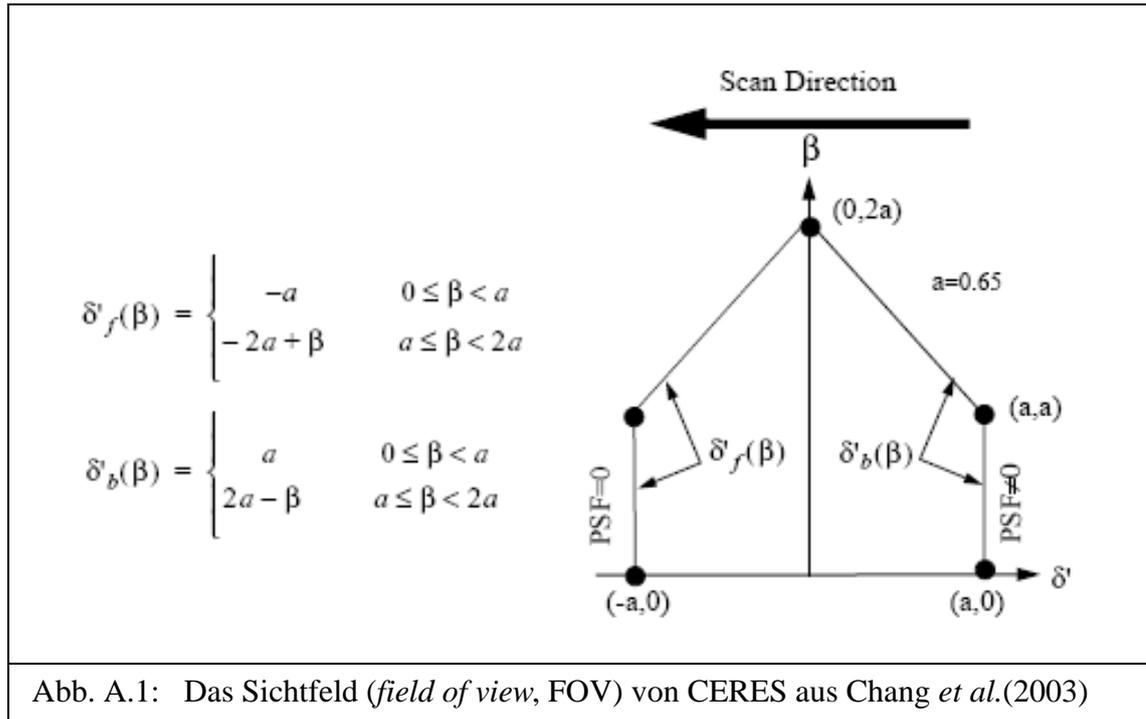


## Anhang A: CERES Point Spread Function

Eine vollständige Diskussion des analytischen Modells der PSF und ihrer Entwicklung ist vom Smith (1994) gegeben. Hier wird speziell für das FM-1 Instrument die benutzte Bessel-Funktion beschrieben. In Abbildung A.1 ist ein halbes Sichtfeld dargestellt. Das Sichtfeld ist ein rhombusähnliches Hexagon.



$\delta'$  ist der *along-scan* Winkel und  $\beta$  der *cross-scan* Winkel. Mit den Definitionen aus der Abbildung ist die CERES PSF wie folgt geschrieben.

$$P(\delta', \beta) = \begin{cases} 0 & |\beta| > 2a \\ 0 & \delta' < \delta'_f(\beta) \\ F[\delta' - \delta'_f(\beta)] & \delta'_f(\beta) \leq \delta' < \delta'_b(\beta) \\ F[\delta' - \delta'_f(\beta)] - F[\delta' - \delta'_b(\beta)] & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

$$F = 1 - (1 + a_1 + a_2)e^{-\eta t} \\ + e^{\mu_1 t} [a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t)] \\ + e^{\mu_2 t} [a_2 \cos(\omega_2 t) + b_2 \sin(\omega_2 t)]$$

Die numerischen Daten basierend auf der Bodenkalibration:  
die Frequenz für die Bessel-Funktion  $f_c = 10.5263$  Hz

die Dektor Zeitkonstante für FM-1  $\tau = 0.00825$

Scan rate  $\dot{\alpha} = 63.0$  deg/s

Die komplexe Wurzel der Bessel-Funktion ist gegeben mit:

$$\begin{aligned} v_1 &= -2,89621 + 0,86723i = \mu_1 + i\omega_1 \\ v_2 &= -2,10379 + 2,65742i = \mu_2 + i\omega_2 \end{aligned}$$

der Rest der Bessel-Funktion ist:

$$\begin{aligned} u_1 &= 1,66339 - 8,39628i \\ u_2 &= -1,66339 + 2,24408i \end{aligned}$$

$$\text{mit } t = \frac{2\pi f_c}{\dot{\alpha}} (\delta' - \delta'_{f,b}(\beta)), \quad \eta = \frac{1}{2\pi f_c \tau}$$

Die Komplexen-Variablen sind  $p_{1,2}; v_{1,2}; u_{1,2}$  und definieren  $a_{1,2}$  und  $b_{1,2}$ :

$$p = \frac{u}{\eta + v}, \quad a = 2\eta \operatorname{Re}\left(\frac{p}{v}\right), \quad b = -2\eta \operatorname{Im}\left(\frac{p}{v}\right).$$

## Anhang B: Bodenwetterkarte

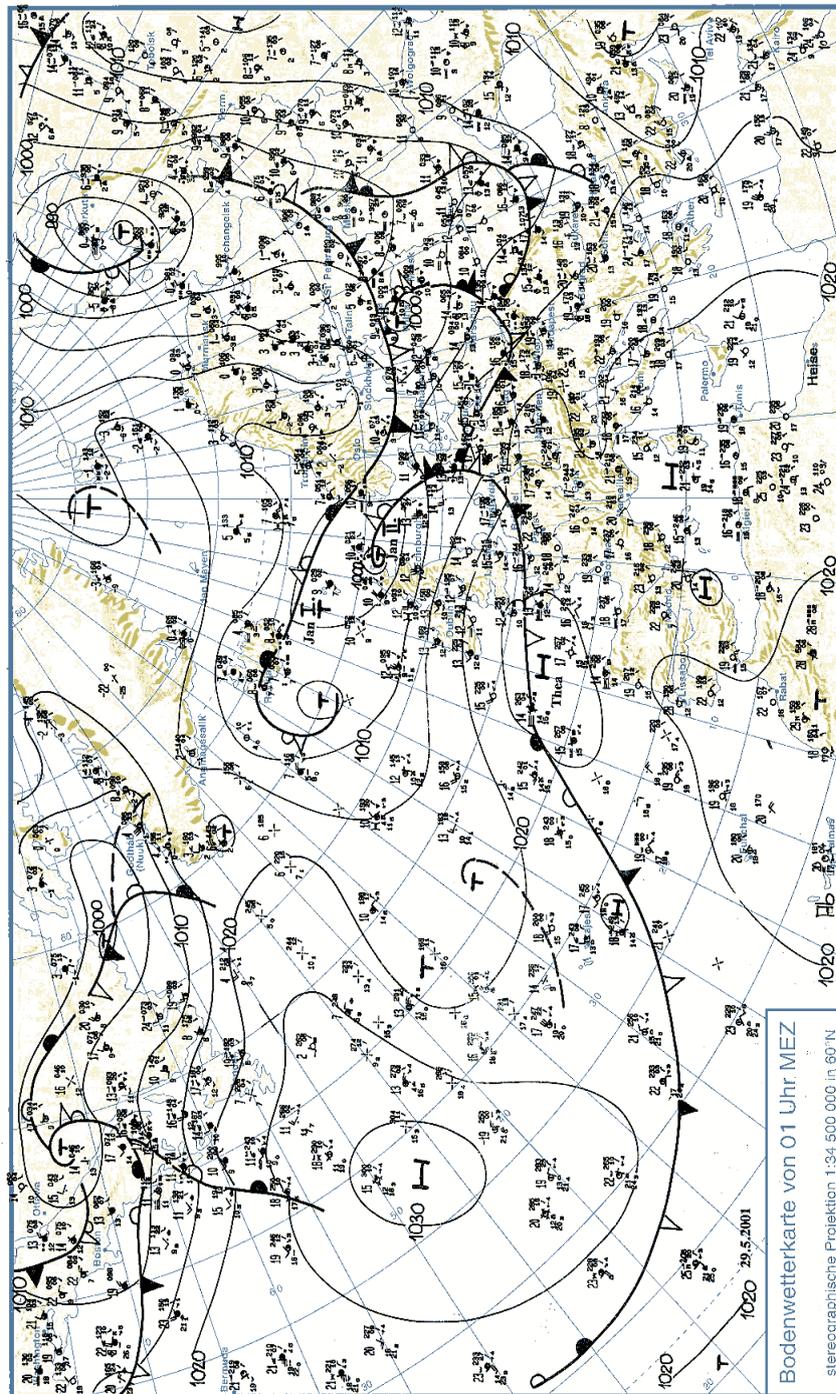


Abb. B.1: Bodenwetterkarte vom 29. Mai 2001 (aus Berliner Wetterkarte)

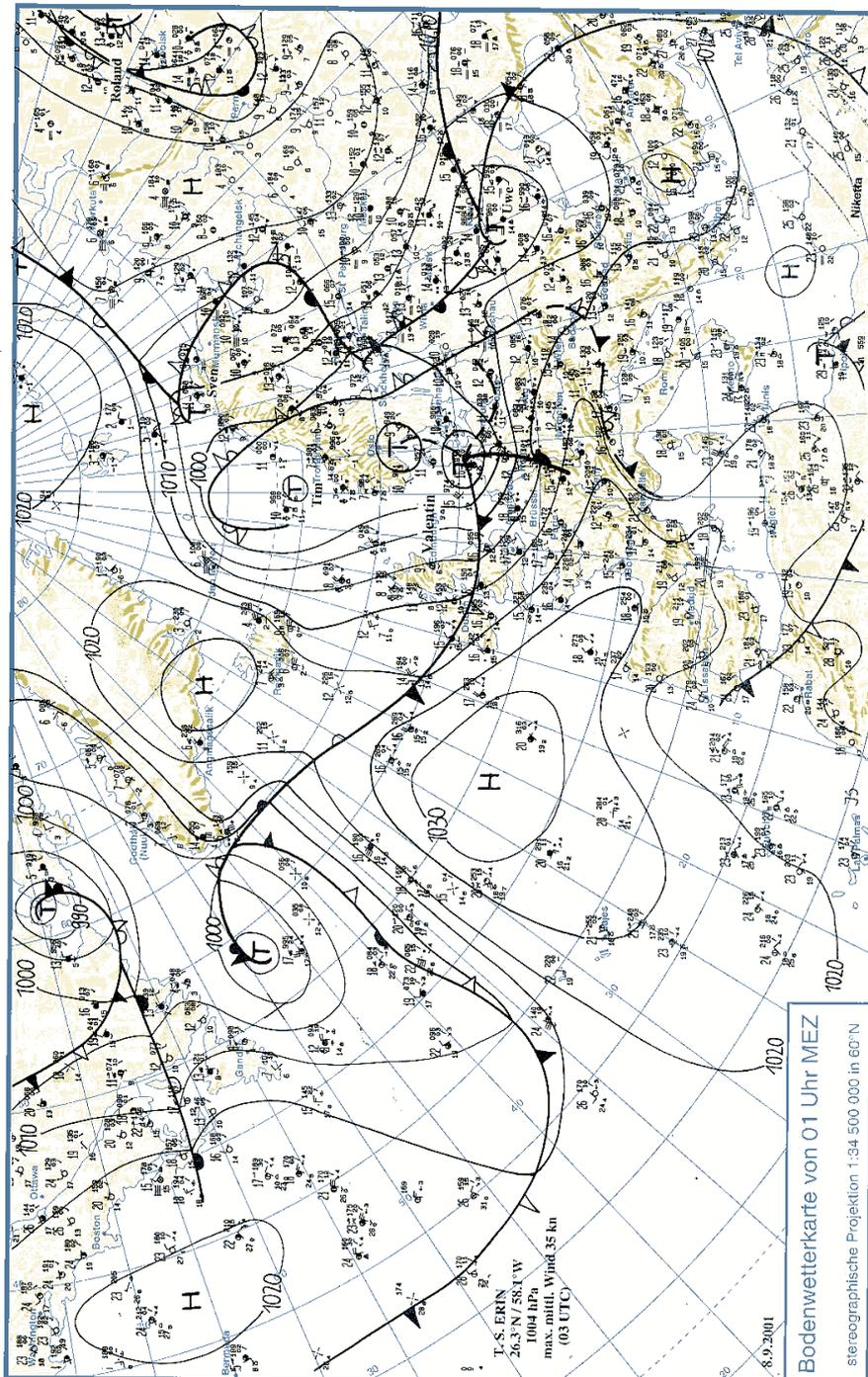


Abb. B.2: Bodenwetterkarte vom 8. September 2001 (aus Berliner Wetterkarte)

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Strahlungsbilanz: Abbildung nach Lozan (1998) . . . . .	3
Abb. 1.2:	Änderung des Strahlungsantriebs der Wolken am Oberrand der Atmosphäre (CRF, Cloud Radiativ Forcing) verbunden mit einer CO <sub>2</sub> -Verdopplung. aus dem IPCC (2001). . . . .	5
Abb. 2.1:	Solare Einstrahlung am Oberrand der Atmosphäre und der aufwärtsgerichteter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre aus Strahlungstransportsimulationen, in der nur Gasabsorption berücksichtigt wurde. . . . .	11
Abb. 2.2:	Inhärente optische Eigenschaften. Links: Spektrale Extinktionskoeffizienten normiert auf 550 nm. Rechts: Spektrale Einfachstreuung . . . . .	15
Abb. 2.3:	Streuungsfunktion bei 550nm. gestrichelte Linie: kontinentales Aerosol; Strichpunkt Linie: Eiswolke; durchgezogene Linie: Wasserwolke . . . . .	16
Abb. 2.4:	Solare Einstrahlung am Oberrand der Atmosphäre und die Globalstrahlung an der Erdoberfläche für eine bewölkte und wolkenfreie Atmosphäre . . . . .	17
Abb. 2.5:	Spektrale Reflektivität von Oberflächen aus ASTER-Datenbank (1999) . . . . .	18
Abb. 2.6:	Spektrale Positionen der in dieser Arbeit verwendeten MODIS-Kanäle (graue Bänder). . . . .	20
Abb. 3.1:	Beobachtungsgeometrie des Sonne-Erde-Satellit Systems . . . . .	22
Abb. 3.2:	Berechneter rückgestreuter Strahlungsfluss [W/m <sup>2</sup> ] bei einem Sonnenzenitwinkel von 35°. obere Reihe: für Wasserwolken; untere Reihe: für Eiswolken; linke Spalte abhängig von der Bodenreflexion und der optischen Dicke; rechte Spalte: abhängig vom Effektivradius oder Durchmesser der Eiskristalle und der optischen Dicke . . . . .	24
Abb. 3.3:	Ablaufdiagramm des Simulations- und Inversionsverfahrens . . . . .	25
Abb. 3.4:	Einteilung des Sonnenspektrums in 200 schmale Bänder (graue Linien). rote Kurve: Verteilungskurve der absorbierten und gestreuten Strahlung . . . . .	26
Abb. 3.5:	Schema der benutzten variablen Größen für die Strahlungstransportsimulation . . . . .	27
Abb. 3.6:	Struktur des verwendeten künstlichen Neuronalen Netzes zur Ableitung des Strahlungsflusses (F) . . . . .	31
Abb. 3.7:	Relativer Fehler der Gesamtvarianz zur Stichprobenvarianz . . . . .	32

---

Abb. 3.8: Genauigkeit der Inversion dargestellt durch RMSE (links) und den BIAS (rechts) für die Ableitung der Albedo [%] als eine Funktion des Beobachtungswinkels und des Sonnenzenitwinkels . . . . .	34
Abb. 3.9: 850 hPa Wetterkarte vom 13.09.2001 (aus Berliner Wetterkarte) . . . . .	36
Abb. 3.10: MODIS Szene vom 13.09.2001. Links: Farbkomposit-Bild mit den MODIS Messungen der Strahldichten aus Band 1, Band 3 und Band 4; Rechts: Abgeleiteter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre . . . . .	37
Abb. 3.11: FUB-Wolkenmaske (links) und MOD35-Wolkenmaske (rechts) für den 07.02.2002 . . . . .	38
Abb. 4.1: Schematische Darstellung der cross-track und along-track Abtastung von CERES (ATBD) . . . . .	40
Abb. 4.2: Schema eines Blickfeldes von CERES mit angedeuteten MODIS Pixeln . . . . .	42
Abb. 4.3: PSF-CERES 2-dim Bessel-Funktion (Smith, 1994) . . . . .	42
Abb. 4.4: Schema für die Einteilung des CERES-Sichtbereichs in ein - Gitter . . . . .	43
Abb. 4.5: Überflug von MODIS am 10.02.2002. Links: abgeleiteter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre, Rechts: mit der CERES PSF gewichteter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre. . . . .	44
Abb. 4.6: Überflug MODIS am 10.02.2002 Links: mit der CERES PSF gewichtete MOD35 Wolkenmaske, Rechts: der gewichtete Strahlungsfluss für Wolkenmaske gleich eins. . . . .	44
Abb. 4.7: Links: Streudiagramm des CERES ES-8 Produktes und dem aus MODIS-Messungen abgeleiteten Strahlungsfluss, Anzahl der Bildelemente 23528; Rechts: Histogramm . . . . .	46
Abb. 4.8: Links: Streudiagramm des CERES SSF-2A Produktes und dem aus MODIS-Messungen abgeleiteten Strahlungsfluss, Anzahl der Bildelemente 11805; Rechts: Histogramm . . . . .	47
Abb. 4.9: Links: Streudiagramm des CERES-SSF2B und dem aus MODIS-Messungen abgeleiteten Strahlungsfluss, Anzahl der Bildelemente 14062; Rechts: Histogramm . . . . .	47
Abb. 5.1: Links: Aus den Rückwärtstrajektorien vom 29.05.2001 um 12 UTC im Gebiet 22° bis 9° westlicher Länge und 28° bis 33° nördlicher Breite abgeleiteter Trajectory Aerosol Load Parameter von Wapler (2003); Rechts: Aus MODIS-Messungen vom 29.05.2001 . . . . .	53
Abb. 5.2: Flüssigwasserpfad (links) und aufwärtsgerichteter Strahlungsfluss (rechts) für den 29.05.2001 aus MODIS-Messungen . . . . .	53

- Abb. 5.3: Vergleich zwischen der Wolkentropfenkonzentration (rote Linie, normiert mit dem größten auftretenden Wert), dem Flüssigwasserpfad (blaue Linie, normiert mit dem größten auftretenden Wert) und dem aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss (schwarze Linie, normiert mit der Solarkonstante) aus MODIS-Daten entlang des 30. Breitengrades ..... 54
- Abb. 5.4: Strahlungsfluss gegenüber der Wolkentropfenkonzentration (links), der geometrische Dicke (mitte) und dem Flüssigwasserpfad (rechts) aus MODIS-Daten vom 29.05.2001; Rote Punkte: kontinental geprägte Gebiet von 20,5° bis 19,5° nördliche Breite; Schwarze Punkte: maritim geprägte Gebiet von 18° bis 12° nördlicher Breite ..... 54
- Abb. 5.5: Links: Rückwärtstrajektorien für diverse Endpunkte entlang des 38. Breitengrades für den 08.09.2001 um 12:00 UTC in einer Höhe von 1000 m von Wapler (2003); Rechts: Aus MODIS-Daten am 08.09.2001 abgeleitete Wolkentropfenkonzentration ..... 56
- Abb. 5.7: Links: Effektivradius aus MODIS-L2 Daten; Rechts: Vergleich zwischen der Wolkentropfenkonzentration aus MODIS-Messungen (schwarze Kreuze) entlang des 38. Breitengrad und dem TALP (rote Linie) für den 08.09.2001 von Wapler (2003) ..... 57
- Abb. 5.6: Links: Flüssigwasserpfad; Rechts: aufwärtsgerichteter Strahlungsfluss für den 08.09.2001 aus MODIS-Messungen ..... 57
- Abb. 5.9: Strahlungsfluss gegenüber der Wolkentropfenkonzentration (links), der geometrischen Dicke (mitte) und dem Effektivradius (rechts, MODIS-L2 Daten) für den 08.09.2001 aus MODIS-Daten; Rote Punkte: kontinental geprägtes Gebiet von 17,5° bis 16,5° nördliche Breite; Schwarze Punkte: maritim geprägtes Gebiet von 18,5° bis 17,5° nördlicher Breite ..... 58
- Abb. 5.8: Vergleich zwischen der Wolkentropfenkonzentration (rote Linie, normiert mit dem größten auftretenden Wert), dem Flüssigwasserpfad (blaue Linie, normiert mit dem größten auftretenden Wert), dem aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss (schwarze Linie, normiert mit der Solarkonstante) und dem Effektivradius (grüne Linie, normiert mit dem größten auftretenden Wert) aus MODIS-Daten entlang des 38. Breitengrades ..... 58
- Abb. 6.1: Schema von BALTIMOS von Lorenz (2006) ..... 62
- Abb. 6.2: Überflug von MODIS am 2. Mai 2002 um 10:00 UT (links) und Modellergebnisse (rechts): Reflektierter Strahlungsfluss am Oberrand der Atmosphäre über den Wolken ..... 64
- Abb. 6.3: Differenz des Jahresmittels des reflektierten Strahlungsflusses über den Wolken ..... 64

- Abb. 6.4: Jahresgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Ober-  
rand der Atmosphäre über den Wolken (SWF). Kreuz: MODIS, Dreieck:  
BALTIMOS-R (ungekoppelt), Viereck: BALTIMOS (gekoppelt), a) für alle  
Wolken, b) ohne dünne Wolken .....65
- Abb. 6.5: Tagesgang des kurzwelligen aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses am Ober-  
rand der Atmosphäre über den Wolken (SWF). Kreuz: MODIS, Dreieck:  
BALTIMOS-R (ungekoppelt), Viereck: BALTIMOS (gekoppelt) .....66
- Abb. 7.1: MODIS Szene vom 13.09.2001. Links: abwärtsgerichteter Strahlungsfluss  
am Boden; Rechts: Differenz zwischen dem abwärtsgerichteten Strahlungs-  
fluss am Boden und dem aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss am Oberrand  
der Atmosphäre. ....70
- Abb. A.1: Das Sichtfeld (field of view, FOV) von CERES aus Chang et al.(2003) ..73
- Abb. B.1: Bodenwetterkarte vom 29. Mai 2001 (aus Berliner Wetterkarte) .....75
- Abb. B.2: Bodenwetterkarte vom 8. September 2001 (aus Berliner Wetterkarte) ...76

## Tabellenverzeichnis

Tab.2.1:	Die in dieser Arbeit verwendeten Aerosolmodelle: 1) Koepke et al. (1997), 2) Aerosoldatenbank (OPAC, 1998), 3) Report des World Climate Project (WCP, 1986).....	14
Tab.2.2:	Die 10 ausgewählten Kanäle des MODIS Spektrometers .....	20
Tab.3.1:	Wolkenarten und die zugelassene Variation der wichtigsten Parameter ..	28
Tab.3.2:	Reziprokes Signal-Rausch-Verhältnis in Prozent für die benutzten MODIS Kanäle (Xiong, 2006) und der berechnete Fehler. ....	35
Tab.3.3:	Vergleich der Wolkenmasken für den MODIS-Überflug am 07.02.2002 .	38
Tab.4.1:	Fehlerabschätzung für den augenblicklichen solaren Strahlungsfluss ....	45
Tab.4.2:	Ergebnisse der Validierung des entwickelten Verfahrens zur Bestimmung des aufwärtsgerichteten Strahlungsflusses mit MODIS-Messungen anhand von CERES-Messungen. ....	48
Tab.5.1:	Differenz der räumlichen Mittelwerte aus dem maritim geprägten Gebiet (mar) und dem kontinental geprägten Gebiet (kon) für den aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss (F) und die Wolkentropfenkonzentration (CDNC) bei konstantem Flüssigwasserpfad (LWP) und konstanter geometrischer Dicke (H). ....	55
Tab.5.2:	Differenz der räumlichen Mittelwerte aus der maritim geprägten Luftmasse (mar) und der kontinental geprägten Luftmasse (kon) für den aufwärtsgerichteten Strahlungsfluss (F) und die Wolkentropfenkonzentration (CDNC) bei konstantem Flüssigwasserpfad (LWP) und konstanter geometrischer Dicke (H). ....	59
Tab.6.1:	Statistische Werte zwischen MODIS und BALTIMOS für die zeitliche Mittelung (1) und räumliche Mittelung (2). a) für alle Wolken, b) ohne dünne Wolken. ....	67



## Verzeichnis der benutzten Symbole und Abkürzungen

SYMBOL	EINHEIT	BEZEICHNUNG
s	m	Wegstrecke
F	W m <sup>-2</sup>	Strahlenfluss
J		Strahlungsquelle
$L_b$	W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm	Breitband-Strahldichte
$L_n$	W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm	Schmalband-Strahldichte
P	hPa	Druck
r	μm	Radius
$W_{in}$		Gewichtsmatrix des Neuronalen Netzes zwischen Eingabe und verborgener Schicht
$W_{out}$		Gewichtsmatrix des Neuronalen Netzes zwischen verborgener Schicht und Ausgabeschicht
$\vec{x}$		Eingabevektor
$\vec{y}$		Ausgabevektor
θ	deg	Beobachtungszenitwinkel
θ <sub>0</sub>	deg	Sonnenzenitwinkel
λ	nm	Wellenlänge
ρ		Dichte
τ		optische Dicke
σ		Aktivierungsfunktion
σ <sub>e</sub>	m <sup>-1</sup>	Massenextinktionskoeffizient
σ <sub>R</sub>	m <sup>-1</sup>	Streukoeffizient
φ	deg	Azimutwinkeldifferenz

---

<b>ABKÜRZUNG</b>	<b>BEDEUTUNG</b>
ADM	Anisotropiefunktion
AQUA	polarumlaufender NASA-Satellit
BALTIMOS	Regionalmodell
BIAS	mittlere Abweichung
CERES	<i>Cloud and the Earth's Radiant Energy System</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ERBE	<i>Earth Radiation Budget Experiment</i>
FUB	Freie Universität Berlin
FOV	<i>Field of View</i>
HYSPLIT	<i>Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory</i>
IGBP	<i>International Geosphere Biosphere Programm</i>
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISCCP	International Cloud Climatology Project
kon	kontinentale Luftmasse
LWP	Flüssigwasserpfad
mar	maritime Luftmasse
MLE	<i>Maximum Likelihood Estimation</i>
MLP	<i>MultiLayer-Perzepton</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MOMO	<i>Matrix-Operator Modell</i>
NASA	<i>National Aeronautic and Space Administration (USA)</i>
NN	Neuronales Netz
OPAC	<i>Optical Properties of Aerosols and Clouds</i>
PCA	Hauptachsentransformation
POLDER	<i>POLarization and Directionality of the Earth Reflectance</i>
PSF	<i>Point Spread Function</i>
RAP	<i>Rotating Azimuth Plane</i>

---

<b>ABKÜRZUNG</b>	<b>BEDEUTUNG</b>
RGB	Rot Grün Blau
RE	relativer Fehler
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
ScaRaB	<i>Scanner for Radiation Budget</i>
SNR	Signal-Rausch Verhältnis
SSF	<i>Single Scanner Footprint</i>
TALP	<i>Trajectory Aerosol Load Parameter</i>
TERRA	polarumlaufender NASA-Satellit
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UTC	<i>Universal Time Convention</i>
WMO	<i>World Meteorology Organization</i>

