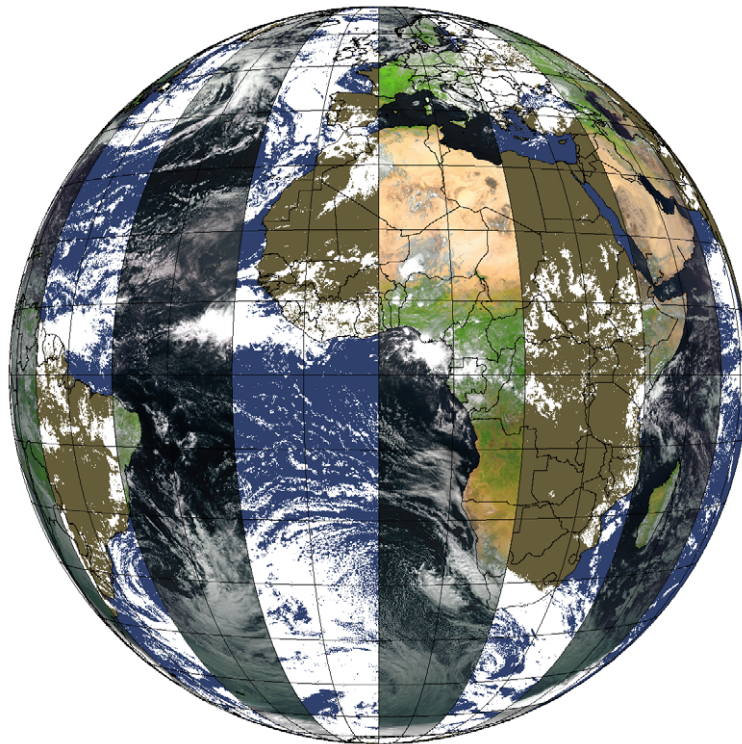


# Identification of cloudy and clear sky areas in MSG SEVIRI images by analyzing spectral and temporal information



Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades des  
Doktors der Naturwissenschaften  
eingereicht am Fachbereich Geowissenschaften der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von

**Maximilian Reuter**

Berlin, Juni 2005



1. Gutachter: Prof. Dr. Jürgen Fischer

2. Gutachter: Prof. Dr. Ulbrich

Tag der Disputation: 13.07.2005



## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, Maximilian Reuter, die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe verfasst und nur die angegebene Literatur und die angegebenen Hilfsmittel verwendet zu haben.



## Lebenslauf

Name Maximilian Reuter  
Geburtsdatum 18.09.1973  
Geburtsort Berlin  
Staatsangehörigkeit deutsch  
Familienstand ledig



1980 - 1986 Grunewald-Grundschule, Berlin  
1986 - 1993 Walther-Rathenau-Gymnasium, Berlin  
Okt. 1993 Beginn des Physikstudiums an der Freien Universität Berlin  
Okt. 1994 - Dez. 1995 Zivildienst in der technischen Abteilung des Sankt Gertrauden-Krankenhauses, Berlin  
Okt. 2001 Diplom im Fach Physik, Freie Universität Berlin  
Titel der Diplomarbeit:  
Charakterisierung und Einsatz eines flugzeuggestützten FTIR-Spektrometers für die Fernerkundung von Wasserwolken  
Nov. 2001 - Jan. 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin





## Zusammenfassung

Das Instrument SEVIRI an Bord des geostationären Satelliten MSG (*METEOSAT second generation*) bietet hervorragende Möglichkeiten zur Fernerkundung verschiedener Atmosphären-, Untergrund- und Wolkenparameter. Als Grundlage für die Prozessierung eines der ersten am Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin (FUB) entwickelten SEVIRI Level2 Produkte, wurde im Rahmen dieser Doktorarbeit ein Algorithmus zur Detektion und Maskierung von Wolken entwickelt. Wolken haben einen erheblichen Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Erde. Demnach sind Bedeckungsgradstatistiken basierend auf einer zuverlässigen Wolkenmaske wichtig für die Langzeitbeobachtung klimatischer Veränderungen sowie für die Validierung von Klimamodellen. Außerdem benötigen die meisten Atmosphären-, Untergrund- und Wolkenverfahren eine Wolkenmaske zur Auswahl geeigneter Messungen. Damit beeinflusst die Qualität der Wolkenmaske direkt die Qualität der nachfolgenden Produkte. Der entwickelte Algorithmus basiert auf der Analyse spektraler und zeitlicher Informationen mittels künstlicher neuronaler Netze. Aus dem zeitlichen Verlauf der Helligkeitstemperatur im  $10.8\mu\text{m}$  Kanal wird eine Helligkeitstemperatur für den hypothetisch wolkenfreien Fall abgeschätzt. Dazu werden Annahmen über die Glätte der Tagesgänge der Untergrundtemperatur und über ihre maximalen Änderungen mit der Zeit gemacht. Außerdem wird angenommen, daß die Anwesenheit einer Wolke die gemessene

10.8  $\mu\text{m}$  Helligkeitstemperatur in der Regel verringert. Die abgeschätzte Helligkeitstemperatur für den hypothetisch wolkenfreien Fall ist neben Daten der SEVIRI Kanäle bei 13.4  $\mu\text{m}$ , 12.0  $\mu\text{m}$ , 10.8  $\mu\text{m}$ , 8.7  $\mu\text{m}$ , 3.9  $\mu\text{m}$ , 1.6  $\mu\text{m}$ , 0.8  $\mu\text{m}$  und 0.6  $\mu\text{m}$  einer der wesentlichen Eingabeparameter für die verwendeten neuronalen Netze. Der Trainingsdatensatz wurde mit Hilfe manueller Klassifizierung erstellt. Simulationen mit dem am Institut für Weltraumwissenschaften entwickelten Strahlungstransportprogramm XTRA wurden verwendet, um die physikalische Relevanz der Eingabeparameter zu bestätigen und um die theoretische Sensitivität des entwickelten Detektionsalgorithmus auf Wolken unterschiedlichen Typs zu untersuchen. In einer Langzeitvalidierung vom 01.07.2004 bis zum 31.12.2004 wurde die Qualität der Wolkendetektion und -maskierung anhand von über einer Million Synopmeldungen bestimmt. Während der Kurzzeitvalidierung vom 03.06.2004 bis zum 08.06.2004 wurde die Wolkenmaske zusätzlich mit der EUMETSAT Wolkenmaske für SEVIRI verglichen. Anhand verschiedener statistischer Tests wurde untersucht inwieweit sich der entwickelte Algorithmus für verschiedene Anwendungen wie die Erstellung von Bedeckungsgradstatistiken, die konservative Maskierung bedeckter Pixel und die konservative Maskierung unbedeckter Pixel eignet. Außerdem wurden untersucht: der Einfluss der Wolkenhöhe, der Einfluss regionaler Untergrundeffekte, die Sensitivität auf den Wolkenwassergehalt und die Sensitivität auf fraktionelle Bedeckung innerhalb eines Pixels. Der *Kuipers skill score* ist ein statistisches Maß, das geeignet ist, die Qualität der Wolkenmaske mit einer Zahl zu beschreiben. In der Langzeitvalidierung wurde insgesamt ein *Kuipers skill score* von 0.724 und ein "Wolkenfrei-Bias" von 0.010 erreicht.

Der *Kuipers skill score* innerhalb der Kurzzeit-Validierung beträgt 0.807 für die FUB- und 0.747 für die EUMETSAT-Wolkenmaske, bei Werten für den "Wolkenfrei-Bias" von 0.026 für die FUB- und 0.075 für die EUMETSAT-Wolkenmaske. Diese Werte bestätigen die hohe Qualität des entwickelten Wolkendetektionsalgorithmus.

# Table of contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentals</b>	<b>7</b>
2.1	SEVIRI aboard MSG	8
2.2	The radiative transfer equation	12
2.3	Converting radiances to brightness temperatures	14
2.3.1	Sensitivity to the target emissivity	14
2.3.2	Sensitivity to sub pixel temperature fraction	15
2.4	Spectral features of clouds, atmosphere, and surfaces in the SEVIRI channels	16
2.4.1	Emission and reflection of surfaces	16
2.4.2	Optical properties of air	17
2.4.3	Optical properties of clouds	18
2.5	Choosing suitable SEVIRI channels for cloud detection	24
2.5.1	$IR_{108}$ channel	28
2.5.2	$IR_{120}$ channel	29
2.5.3	$IR_{134}$ channel	31
2.5.4	$IR_{087}$ channel	31

---

2. 5. 5	<i>IR</i> <sub>039</sub> channel	33
2. 5. 6	<i>VIS</i> <sub>006</sub> channel	36
2. 5. 7	<i>VIS</i> <sub>008</sub> channel	36
2. 5. 8	<i>NIR</i> <sub>016</sub> channel	37
2. 6	Temporal features of the 10.8 $\mu$ m channel brightness temperature	37
2. 6. 1	Intra-diurnal time series	38
2. 6. 2	Extra-diurnal time series	40
<b>3</b>	<b>Estimating current clear sky diurnal cycles</b>	<b>43</b>
3. 1	Assumptions	43
3. 1. 1	<i>BT</i> <sub>108</sub> is mainly affected by the target temperature	43
3. 1. 2	<i>BT</i> <sub>108</sub> is a measure for the cloud free probability	44
3. 1. 3	Smooth surface temperature diurnal cycles	46
3. 1. 4	Smooth surface temperature extra-diurnal time series	47
3. 1. 5	Clouds cause high gradients in time series	47
3. 1. 6	Availability of sufficient clear sky cases	47
3. 2	Estimation algorithm	48
3. 2. 1	Operation sequence	48
3. 2. 2	Defining constants	53
3. 2. 3	Remarks	56
3. 3	Estimation quality	57
<b>4</b>	<b>Neural network approach</b>	<b>63</b>
4. 1	Network topology	64
4. 2	Training dataset	66
4. 3	Network output	71
<b>5</b>	<b>Validation</b>	<b>75</b>
5. 1	Data basis and validation methods	77
5. 1. 1	Synoptical observations	77

5. 1. 2	Statistical methods . . . . .	79
5. 1. 3	Categorizing the output of the cloud detection algorithm . . . . .	82
5. 2	Long-term validation . . . . .	85
5. 2. 1	General performance . . . . .	85
5. 2. 2	Land/sea differences . . . . .	87
5. 2. 3	Seasonal features . . . . .	88
5. 2. 4	Influence of the cloud height . . . . .	89
5. 2. 5	Sensitivity to fractional cloud coverage . . . . .	89
5. 3	Short-term validation . . . . .	92
5. 3. 1	General performance . . . . .	92
5. 3. 2	Land/sea differences . . . . .	94
5. 3. 3	Influence of the cloud height . . . . .	95
5. 3. 4	Visual cloud mask evaluation . . . . .	96
<b>6</b>	<b>Conclusions</b>	<b>109</b>
	<b>List of symbols and abbreviations</b>	<b>113</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>117</b>
	<b>Acknowledgements</b>	<b>131</b>

