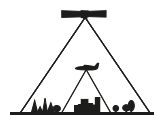




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

**Institut für Photogrammetrie
und Fernerkundung
Professur Fernerkundung**



Fernerkundung und angewandte Geoinformatik

**Herausgegeben von
Prof. Dr. habil. Elmar Csaplovics**

Band 5

RHOMBOS-VERLAG • BERLIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar



RHOMBOS-VERLAG
Kurfürstenstr. 17
D-10785 Berlin
www.rhombos.de
verlag@rhombos.de
VK-Nr. 65 859

© 2009 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder verwertet werden.

Druck: dbusiness.de GmbH, Berlin

Printed in Germany

ISBN 978-3-941216-08-2

**Vergleichende Untersuchungen der
Atmosphärenkorrekturprogramme
ATCOR und FLAASH auf der
Datengrundlage des
Satellitensystems IKONOS**

**Andreas Schmidt
Pierre Karrasch
Marco Neubert**

RHOMBOS-VERLAG • BERLIN

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung und Radiometrie	3
2.1 Die elektromagnetische Welle	3
2.2 Der Welle-Teilchen Dualismus	6
2.3 Einheiten der Radiometrie	6
2.3.1 Der Raumwinkel	6
2.3.2 Die physikalischen Einheiten der Radiometrie	7
2.4 Der schwarze Körper und die Strahlungsgesetze	8
3 Wechselwirkung von Strahlung und Materie	13
3.1 Absorption und Emission	13
3.1.1 Rotationsenergie	14
3.1.2 Vibrationsenergie	15
3.1.3 Elektronenenergieniveau	16
3.1.4 Linienverbreiterung	17
3.1.5 Kontinuierliche Absorption durch Photoionisation und Photodissoziation	19
3.1.6 Kontinuierliche Absorption durch Wasserdampf	19
3.1.7 Horizontale Sichtweite und Extinktionskoeffizient	19
3.2 Streuung	22
3.2.1 Geometrische Optik	24
3.2.2 Mie-Streuung	24
3.2.3 Rayleigh-Streuung	25
3.3 Die Sonne als Strahlungsquelle	29
3.4 Die Erdatmosphäre	30
3.5 Die Reflexion an Objekten der Erdoberfläche	34
4 Datengrundlagen	37
4.1 Das IKONOS-Satellitensystem	37
4.2 Die IKONOS-Daten	39
4.3 Kalibrierung	40
5 Atmosphärenkorrektur	43
5.1 Relative Korrekturmethode	44
5.2 Absolute Korrekturmethode	45
5.3 Die Software FLAASH	46
5.3.1 Der FLAASH-Algorithmus	46

5.3.2	Beschaffung des Wasserdampfgehaltes	46
5.3.3	Generierung der Wolkenmaske	47
5.3.4	Korrektur von Nachbarschaftseffekten	47
5.3.5	Beschaffung des Aerosolgehaltes	47
5.3.6	Berechnung der Reflektanz pro Pixel	48
5.3.7	Aufbau und Bedienoberfläche	49
5.3.8	Spezifikation der Eingangsdaten	50
5.4	Die ATCOR-Software	53
5.4.1	Funktionsweise von ATCOR	53
5.4.2	Die Bedienoberfläche	55
5.4.3	Spezifikation der Eingangsdaten	58
6	Vergleichende Untersuchung	61
6.1	Die Satellitenszene	61
6.2	Die Digital-Number-Daten	61
6.3	Die Top-of-Atmosphere-Daten	64
6.4	ATCOR-Ergebnisse	68
6.4.1	Vergleich der Aerosolmodelle	68
6.4.2	Vergleich der Atmosphärenmodelle	72
6.4.3	Vergleich des Parameters Sichtweite	75
6.5	FLAASH-Ergebnisse	78
6.5.1	FLAASH-Aerosolmodelle	78
6.5.2	FLAASH-Atmosphärenmodelle	81
6.5.3	FLAASH - Variation der Sichtweite	84
6.6	Die Bestimmung und Rolle der Steuerparameter	87
6.7	Differenzen zwischen ATCOR und FLAASH	89
6.8	Anwenderorientierter Vergleich	96
6.8.1	Vergleich der Korrekturergebnisse	96
6.8.2	Anwenderorientierte Softwareanalyse	98
6.8.3	Beurteilung der anwenderorientierten Qualität	99
6.9	Weitere Korrektursoftware	99
6.10	Diskussion der Ergebnisse	100
7	Ergebniszusammenfassung und Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	105
	Anhang	109
A	Bandmath für die TOA-Berechnungen	109
B	Metadaten der IKONOS-Szene	111
C	Reportdatei von ATCOR	115
D	Template Datei von FLAASH	117

Abbildungsverzeichnis

2.1	Die elektromagnetische Welle	3
2.2	Das elektromagnetische Spektrum	4
2.3	Lineare, zirkulare und elliptische Polarisierung elektromagnetischer Strahlung	5
2.4	Die Analogie von Raumwinkel und ebenem Winkel	7
2.5	Das Plancksche Strahlungsgesetz	9
3.1	Vibration in Molekülen	16
3.2	Energieänderung bei kombinierter Veränderung im Rotations- (J) und Vibrationszustand (v)	16
3.3	Schematische Darstellung der Linienverbreiterung	17
3.4	Darstellung des FWHM-Parameter	18
3.5	Dopplerform und Lorentzform der Linienverbreiterung	18
3.6	Absorption durch atmosphärische Gase	20
3.7	Streuung in Abhängigkeit von x	23
3.8	Strahlenverlauf durch einen Wassertropfen	24
3.9	Streuphasenfunktion der Mie-Streuung	26
3.10	Streuphasenfunktion der Mie-Streuung, polare Darstellung	26
3.11	Die Erscheinungen Korona, Nebelbogen und Glorie	26
3.12	Die Streuphasenfunktion der Rayleigh-Streuung	27
3.13	Aufbau der Sonne	28
3.14	Extraterrestrische Solarstrahlung und Solarstrahlung auf der Erdoberfläche im Vergleich	28
3.15	Vertikales Temperaturprofil der „U.S. Standard Atmosphere 1976“ und ausgewählte anteilige Gase der Atmosphäre	32
3.16	Messbereiche verschiedener Satelliten mit dem Transmissionsgrad der Erdatmosphäre und der TOA+BOA Strahlung	33
3.17	Spiegelnde Reflexion, diffuse Reflexion und gemischte Reflexion	35
4.1	IKONOS-Bild Washington D.C., Ausschnitt Washington Monument, PAN-Kanal	38
4.2	Der IKONOS-Satellit, oben die erdwärts gerichtete Teleskopöffnung	38
4.3	Subsatellitenkurve und Verschwenkung	39
4.4	Wiederholrate und Verschwenkung	39
4.5	IKONOS-Antwortfunktion	40
5.1	Strahlungswege zwischen Sonne, Objekt und Sensor	43
5.2	FLAASH Input Dialog	50
5.3	FLAASH Advanced Settings	51
5.4	Die Kodierung der „haze mask“	56
5.5	Die „haze levels“ (HOT-Werte)	56
5.6	Ergebnis der Dunstreduktion	56
5.7	Detaillansicht der „haze levels“ im Bereich der Ortschaft Rathen	56
5.8	ATCOR-Auswahlmenü	57

5.9	ATCOR-Hauptmenü „Specifications“	57
5.10	ATCOR-Atmosphärenmenü „Atmospheric Selections“	57
6.1	Die IKONOS-Satellitenszene	62
6.2	schwarzer Streifen	63
6.3	TOA-Bild, G-R-N	63
6.4	TOA-Bild, R-G-B	63
6.5	TOA-Bild, G-R-N	63
6.6	DN-Datenhistogramm	63
6.7	TOA-Daten-Histogramm	66
6.8	TOA-Daten-Detailhistogramm	66
6.9	Histogramm zum Aerosolvergleich: ATCOR, Band 1	70
6.10	Histogramm zum Aerosolvergleich: ATCOR, Band 2	70
6.11	Histogramm zum Aerosolvergleich: ATCOR, Band 3	71
6.12	Histogramm zum Aerosolvergleich: ATCOR, Band 4	71
6.13	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: ATCOR, Band 1	73
6.14	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: ATCOR, Band 2	73
6.15	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: ATCOR, Band 3	74
6.16	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: ATCOR, Band 4	74
6.17	Histogramm zum Vergleich der Sichtweitenparameter: ATCOR, Band 1	76
6.18	Histogramm zum Vergleich der Sichtweitenparameter: ATCOR, Band 2	76
6.19	Histogramm zum Vergleich der Sichtweitenparameter: ATCOR, Band 3	77
6.20	Histogramm zum Vergleich der Sichtweitenparameter: ATCOR, Band 4	77
6.21	Histogramm zum Aerosolmodellvergleich: FLAASH, Band 1	79
6.22	Histogramm zum Aerosolmodellvergleich: FLAASH, Band 2	79
6.23	Histogramm zum Aerosolmodellvergleich: FLAASH, Band 3	80
6.24	Histogramm zum Aerosolmodellvergleich: FLAASH, Band 4	80
6.25	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: FLAASH, Band 1	82
6.26	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: FLAASH, Band 2	82
6.27	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: FLAASH, Band 3	83
6.28	Histogramm zum Atmosphärenmodellvergleich: FLAASH, Band 4	83
6.29	Diagramm: FLAASH-Mittelwerte verschiedener Sichtweiten	84
6.30	Histogramm zum Vergleich der Sichtweite: FLAASH, Band 1	85
6.31	Histogramm zum Vergleich der Sichtweite: FLAASH, Band 2	85
6.32	Histogramm zum Vergleich der Sichtweite: FLAASH, Band 3	86
6.33	Histogramm zum Vergleich der Sichtweite: FLAASH, Band 4	86
6.34	Situation der Sichtweite	89
6.35	Histogramm des Differenzbildes „ATCOR minus FLAASH“	91
6.36	Die Differenzbilder aller vier Kanäle „ATCOR minus FLAASH“	92
6.37	Horizontalprofil der FLAASH-Reflektanz und der Differenz	93
6.38	Detailansicht vom Bereich Rathen „ATCOR minus FLAASH“	94
6.39	Vergleich des Mittelwertes verschiedener Sichtweiten	94
6.40	Vergleich des Mittelwertes verschiedener Aerosolmodelle	95
6.41	Vergleich des Mittelwertes verschiedener Atmosphärenmodelle	95
6.42	NDVI nach der Atmosphärenkorrektur	97
6.43	Standardabweichung des NDVI	97

Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht radiometrischer Größen	8
3.1	Molekülformen mit Trägheitsmomenten und Vertretern	15
4.1	Parameter des IKONOS-Orbits (GEOEYE, 2008)	38
4.2	Zusammenhang von GSD und Sensorverschwenkung	39
4.3	IKONOS Prozessierungslevel	40
4.4	Kalibrierungskoeffizienten und Bänder mit Bandbreite	42
5.1	Absorptionsmerkmale mit den oberen (Max) und unteren (Min) Grenzen	49
5.2	Modtran4 Modellatmosphären	49
5.3	Skalierungsfaktoren für die vier IKONOS-Bänder	52
5.4	ATCOR2 Atmosphärenmodelle	58
6.1	Statistik zu den DN-Daten	64
6.2	Erde-Sonne Entfernung in AU	64
6.3	<i>Esun</i> -Werte für die IKONOS-Kanäle	65
6.4	Statistik zu den TOA-Reflektanzdaten	67
6.5	ATCOR-Atmosphärenmodelle	72
6.6	Statistik zum Vergleich der verschiedenen Atmosphärenmodelle in ATCOR (Aerosolmodell „urban“ , Sichtweite 25 km)	75
6.7	Statistik zum Vergleich der verschiedenen Sichtweiten unter FLAASH, unge- kürzte Daten	87
6.8	Wetterdaten, Station Lichtenhain/Mittelndorf	88
6.9	Softwareparameter für die Differenzbildung	90
6.10	Statistik der Vergleichsbilder und des Differenzbildes „ATCOR minus FLAASH“	91
6.11	Evaluationsparameter	98

Abkürzungsverzeichnis

6S	Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
AFRL	U.S. Air Force Research Laboratory
BDRF	Bidirectional Reflection Function - bidirektionale Reflexionsfunktion
BIL	Band Interleaved by Line
BIP	Band Interleaved by Pixel
BOA	bottom of atmosphere
BRDF	Bidirectional Reflection Distribution Function
CCD	charge coupled device
DCA	detector chip assembly
DGM	digitales Geländemodell
DN	digital number
DOM	digitales Oberflächenmodell
DOS	dark object subtraction
DRA	dynamic range adjust
ESA	European Space Agency
FIR	far infrared - fernes Infrarot
FWHM	full width at half maximum - Halbwertsbreite
GSD	Ground Sample Distance - Abtastabstand am Boden
HOT	haze optimized transformation
IR	Infrarot
LUT	Look-up Table
LWIR	long-wavelength infrared - langwelliges Infrarot
MS	multispektral
MWIR	mid-wavelength infrared - mittleres Infrarot
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared - nahes Infrarot
PAN	panchromatisch
PSF	point spread function - Punktspreizfunktion
SITAC	Spectral Information Technology Application Center
Stdev	Standardabweichung
SWIR	short-wavelength infrared - kurzwelliges Infrarot
TDI	time delay and integration
TIR	thermal infrared - thermales Infrarot, auch langwelliges Infrarot
TOA	top of atmosphere - oberhalb der Atmosphäre
UV	Ultraviolett