

# Inhalt

Vorwort . . . . .	11	
<b>1 Was bedeutet Satellitenmeteorologie? . . . . .</b>	<b>14</b>	<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	
<b>2 Licht und andere elektromagnetische Strahlung . . . . .</b>	<b>42</b>	<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	<b>Was passiert mit der Strahlung bis zum Signal am Satelliten?</b>	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	Streufunktion	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	<b>Wie fliegt ein Satellit? Wie wird ein Signal gemessen und genutzt?</b>	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, Polarisation und Abstand	128
	4.4.7	Mischungsregel	129
Kurt P. Günther	5	<b>Temperatur</b>	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	
<b>6</b>	<b>Wolken . . . . .</b>	<b>155</b>	<i>Gerhard Gesell</i>
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	
<b>7</b>	<b>Niederschlag . . . . .</b>	<b>192</b>	<i>Peter Bauer</i>
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	

<i>Oliver Reitebuch</i>	<b>8</b>	<b>Wind</b> . . . . .	<b>212</b>
	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>	<b>9</b>	<b>Aerosol</b> . . . . .	<b>231</b>
	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>	<b>10</b>	<b>Spurengase</b> . . . . .	<b>257</b>
	10.1	Einführung . . . . .	257
	10.2	Methoden . . . . .	259
	10.2.1	Die Messaufgabe . . . . .	259
	10.2.2	Die Messeigenschaften . . . . .	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>	<b>11</b>	<b>Eis und Schnee</b> . . . . .	<b>283</b>
	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	Schneekakkumulation auf den Eisschilden . . . . .	312
11.3.10	Schelfeis- und Gletscherabbrüche . . . . .	313
<b>12</b>	<b>Strahlung . . . . .</b>	<b>317</b>
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

---

<i>Petra Demmler und Sabine Hensold</i>	<b>13</b>	<b>Meteorologische Satelliten und Sensoren</b>	<b>344</b>
	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
		<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>387</b>
		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
		<b>Akronyme</b>	<b>401</b>
		<b>Register</b>	<b>407</b>
		<b>Beiträge zu diesem Buch leisteten</b>	<b>413</b>