

**Fernerkundung von Wasserinhaltsstoffen in Küstengewässern  
mit MERIS unter Anwendung expliziter und impliziter  
Atmosphärenkorrekturverfahren**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften

am Fachbereich Geowissenschaften der

Freien Universität Berlin

von

Thomas Schröder

aus

Glückstadt

Berlin, Dezember 2004

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Fischer

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Hermann Kaufmann

Tag der Disputation: 2. März 2005

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Verzeichnis der benutzten Symbole und Abkürzungen</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Satellitengestützte Fernerkundung von Wasserinhaltsstoffen . . . . .	4
1.2 Stand der Forschung . . . . .	6
1.3 Ziel der Arbeit . . . . .	12
<b>2 Optische Eigenschaften der Küstengewässer</b>	<b>14</b>
2.1 Inhärente optische Eigenschaften . . . . .	16
2.1.1 Reines Wasser und reines Meerwasser . . . . .	17
2.1.2 Phytoplankton und Detritus . . . . .	19
2.1.3 Anorganischer Schwebstoff . . . . .	23
2.1.4 Gelbstoff . . . . .	24
2.2 Scheinbare optische Eigenschaften . . . . .	26
2.3 Weitere Einflüsse auf die Spektralcharakteristik des Wasserkörpers . . . . .	27
2.3.1 Schaumbedeckung . . . . .	27
2.3.2 Direkte Sonnenreflexion an der Wasseroberfläche . . . . .	28
2.3.3 Reflexion am Untergrund der Gewässer . . . . .	29
2.3.4 Inelastische Streuung . . . . .	29
2.3.5 Spezielle Algenblüten . . . . .	31

<b>3</b>	<b>Optische Eigenschaften der Atmosphäre</b>	<b>32</b>
3.1	Rayleigh-Streuung . . . . .	33
3.2	Streuung und Absorption an Aerosolen . . . . .	34
3.2.1	Verwendete Aerosolmodelle . . . . .	34
3.2.2	Ergebnisse der Mie-Rechnungen . . . . .	37
3.3	Absorption durch Ozon . . . . .	39
3.4	Absorption durch andere Gase . . . . .	39
3.5	Polarisation . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Entwicklung der Inversionsverfahren</b>	<b>41</b>
4.1	Der Sensor MERIS . . . . .	41
4.2	Strahlungstransportsimulationen . . . . .	43
4.2.1	Parameterisierung der Atmosphäre . . . . .	44
4.2.2	Parameterisierung des Wasserkörpers . . . . .	45
4.2.3	Simulierte Reflektanzen in Abhängigkeit variierender Inhaltsstoffe	47
4.3	Inversion durch künstliche neuronale Netze . . . . .	49
4.3.1	Datenaufbereitung und Training . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Validierung der Inversionsverfahren</b>	<b>56</b>
5.1	Validierung der Reflektanzen am Unterrand der Atmosphäre . . . . .	57
5.1.1	Vergleich mit <i>in situ</i> Messungen . . . . .	58
5.1.2	Vergleich mit MERIS-Level2-Produkten . . . . .	61
5.2	Validierung der aerosoloptischen Tiefe . . . . .	65
5.2.1	Vergleich mit <i>in situ</i> Messungen . . . . .	65
5.3	Räumliche Strukturen der Reflektanzen und aerosoloptischen Tiefen . . .	66
5.4	Validierung der Wasserinhaltsstoffe . . . . .	68
5.4.1	Vergleich mit <i>in situ</i> Messungen . . . . .	70
5.4.2	Vergleich mit MERIS-Level2-Produkten . . . . .	74
5.4.3	Fehlerquellen der Konzentrationsbestimmung . . . . .	78
5.5	Räumliche Strukturen der Wasserinhaltsstoffe . . . . .	81
<b>6</b>	<b>Sensitivität und Grenzen der Verfahren</b>	<b>84</b>
6.1	Generalisierungsfähigkeit für untrainierte Daten . . . . .	84
6.2	Stabilität gegenüber verrauschten Eingangsdaten . . . . .	87
6.3	Grenzen der direkten Inversion . . . . .	91
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>94</b>

<b>Danksagung</b>	<b>99</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>100</b>
<b>A Tabellen der Validierungsergebnisse / Verwendete MERIS-Daten</b>	<b>110</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Übersicht der Verfahrensschritte zur Entwicklung der in dieser Arbeit vorgestellten Inversionen. Ein Verzeichnis der verwendeten Symbole findet sich am Anfang der Arbeit. . . . .	13
2.1	Die in dieser Arbeit verwendeten inhärenten optischen Eigenschaften von Wasser. Links: Spektraler Absorptionskoeffizient $a_w$ von reinem Wasser bis 709 nm nach <i>Pope und Fry</i> (1997) und ab 709 nm nach <i>Hale und Querry</i> (1973), spektraler Streukoeffizient $b_w$ von Meerwasser (Salzgehalt 35-39 ‰) nach <i>Morel</i> (1974) sowie die resultierende Einzelstreuabede $\omega_0$ . Rechts: Volumenstreuungsfunktion von reinem Wasser für vier Wellenlängen nach <i>Morel</i> (1974). . . . .	19
2.2	Spektrale Absorptionskoeffizienten von Phytoplankton (links) sowie spektrale spezifische Absorptionskoeffizienten von Phytoplankton (rechts) für jeweils drei Chlorophyll-a-Konzentrationen nach <i>Bricaud et al.</i> (1995). . . . .	21
2.3	Links: Spektraler Verlauf der in dieser Arbeit verwendeten Absorptionskoeffizienten von Phytoplankton inklusive Detritus für fünf Chlorophyllkonzentrationen [ $\text{mg m}^{-3}$ ] nach <i>Bricaud et al.</i> (1998). Rechts: Spektraler Verlauf der Streukoeffizienten für die gleichen Chlorophyllkonzentrationen nach einem Modell von <i>Gordon und Morel</i> (1983). . . . .	22
2.4	Spektraler Verlauf der Absorptionskoeffizienten von Gelbstoff für drei Gelbstoff-Absorptionskoeffizienten bei einer Referenzwellenlänge von 443 nm nach einem in dieser Arbeit verwendeten Modell von <i>Babin</i> (2000). . . . .	25

3.1	Mit Hilfe der Mie-Theorie berechnete inhärente optische Eigenschaften der verwendeten Aerosolmodelle. Oben links: Streufunktionen der maritimen Modelle (MAR70, MAR99) für 70% und 99% relativer Feuchte im Vergleich zur Rayleigh-Streufunktion. Oben rechts: Streufunktionen des kontinentalen (CONTI) und des stratosphärischen Modells (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). Unten links: Spektrale Extinktionskoeffizienten normiert auf 900 nm. Unten rechts: Spektrale Einzelstreueralbedo. Beide unteren Abbildungen jeweils für die Modelle H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CONTI sowie MAR70 und MAR99. . . . .	38
3.2	Direkt an der Meeresoberfläche berechnetes Transmissionsspektrum für eine <i>mid-latitude summer</i> Atmosphäre mit den spektralen Positionen der in dieser Arbeit verwendeten MERIS-Kanäle in gelb. Separat in rot dargestellt ist die Transmission des Ozons für einen Säulengehalt von 344 Dobson-Einheiten. . . . .	39
4.1	Der in der Montage befindliche Satellit ENVISAT im April 2000 mit einer Illustration der Instrumentierung (Photo: ESA). . . . .	42
4.2	Darstellung der auf einer logarithmischen Skala gleichverteilt und stochastisch ausgewählten Konzentrationen in den Grenzen der Gleichungen 4.1, 4.2 und 4.3. . . . .	46
4.3	Spektrale Änderungen simulierter MERIS-Reflektanzen am Oberrand der Atmosphäre (linke Spalte) und direkt an der Meeresoberfläche (rechte Spalte) in Abhängigkeit jeweils eines variablen Wasserinhaltsstoffes. Die gestrichelten Graphen entsprechen der Reflektanz für ein Gewässer ohne Wasserinhaltsstoffe mit einem Salzgehalt von 35-38 ‰. Zu beachten ist die unterschiedliche Skalierung der Abbildungen der Reflektanzen am Ober- und Unterrand der Atmosphäre für die variierten Inhaltsstoffe Chlorophyll-a und Gelbstoff. . . . .	48
4.4	Spektrale Änderungen simulierter MERIS-Reflektanzen am Oberrand der Atmosphäre für zwei Küstengewässer mit unterschiedlichen Konzentrationstripeln in Abhängigkeit variierender aerosoloptischer Tiefen für das maritime Aerosolmodell 1 der Tabelle 4.1. . . . .	49
4.5	Struktur eines Mehrschicht-Perzeptrons mit einer verborgenen Zwischenschicht. Die Gewichtsmatrizen W1 und W2 werden in der Lernphase modifiziert. . . . .	50

4.6	Simulierte Strahldichten am Oberrand der Atmosphäre als Funktion des Beobachterzenits $\theta_o$ für zwei Sonnenstände $\theta_s$ bei einer Azimutdifferenz von $\Delta\phi = 0^\circ$ . Die in schwarz dargestellten unkorrigierten Werte zeigen den direkten Sonnenreflex der aufwärtsgerichteten Strahldichte am Oberrand der Atmosphäre über einer rauhen Wasseroberfläche mit einer Windgeschwindigkeit von $1,5 \text{ ms}^{-1}$ . Die rot dargestellten Verläufe zeigen die Strahldichten nach Anwendung der Glint-Korrektur. . . . .	52
4.7	Rechts: Winkelverläufe der Azimutdifferenzen und Beobachterwinkel für eine Zeile einer MERIS-Aufnahme senkrecht zur Flugrichtung. Links: Transformierte Winkelverläufe der linken Abbildung zur Umgehung der Unstetigkeiten der pixelbasierten Inversionsverfahren. . . . .	53
5.1	Das SIMBADA-Radiometer (Photo: LOA). . . . .	58
5.2	RGB-Darstellung der verwendeten MERIS-Daten im Bereich der Nordsee mit den Stationen der <i>in situ</i> Messungen zur Bestimmung der Reflektanzen mit dem SIMBADA-Radiometer. . . . .	59
5.3	Ergebnisse der Validierung des entwickelten Atmosphärenkorrekturverfahrens. Links: Vergleich von <i>in situ</i> an 4 Tagen (s. Tab. 5.1) von der GKSS direkt an der Wasseroberfläche gemessenen Reflektanzen (SIMBADA) mit den durch das Verfahren dieser Arbeit (ANN) abgeleiteten Reflektanzen als Streudiagramm. Rechts: Spektraler Fehlerverlauf von RMSE und MAPE. . . . .	60
5.4	Vergleich der MERIS-Level2-Reflektanzen am Unterrand der Atmosphäre (links) sowie der, durch das Atmosphärenkorrekturverfahren dieser Arbeit abgeleiteten Reflektanzen (rechts), mit den <i>in situ</i> gemessenen Reflektanzen des SIMBADA-Radiometers für den 15.07. und 06.08.2003. . . . .	63
5.5	Durch Vergleich mit <i>in situ</i> Messungen ermittelte spektrale Fehlerverläufe von RMSE und MAPE der am Unterrand der Atmosphäre abgeleiteten Reflektanzen des MERIS-Level2-Produktes (blau) und des Atmosphärenkorrekturverfahrens dieser Arbeit (rot) für den 15.07. und 06.08.2003. . . . .	63
5.6	Mit dem hier entwickelten Atmosphärenkorrekturverfahren abgeleitete spektrale Reflektanzen (rot) im Vergleich zum MERIS-Level2-Produkt (blau) und den <i>in situ</i> Messungen der GKSS (schwarz). Die Nummerierung der Stationen [S01-S15] entspricht den in Abb. 5.2 dargestellten Meßorten. . . . .	64

5.7	Links: Ergebnis der Validierung der durch die Atmosphärenkorrektur dieser Arbeit abgeleiteten aerosoloptischen Tiefen, im Vergleich zu den <i>in situ</i> Messungen der AERONET-Station auf der Insel Helgoland für einen Datensatz von 12 Tagen als Streudiagramm. Rechts: Absolute und relative spektrale Fehlerverläufe der abgeleiteten aerosoloptischen Tiefen. . . . .	66
5.8	RGB-Darstellung einer MERIS-Aufnahme vom 15.07.2003 über Bereichen der Nord- und Ostsee mit Beispielen der durch das Atmosphärenkorrekturverfahren abgeleiteten räumlichen Strukturen der aerosoloptischen Tiefe bei 440 nm und der <i>Remote Sensing Reflectances</i> für die Wellenlängen 442 und 560 nm. . . . .	67
5.9	Geographische Lage der <i>in situ</i> Meßorte zur Validierung der Wasserinhaltsstoffe. (Nordsee ♠, Ostsee ♡), Mittelmeer ♣, Golf von Cádiz ◇). . . . .	69
5.10	Beste Ergebnisse der Validierung der 1S-Verfahren (links) und der 2S-Verfahren (rechts) anhand von <i>in situ</i> gemessenen Konzentrationen von Chlorophyll-a (oben), Gesamtschwebstoff (mitte) und Gelbstoffabsorption (unten). Dargestellt sind die Mediane und einfachen Standardabweichungen für jeweils 3x3 Pixel große Datenbereiche an den Orten <i>in situ</i> Messungen. . . . .	72
5.11	Relative Fehler der besten 1S-Verfahren (schwarz) und 2S-Verfahren (rot) im Vergleich zu den <i>in situ</i> Messungen von Chlorophyll-a (oben), Gesamtschwebstoff (mitte) und Gelbstoff (unten) jeweils nach Konzentrationen geordnet mit Angaben der Stationsnamen (vgl. Abb. 5.9). . . . .	73
5.12	Vergleich der 1S- und 2S-Verfahren (schwarz, rot) mit den entsprechenden MERIS-Level2-Produkten (blau) und den <i>in situ</i> Messungen (gelb) für ausgewählte Stationen in 3 verschiedenen Datenqualitätsklassen Q1, Q2 und Q3, in Abhängigkeit der Level2-Flags (s. Text) sowie Darstellung der relativen Genauigkeit der 3 Methoden, bezogen auf die <i>in situ</i> Messungen. Zum Vergleich mit dem MERIS-Level2-Produkt sind die <i>in situ</i> Messungen des Gelbstoffs, inklusive der Absorption der nicht-chlorophyllhaltigen Partikel, in orange abgebildet. . . . .	77
5.13	Beispiele der durch das 2S-Verfahren für Bereiche der Nord- und Ostsee abgeleiteten Konzentrationsverteilung von Chlorophyll-a, Gesamtschwebstoff und Gelbstoffabsorption bei 443 nm für eine MERIS-Aufnahme vom 15.07.2003 (vgl. Abb. 5.8). Die Schnittlinien der RGB-Darstellung beziehen sich auf die Abbildung 5.14. . . . .	81

5.14	Mit den 1S- und 2S-Verfahren abgeleitete Konzentrationsverläufe für Chlorophyll-a, Gesamtschwebstoff und Gelbstoff sowie der aerosoloptischen Tiefe entlang zweier Schnittlinien, im Bereich der Nord- und Ostsee. (Verläufe: 1S=gestrichelt, 2S=durchgezogen). . . . .	83
6.1	Streudiagramme der durch die 2S-Verfahren abgeleiteten Konzentrationen von Chlorophyll-a (links), Gesamtschwebstoff (mitte) und Gelbstoff (rechts) aufgetragen gegen die simulierten Konzentrationen für 100 000 Eingabespektren der Trainingsdatensätze (obere Reihe) und der Testdatensätze (untere Reihe). . . . .	85
6.2	Wie Abb. 6.1 nur für das 1S-Verfahren. . . . .	85
6.3	Genauigkeit des 1S- und 2S-Verfahrens zur Bestimmung von Chlorophyll-a, Gesamtschwebstoff und Gelbstoff bezogen auf die nicht gelernten Testdatensätze mit jeweils 100 000 simulierten Spektren. . . . .	86
6.4	Fehlerentwicklung in der Konzentrationsbestimmung von Chlorophyll-a (oben), Gesamtschwebstoff (mitte) und Gelbstoff (unten) für unkorreliert und signalabhängig verrauschte Eingabespektren der Testdatensätze des 1S-Verfahrens (links) und des 2S-Verfahrens (rechts). . . . .	89
6.5	Fehlerentwicklung in der Konzentrationsbestimmung von Chlorophyll-a (oben), Gesamtschwebstoff (mitte) und Gelbstoff (unten) für korreliert und signalabhängig verrauschte Eingabespektren der Testdatensätze des 1S-Verfahrens (links) und des 2S-Verfahrens (rechts). . . . .	90
6.6	Genauigkeit des 1S-Verfahrens in Bezug auf unverrauschte Modelldaten für Chlorophyll-a, Gesamtschwebstoff und Gelbstoff in Abhängigkeit von der aerosoloptischen Tiefe (oben), dem Beobachterzenit- (mitte) und dem Sonnenzenitwinkel (unten). . . . .	92

# Tabellenverzeichnis

1.1	Zur Zeit in Betrieb befindliche passive satellitengestützte Sensoren zur Gewässerfernerkundung. Stand 07/2004, (IOCCG, 2004). . . . .	5
3.1	Die in dieser Arbeit verwendeten Aerosolmodelle mit einer Aufgliederung der einzelnen Aerosolkomponenten und deren prozentuale Anteile am Gesamtvolumen bzw. an der Teilchenanzahl. Aufgrund von Rundungsfehlern weicht die Summe der Gesamtteilchenzahl des kontinentalen Modells leicht von 100% ab. <sup>1)</sup> Shettle und Fenn (1979) <sup>2)</sup> WCP (1986)	35
3.2	Verwendete Aerosolkomponenten mit Angaben der Eingabeparameter für die Mie-Rechnungen zur Bestimmung der inhärenten optischen Eigenschaften der Aerosole. Die Angaben zum Real- und Imaginärteil des Brechungsindex beziehen sich auf eine Wellenlänge von 560 nm. . . . .	36
3.3	Einfluß der Gasabsorption durch Wasserdampf und Sauerstoff auf die Transmission einer <i>mid-latitude summer</i> Atmosphäre bei einem Sonnenzenit von 30° und einer Beobachtergeometrie in Nadirrichtung nach Santee <i>et al.</i> (2002). . . . .	40
4.1	Im Strahlungstransport verwendete Aerosolmodelle und ihre vertikale Verteilung und Variation der aerosoloptische Tiefe. Erläuterung im Text. . . .	44
4.2	In den Simulationen verwendete Konzentrationsbereiche der Wasserinhaltsstoffe. . . . .	45
4.3	In den Trainingsdatensätzen verwendetes signalabhängiges Rauschen. . .	54
5.1	Verwendeter Datensatz der <i>in situ</i> Messungen zur Validierung der Atmosphärenkorrektur und der Verfahren zur Bestimmung der Wasserinhaltsstoffe. (AERONET <sup>1)</sup> , GKSS <sup>2)</sup> , Informus GmbH <sup>3)</sup> , CICEM <sup>4)</sup> ) . . . . .	57
5.2	Spektralkanäle des SIMBADA-Radiometers. . . . .	58

5.3	Unterteilung der für einen Vergleich mit den MERIS-Level2-Produkten verwendeten Stationen in 3 Qualitätsklassen mit einer Angabe der Anzahl relevanter Level2-Flags für die jeweiligen 3x3 Pixel großen Untersuchungsgebiete (s. Text). . . . .	76
5.4	Angabe der mittleren absoluten prozentualen Fehler (MAPE) der Verfahren dieser Arbeit und der entsprechenden MERIS-Level2-Produkte im Vergleich zu <i>in situ</i> gemessenen Konzentrationen für eine Unterteilung der MERIS-Daten in 3 Qualitätsstufen (s. Text). Zusätzlich sind die absoluten prozentualen Fehler (APE) für die Station R tabelliert. . . . .	78
A.1	Zum Training der neuronalen Netze verwendete Rauschpegel und Transformationen der Eingabedaten. . . . .	110
A.2	Ergebnisse der Validierung der 8 neuronalen Netzwerke zur Atmosphärenkorrektur anhand von <i>in situ</i> Daten in Abhängigkeit der Neuronenzahl der Zwischenschicht (NZ) und der gewählten Rauschpegel (RP) - (vgl. Tab. A.1). . . . .	110
A.3	Ergebnisse der Validierung der Einschrittinversionen zur Bestimmung der Wasserinhaltsstoffe Chlorophyll-a (CHL), Gesamtschwebstoff (TSM) sowie Gelbstoffabsorption (YEL) anhand von <i>in situ</i> Daten für 24 neuronale Netzwerke in Abhängigkeit der Neuronenzahl der Zwischenschicht (NZ) und der gewählten Rauschpegel (RP) - (vgl. Tab. A.1). . . . .	111
A.4	Ergebnisse der Validierung der Zweischrittinversionen zur Bestimmung der Wasserinhaltsstoffe Chlorophyll-a (CHL), Gesamtschwebstoff (TSM) sowie Gelbstoffabsorption (YEL) anhand von <i>in situ</i> Daten für 24 neuronale Netzwerke in Abhängigkeit der Neuronenzahl der Zwischenschicht (NZ) und der gewählten Rauschpegel (RP) - (vgl. Tab. A.1). Die Ergebnisse basieren auf der Atmosphärenkorrektur mit dem Netzwerk ATM8 (vgl. Tab. A.2). . . . .	112
A.5	Die in dieser Arbeit verwendeten MERIS-Daten mit Angabe der Prozessorversion. . . . .	113

# Verzeichnis der benutzten Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
<i>CHL</i>	Chlorophyll-a	mg m <sup>-3</sup>
<i>L</i>	Strahldichte	Wm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm
<i>E</i>	Irradianz	Wm <sup>-2</sup>
<i>M<sub>O<sub>3</sub></sub></i>	Ozonsäulenmasse	cm
<i>P</i>	Bodendruck	hPa
<i>T</i>	Transmission	1
<i>TSM</i>	Gesamtschwebstoff (organisch + anorganisch)	g m <sup>-3</sup>
<i>R</i>	Reflektanz, Reflexionsvermögen	1
<i>RL</i>	Radiance Reflectance	1
<i>RS</i>	Remote Sensing Reflectance	sr <sup>-1</sup>
<i>W</i>	Windgeschwindigkeit	ms <sup>-1</sup>
<i>YEL</i>	Gelbstoffabsorption bei 443 nm	m <sup>-1</sup>
<i>m<sub>r</sub></i>	Realteil des komplexen Brechungsindex	1
<i>m<sub>i</sub></i>	Imaginärteil des komplexen Brechungsindex	1
<i>r<sub>i</sub></i>	Modalradius	μm
<i>z</i>	Höhe	m
<i>a<sub>det</sub></i>	Absorptionskoeffizient Detritus	m <sup>-1</sup>
<i>a<sub>O<sub>3</sub></sub></i>	Absorptionskoeffizient Ozon	m <sup>-1</sup>
<i>a<sub>p1</sub></i>	Absorptionskoeffizient Chlorophyll-a	m <sup>-1</sup>
<i>a<sub>p2</sub></i>	Absorptionskoeffizient anorganischer Schwebstoff	m <sup>-1</sup>
<i>a<sub>ph</sub><sup>*</sup></i>	Spezif. Absorptionskoeffizient Phytoplankton	m <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup>
<i>a<sub>w</sub></i>	Absorptionskoeffizient Seewasser	m <sup>-1</sup>
<i>a<sub>WAT</sub></i>	Gesamtabsorptionskoeffizient Küstengewässer	m <sup>-1</sup>

$a_y$	Absorptionskoeffizient Gelbstoff	$m^{-1}$
$\tilde{b}_b$	Rückstreuwahrscheinlichkeit	1
$b_b$	Rückstreuoeffizient	$m^{-1}$
$b_p$	Streukoeffizient Gesamtschwebstoff	$m^{-1}$
$b_w$	Streukoeffizient Seewasser	$m^{-1}$
$b_{WAT}$	Gesamtstreukoeffizient Küstengewässer	$m^{-1}$
$c$	Extinktionskoeffizient	$m^{-1}$
$x$	Geometrieparameter	1
$y$	Geometrieparameter	1
$z$	Vertikalkoordinate, Geometrieparameter	m, 1
$\Phi$	Strahlungsfluß	$W \mu m^{-1}$
$\Omega$	Raumöffnungswinkel	sr
$\beta$	Volumenstreuungsfunktion	$m^{-1} sr^{-1}$
$\tilde{\beta}$	Normierte Volumenstreuungsfunktion	$sr^{-1}$
$\Delta\phi$	Azimutdifferenz	deg
$\delta$	Depolarisationsfaktor	1
$\lambda$	Wellenlänge	nm, $\mu m$
$\sigma$	Standardabweichung	1
$\tau_a$	Aerosloptische Tiefe	1
$\tau_r$	Rayleigh-optische Tiefe	1
$\tau_{gas}$	Gasoptische Tiefe	1
$\tau_{O_3}$	Ozonoptische Tiefe	1
$\theta_o$	Beobachterzenit	deg
$\theta_s$	Sonnenzenit	deg
$\omega_0$	Einzelstrealbedo	1

Abkürzung	Bedeutung
1S	Einschrittinversion
2S	Zweitschrittinversion
AERONET	Aerosol Robotic Network
ANN	Künstliches neuronales Netz
APE	Absoluter prozentualer Fehler

ATBD	Algorithm Theoretical Basis Document
ATM	Atmosphäre
BOA	Unterrand der Atmosphäre
CCD	Charged Coupled Device
CICEM	Centro Experimental de Investigacion en Cultivos Marinos
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COASTLOOC	Coastal Surveillance Through Observation of Ocean Color
COCTS	Chinese Ocean Colour and Temperature Scanner
CONAE	Comisión Nacional de Actividades Espaciales
CONTI	Kontinentales Aerosolmodell
CNSA	Chinese National Space Administration
CZCS	Coastal Zone Color Scanner
DMS	Dimethylsulfid
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ESA	European Space Agency
ENVISAT	Environmental Research Satellite
FR	Full Resolution
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Schwefelsäure
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
GKSS	Deutsche Forschungseinrichtung
GPS	Global Positioning System
IOCCG	International Ocean Color Coordinating Group
ISRO	Indian Space Research Organisation
KARI	Korean Aerospace Research Institute
LOA	Laboratoire d'Optique Atmosphérique
MAPE	Mittlerer absoluter prozentualer Fehler
MAR70,99	Maritimes Aerosolmodell (rel. Feuchte 70%, 99%)
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MLP	Multi-layer Perceptron
MMRS	Multispectral Medium Resolution Scanner
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOS	Modularer Optischer Scanner
NASA	National Aeronautic and Space Administration
NIR	Naher infraroter Spektralbereich
NSPO	National Space Program Office

O <sub>2</sub>	Sauerstoff
O <sub>3</sub>	Ozon
OCM	Ocean Colour Monitor
OCTS	Ocean Colour and Temperature Scanner
OSMI	Ocean Scanning Multispectral Imager
PCA	Principal component analysis
PCD	Product Confidence Data
POLDER	Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances
PSU	Practical Salinity Units
REVAMP	Regional Validation of MERIS Chlorophyll products in North Sea coastal waters (EU-Projekt)
RGB	Rot-Grün-Blau
RMSE	Root mean square error
RR	Reduced Resolution
SAT	Satellit
SeaWiFS	Sea-viewing Wide Field of view Sensor
SIM	Simulation
SIMBADA	Optisches Radiometer
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TOA	Oberrand der Atmosphäre
WCP	World Climate Project