

Clemens Simmer

**Satellitenfernerkundung
hydrologischer Parameter
der Atmosphäre mit Mikrowellen**

Verlag Dr. Kovač

CI 19

DK 551.501.795
551.507.362.2
551.508.7

Clemens Simmer

Satellitenfernerkundung hydrologischer Parameter der Atmosphäre mit Mikrowellen

303/3815

INSTITUT
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE
UNIVERSITÄT HANNOVER
HERRENHAUSER STR. 2 - 30419 HANNOVER

Verlag Dr. Kovač

INHALTSVERZEICHNIS

Symbolverzeichnis	V
Zusammenfassung	VII
1 Einleitung	1
1.1 Die Verteilung der hydrologischen Parameter der Atmosphäre	4
1.2 Mikrowellenradiometrie	4
2 Relevante atmosphärische Parameter	6
2.1 Allgemeine Eigenschaften	6
2.2 Atmosphärischer Wasserdampf	7
2.2.1 Maßzahlen	7
2.2.2 Vertikalverteilung	8
2.2.3 Horizontalverteilung	20
2.3 Wolken	22
2.3.1 Wolkenwassergehalt und seine Modellierung	22
2.3.2 Wolkenbildungsmechanismen nach Rogers und Yau, 1989	26
2.3.3 Wolkentropfenspektren	27
2.4 Niederschlag	31
2.4.1 Bildungsmechanismen	32
2.4.2 Literaturübersicht	33
2.4.3 Diskussion	35
2.5 Verdunstung und der Fluß latenter Wärme	38
2.5.1 Klimatologische Bedeutung	39
2.5.2 Verdunstungsmessung über dem Ozean	39
2.5.3 Bulk-Ansatz	40

3 Theorie des Strahlungstransportes im Mikrowellenbereich	41
3.1 Einleitung	41
3.2 Die Strahlungstransportgleichung	44
3.2.1 Allgemeine Formulierung	44
3.2.2 Formale Lösung	46
3.2.3 Externe Strahlungsquelle	48
3.2.4 Untere Randbedingung	48
3.2.5 Atmosphärische Gase	63
3.2.6 Atmosphärisches Flüssigwasser und Eis	69
3.3 Strahlungstransport ohne Streuung	82
3.3.1 Allgemeine Lösung	82
3.3.2 Spiegelnde Oberflächen	83
3.3.3 Diffuse Reflexion	84
3.3.4 Schichtintegrale	87
3.4 Strahlungstransport mit Streuung	89
3.5 Strahlungstransportmodell	91
4 Geophysikalische Parameter im Mikrowellensignal	93
4.1 Wichtungsfunktionen	93
4.2 Sensitivitätsuntersuchungen	100
4.2.1 Gesamtwasserdampfgehalt	101
4.2.2 Wasserdampfprofil	106
4.2.3 Lufttemperatur	115
4.2.4 Luftdruck	117
4.2.5 Oberflächentemperatur, Salzgehalt und Wind	118
4.2.6 Wolkenwasser	121
4.2.7 Niederschlag	127
4.3 EOF-Analyse	143
4.3.1 Informationsgehalt von Fernerkundungsdaten	144
4.3.2 EOF-Analyse von Modellstrahlungstemperaturen	145
4.3.3 Einfluß von Meßfehlern	155
4.3.4 Optimale Meßfrequenzen	155
4.3.5 Vergleich zwischen Modelldaten und Messungen	156
4.3.6 Zusammenfassung und Diskussion	160

5 Mikrowellenmessungen von Satelliten	163
5.1 Übersicht	163
5.2 Technische Probleme	165
6 Fernerkundungsverfahren im Mikrowellenbereich	173
6.1 Definition und Abgrenzung	173
6.2 Problemstellung und allgemeine Lösungsverfahren	173
6.2.1 Physikalische Verfahren	174
6.2.2 Statistische Verfahren	176
6.2.3 EOF-Analyse in der Fernerkundung	176
6.2.4 Diskussion	178
6.3 Verfahren für hydrologische Parameter	178
6.3.1 Gesamtwasserdampfgehalt	179
6.3.2 Wasserdampfprofil	186
6.3.3 Flüssigwassergehalt von Wolken	189
6.3.4 Niederschlag	191
6.3.5 Oberflächenaher Wind	198
7 Auswertung von SMMR-Daten	199
7.1 Gesamtwasserdampfgehaltinformation in SMMR-Messungen	199
7.2 Vertikalprofile des Wasserdampfes mit der EOF-Methode	205
7.2.1 EOF-Methode nach Wagner et al. (1990)	205
7.2.2 Diskussion	208
7.3 Ozeanische Verdunstung	211
7.3.1 Verfahren nach Crewell et al. (1991)	212
7.3.2 Weitere Ergebnisse	214

8 SSM/I-Auswertungen	217
8.1 Kalibration von SSM/I-Messungen während ICE'89	217
8.2 Algorithmenentwicklung für SSM/I-Messungen	225
8.2.1 Radiosondendaten	225
8.2.2 Zur Algorithmenentwicklung	227
8.2.3 Atmosphärischer Wasserdampf	228
8.2.4 Wolkenwasser	235
8.2.5 Oberflächennaher Wind	238
8.2.6 Ozeanoberflächentemperatur	239
8.2.7 Lufttemperatur an der Ozeanoberfläche	241
8.2.8 Zusammenfassung und Diskussion	241
8.3 Hydrologische Felder aus SSM/I-Messungen	244
8.4 Diskussion	255
9 Schlußbetrachtung	257
Anhang	
A: EOF-Analyse	261
B: Mittlere Strahlungstemperatur der Atmosphäre	268
C: Dielektrizitätskonstante von Wasser und Eis	271
D: Näherungen zur Strahlungstemperatur am Oberrand der Atmosphäre	273
E: Facettenmodell	275
F: Formeln und Rekursionen für Mie-Rechnungen	277
G: Das Strahlungstransportmodell	280
H: Invertierungsverfahren	283
I: Systematische Fehler nichtlinearer Algorithmen	285
J: Wichtungsfunktionen	287
K: Maßzahlen des Wasserdampfes	290
L: Gamma- und modifizierte Gammaverteilung	291
M: Fernerkundungsalgorithmen für W und LWP	293
N: Technische Abkürzungen	295
Literaturverzeichnis	297