUT-Verfahren	325
12.3.3	Heliosat-Verfahren	326
12.3.4	Validation	332
12.4	Thermische Einstrahlung an der Erdoberfläche	335
12.4.1	Methodik	335
12.4.2	Das Verfahren von Gupta	336
12.5	Anwendungen und Diskussion	337
12.5.1	Strahlungshaushalt der Erde	337
12.5.2	Solare Einstrahlung am Erdboden	339
12.5.3	Validation von modellbasierten Strahlungs- Klimamodellen	341
12.5.4	EUMETSAT's CM SAF	341

*Richard Müller und
Rainer Hollmann*

<i>Petra Demmler und Sabine Hensold</i>	13	Meteorologische Satelliten und Sensoren	344
	13.1	Meteorologische Satelliten	344
	13.2	Chronik meteorologischer Satelliten	345
	13.2.1	Geostationäre Satelliten	346
	13.2.2	Satelliten auf niedriger Flugbahn	347
	13.2.3	Forschungssatelliten	348
	13.3	Gegenwärtige Satelliten	349
	13.3.1	Geostationäre Satelliten	349
	13.3.2	Satelliten auf niedriger Flugbahn	352
	13.3.3	Forschungssatelliten	354
	13.4	Instrumente	359
	13.4.1	Typen	359
	13.4.2	Eingesetzte Instrumente	360
	13.5	Zukünftige meteorologische Satelliten und Sensoren	365
		Tabellen zum Kapitel 13	370
		Literaturverzeichnis	387
		Zitierte Literatur	387
		Weiterführende Literatur	394
		Fernerkundung	394
		Strahlung und Strahlungseigenschaften	395
		Meteorologie und Klimatologie	395
		Webseiten	396
		Satellitenmeteorologie (Grundlagen)	396
		Satelliten und Sensoren, Organisationen und Institute	396
		Retrievalverfahren (inkl. Validation)	397
		Abgeleitete Produkte (Daten, Bilder, Zeitreihen etc.)	398
		Spezialthemen meteorologischer Fernerkundung	399
		Akronyme	401
		Register	407
		Beiträge zu diesem Buch leisteten	413