



Master Thesis

im Rahmen des Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“ (UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z_GIS) der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Darstellung hochauflösender und zeitnaher MODIS Datenprodukte in einer Web Map Applikation: Konzeption für Nebelkarte.ch

vorgelegt von

Nicolas Schmidt
GIS_U1451, UNIGIS MSc Jahrgang 2009

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) -
MSc(GIS)“

Betreuung:
Prof. Stefan Keller

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Zürich, 23.12.2011

Zusammenfassung

Nebelkarte.ch ist ein Web Portal, das hochaktuelle Bodennebelinformation anhand frei verfügbarer Datenquellen (Web Cams) auf einer Karte darstellt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Möglichkeit untersucht, dieses Portal um die Informationsebene „Wolken“ zu ergänzen, indem die ebenfalls frei verfügbaren Satellitendaten des MODIS Sensors voll automatisiert in die Web Applikation eingebunden werden.

MODIS ist ein weltraumgestützter Multispektralscanner an Bord der NASA Satelliten Aqua und Terra. Er beobachtet kontinuierlich geophysikalische Phänomene der Erdoberfläche und Atmosphäre. Von den 36 gemessenen Kanälen werden über 100 verschiedenen Datenprodukte abgeleitet. Diese sind kostenlos und ca. 3 Stunden nach Überflug verfügbar. Ein Punkt auf der Erde wird alle ein bis zwei Tage erfasst.

Die Automatisierung des Prozesses vom Bezug über die Aufbereitung bis zur Publikation der Daten in einer Web Applikation stellt einige technische Herausforderungen. Nach der Beschreibung der Anforderungen an das Zielsystem wird der gesamte Prozess skizziert. Dazu wird er in die Teilschritte Datenbezug, geometrische Korrektur, Bildaufbereitung/Legendenbildung und Formatierung/Publikation heruntergebrochen. Jeder dieser Schritte wird mittels prototypischer Umsetzung validiert. Dabei kommt das Softwarepaket BEAM zum Einsatz, ebenso wie die Skriptingsprache Tcl. Es kann gezeigt werden, dass die voll automatisierte Prozessierungskette realisiert werden kann.

Schliesslich wird ein technisches Konzept erstellt, welches die Systemanforderungen berücksichtigt und ausschliesslich auf Open Source Komponenten aufbaut. Dieses kann als Ausgangspunkt für eine Detailspezifikation dienen.

Keywords: MODIS, Web Karten, GIS, Nebelkarte, Geoprocessing, Open Source, BEAM

Abstract

The Nebelkarte.ch web portal displays realtime information about ground fog on a map using freely available data sources such as public webcams. This thesis evaluates the possibility of adding an information layer about clouds to the portal, using the likewise freely available data produced from the MODIS sensor.

MODIS is a spaceborne multispectral scanner on board NASA's Aqua and Terra satellites. It continuously monitors geophysical phenomenon on the earth's surface and atmosphere in 36 spectral bands. Some 100 derieved scientific data products are made freely available within about 3 hours after flyover. A single point on the earth's surface is imaged once every one to two days.

An automatic process which fetches, processes and publishes MODIS data on the web presents some techical challenges. First, the requirements for the target system are formulated and then the entire process is outlined. This is broken down into the following subtasks: data retrieval, geometric correction, image enhancement / symbolisation and finally image format transformation / publication. Each subtask is implemented as a prototype using the BEAM software library as well as the Tcl programming language. It is shown that a fully automated processing chain can be realized.

Finally, a technical concept is created, which adheres to all system requirements and which relies solely on open source software components. This can serve as the starting point for a detailed specification.

Keywords: MODIS, Web Mapping, GIS, geoprocessing, Open Source, BEAM

Dank

Diese Arbeit ist unter den erschwerenden Umständen einer lange andauernden Krankheit entstanden. Ohne die Unterstützung und die Aufmunterungen durch meine Familie und meine Freunde wäre sie nicht zustande gekommen. Ich bedanke mich insbesondere bei meiner Frau Silke, die über weite Strecken die doppelte Last getragen hat, um mir den Abschluss des Studiums zu ermöglichen.

Bei Professor Stefan Keller von der Hochschule Rapperswil bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Themensuche und die vielen wertvollen fachlichen Hinweise während der Arbeit.

Vielen Dank an Monika Griffin und Michael Begert für die wertvollen Hinweise nach der Durchsicht der Arbeit.

Beim UNIGIS Betreuungsteam bedanke ich mich für die motivierenden Worte und die grosszügige Auslegung der Studienzeitsbeschränkung.

Erklärung der Eigenständigen Abfassung der Arbeit

Ich versichere, die vorliegende Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer, als der angeführten Quellen angefertigt zu haben und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet.

Zürich, 23.12.2011
Nicolas Schmidt

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	ii
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	viii
Verzeichnis der Code Listings	ix
Glossar	x
1 Einführung	1
1.1 Thematisches Umfeld und Motivation	1
1.2 Auswahl des Sensors	1
1.3 Problemstellung	3
1.4 Zielsetzung und Hypothesenbildung	3
1.4.1 Strategische Ziele	3
1.4.2 Operative Ziele	3
1.4.3 Nicht-Ziele	3
1.4.4 Hypothesenbildung	4
2 Grundlagen	5
2.1 MODIS	5
2.1.1 Kontext: Ziele des EOS-Programms	5
2.1.2 Plattform und Sensor	6
2.1.3 Datenprodukte	7
2.1.4 Geometrie von MODIS Daten	17
2.2 Herausforderungen der Automatisierung	19
2.2.1 Datenbezug	19
2.2.2 Automatische visuelle Aufbereitung	21
3 Anforderungsanalyse	27
3.1 User Requirements	28
3.1.1 Kontext	28
3.1.2 User Requirements von Meteocentrale	28
3.2 System Requirements	30
3.2.1 Funktionale Anforderungen	30
3.2.2 Nicht-Funktionale Anforderungen	31

4	Prozessdefinition und Validierung der Ansätze	33
4.1	Entwurf der Prozessierungskette	33
4.2	Methodik der Validierung	35
4.3	Validierung der Ansätze	36
4.3.1	Auswahl der Informationsebenen	36
4.3.2	Datenbezug: Anbindung der Daten	36
4.3.3	Geometrische Aufbereitung	44
4.3.4	Visuelle Aufbereitung und Symbolisierung	49
5	Technisches Konzept	55
5.1	Überblick	55
5.1.1	Komponentendiagramm	55
5.1.2	Aufgabenverteilung	56
5.1.3	Schnittstellen	58
5.2	Spezifikation der Komponenten	59
5.2.1	Web Map Server	59
5.2.2	Modisfeed	64
5.2.3	Nebelkarte Webapplikation	69
6	Schlussbemerkungen	75
6.1	Zielerreichung	76
6.2	Ausblick	76
	Literaturverzeichnis	78
A	Data Fetcher Tcl Script	81
B	Exemplarischer Java Code für Projektion und GeoTIFF Operationen	88

Abbildungsverzeichnis

2.1	MODIS an Bord des Aqua Satelliten	6
2.2	Datenfluss: MODIS Daten vom Satellit bis zum Distributor	16
2.3	Durchschnittliche NRT Prozessierungszeiten	16
2.4	Komposition von Echt- und Falschfarbenbildern	24
2.5	Look-up Tabelle	24
2.6	Auswirkung von linearer Kontrastdehnung und Histogrammausgleich	26
3.1	Kontextdiagramm	28
3.2	MODIS Aqua True Color 2011/206 (Kredit: "NASA/GSFC")	29
3.3	MODIS Terra Falschfarben Bänder 3-6-7 2011/206	29
4.1	Prozessierungskette Wolkendaten	34
4.2	Prozessierungszeiten NRT und Science Quality	38
4.3	Ablauf Datenbezug für LANCE MODIS	40
4.4	Output des Lance Data Fetcher Prototyps	40
4.5	Visualisierung des Produktes MYD021KM mittels VISAT	41
4.6	Kachelung von Level 3 Produkten in LAADS	43
4.7	Datenbezugsprozess für MOD13 Level 3 Produkte	43
4.8	Kachel H18 / V4 des Produktes MOD13 (Kredit: "NASA/GSFC")	44
4.9	MOD02 RGB in Swath-Projektion (Kredit: "NASA/GSFC")	46
4.10	MOD02 RGB in EPSG:90013 Projektion (Kredit: "NASA/GSFC")	46
4.11	MOD13 NDV in Originalgeometrie (Kredit: "NASA/GSFC")	47
4.12	MOD13 NDV in EPSG:900913 (Kredit: "NASA/GSFC")	47
4.13	Einfache Kontrastverbesserungsmethoden	49
4.14	Definition des Farbverlaufs für MOD13 NDVI	51
4.15	MOD13 NDVI Produkt mit Farbverlauf	51
4.16	Definition des Farbverlaufs für MOD06	52
4.17	MOD06 Wolkenoberflächentemperaturen mit Farbverlauf	52
4.18	MOD04 Aerosol Massenkonzentration	53
4.19	Legende für MOD04 Aerosol Massenkonzentration	53
4.20	Darstellung der Wolkenmaske in diskreten Farben	54
5.1	Softwarekomponenten der Nebelkarte mit MODIS Bildern	56
5.2	Modisfeed Teilaufgaben	64
5.3	Erweiterung der Nebelkarte.ch Menus	71
5.4	Informationspanel für einen MODIS Layer	72
5.5	Designvorschlag für Betrachtung von historisierten Daten	73

Tabellenverzeichnis

2.1	Eigenschaften der MODIS Bänder	8
2.2	MODIS Prozessierungslevel	9
2.3	Überblick MODIS Datenprodukte	10
2.4	Die wichtigsten MODIS Distributionsarchive	17
2.5	Skalenniveaus	22
3.1	Funktionale Anforderungen	30
3.2	Datenanforderungen	31
3.3	Schnittstellenanforderungen	31
3.4	Softwareanforderungen	32
3.5	Anforderungen für den Betrieb	32
4.1	Datenprodukte für Nebelkarte.ch	37
5.1	Aufgabenverteilung zwischen den Komponenten	57
5.2	Schnittstellen zwischen den Komponenten	58
5.3	DB Tabelle für Modisfeed Status und Metainformationen	65
5.4	Data Fetcher Aufgaben und Java Bibliotheken	66
5.5	Anforderungen an die öffentliche Benutzeroberfläche	70

Listings

4.1	WKT von EPSG:900913	45
5.1	cURL Dialog: Erzeugen eines GeoServer Workspace	60
5.2	cURL Dialog: Erzeugen eines GeoServer Coveragestore	60
5.3	cURL Dialog: Hochladen eines Rasterfiles	61
5.4	WMS GetMap Request für ein Beispiel-Layer	61
5.5	SLD: RGB Kontrastverbesserung durch Histogrammausgleich . . .	62
5.6	SLD: ColorMap Direktive zur Definition von Farbverläufen	63
5.7	WMS GetLegendGraphic Request	63
A.1	Data Fetcher Tcl Script	81
B.1	GeoTools Testcode für GeoTIFF und Projektion	88

Glossar

API	Application Programming Interface; Programmierschnittstelle
DAAC	Distributed Active Archive Center
DTM	Digitales Terrainmodell
EDOS	EOS Data and Operations System
EOS	Earth Observing System
EPSG	European Petroleum Survey Group
ESA	European Space Agency, Europäische Weltraumagentur
FTP	File Transmission Protocol
GLG	Gray Level Grouping
GPL3	Gnu General Public License
HDF	Hierarchical Data Format
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JTS	Java Topology Suite
LAADS	Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System
LANCE	Land Atmosphere Near real-time Capability for EOS
LUT	Look-Up-Table, Nachschlagetabelle
METAR	METEorological Aerodrome Report
METEOSAT	Meteorological Satellite, geostationärer Wettersatellit
MODAPS	MODIS Adaptive Processing System
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
Nadir	Fusspunkt, Punkt auf der Erdoberfläche, der die Lotrichtung zum Satelliten markiert
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Amerikanische Weltraumorganisation
NCL	NCAR Command Language
NDVI	Normalized Differenced Vegetation Index
netCDF	Network Common Data Format
NRT	Near Real-Time
OCDPS	Ocean Color Data Processing System
OGC	Open Geospatial Consortium
REST	Representation State Transfer; Architekturstil für Schnittstellen, der auf den Prinzipien des WWW beruht
SDS	Scientific Data Set
SLD	Styled Layer Descriptor
SOAP	ursprünglich: Simple Object Access Protocol; Ein Netzwerkprotokoll für Datenaustausch und Remote Procedure Calls
Tcl	Tool Command Language

TDRSS	Tracking and Data Relay Satellite System
TONS	TDRSS Onboard Navigation System
VISAT	Desktop Applikation zum Visualisieren, Analysieren und Prozessieren von Fernerkundungsdaten
WCS	Web Coverage Service
WFS	Web Feature Service
WKT	Well Known Text
WMS	Web Map Service; OGC-Konforme Webservice Schnitt- stelle für Kartendaten
WMS-T	WMS, welcher die Karten gekachelt anbietet
WSDL	Web Service Description Language

Kapitel 1

Einführung

1.1 Thematisches Umfeld und Motivation

Nebelkarte.ch¹ ist ein Portal und ein Projekt der Hochschule Rapperswil² in Zusammenarbeit mit Meteocentrale³, dessen Ziel es ist, Echtzeit-Informationen über Bodennebel zu sammeln, zu archivieren, und auf einer interaktiven Web-Karte darzustellen. Dafür werden tagsüber alle 10 Minuten sowohl öffentlich zugängliche Webcam-Bilder als auch Flughafenwetter-Nachrichten (im sog. METAR-Format) analysiert. Für jeden untersuchten Standort wird die aktuelle Nebelsituation dargestellt. In der Detail-Ansicht eines Standortes können auch die historisierten Daten eingesehen werden.

Viele nationale Wetteragenturen verlassen sich nach wie vor auf die Nebelbeurteilung durch menschliche Wetterbeobachter. Der Ansatz von Nebelkarte.ch ist interessant, weil damit mit geringem Aufwand ein automatisches Messnetz aufgebaut werden kann. Die Webcams müssen nicht einmal speziell aufgestellt werden, denn man kann einfach bestehende, öffentlich zugängliche Kameras (von Gemeinden, Tourismusverbänden, privaten Institutionen etc.) „anzapfen“.

Die Information über Bodennebel alleine erlaubt jedoch noch keine Beurteilung darüber, ob die Sonne scheint oder nicht. Auch ohne Bodennebel kann der Tag grau und trübe sein. Es liegt daher nahe, nach Wegen zu suchen, um die Hochnebel- und Bewölkungssituation ebenfalls im selben System abzubilden. Diese Arbeit setzt an diesem Punkt an und möchte die Limitation der Nebelkarte aufheben, indem weitere Informationsschichten zur Bewölkung in höheren Lagen angezeigt werden. Damit soll ein gesamtheitliches Bild zur Nebel- und Wolkensituation vermittelt werden.

1.2 Auswahl des Sensors

Schon früh in der Ideengestaltung für diese Arbeit sind die Bilder von MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) an Bord der Satelliten Aqua und Terra [19] als aussichtsreiche Datenquelle in Betracht gezogen worden. Aqua und Terra sind Teil des von NASA (*National Aeronautics and Space Administration, Amerikanische Weltraumorganisation*) vorangetriebenen EOS (*Earth Observing System*) - Programms, welches zum Ziel hat, die langfristige, globale

¹ <http://nebelkarte.ch>, zuletzt besucht am 21.11.2011.

² <http://www.gis.hsr.ch>, zuletzt besucht am 8.12.2011.

³ <http://www.meteocentrale.ch>, zuletzt besucht am 21.9.2011.

Beobachtung der Prozesse auf der Erdoberfläche sicherzustellen (Mehr dazu im Kapitel 2.1.1). Die wichtigsten Gründe, die für MODIS sprechen, sind:

- Die freie Verfügbarkeit der Daten.
- Der grosse Reichtum an Aussagen, die über die Atmosphäre im allgemeinen, und über Wolken im speziellen gemacht werden kann. MODIS misst die Strahlung in 36 spektralen Bändern, aus denen über hundert verschiedene wissenschaftliche Datenprodukte abgeleitet werden.
- Die hohe räumliche Auflösung der Daten von 1 km, bzw. 250 m Kantenlänge (bei Tagesaufnahmen).
- Die im Vergleich zu anderen Erderkundungssatelliten grosse zeitliche Auflösung: Durch die Tatsache, dass zwei Satelliten dasselbe Instrument tragen, können, je nach Standort auf der Erde, bis zu zwei Bilder pro Tag aufgenommen werden. Im Vergleich zur hohen Aktualität der Bodennebelinformation ist diese Wiederholrate jedoch sehr tief.

Wenn man Wolken oder generell meteorologische Daten darstellen will, dann kommt man nicht umhin, Bilder von METEOSAT (*Meteorological Satellite, geostationärer Wettersatellit*) in Betracht zu ziehen. Diese von der Firma EUMETSAT⁴ betriebene Familie von geostationären Wettersatelliten liefert die aus dem Wetterbericht wohl bekannten Wolkenbilder im Halbstundentakt. Der grosse Vorteil dieser extrem hohen Wiederholrate ist für die zeitnahe Wolkendarstellung (*nowcasting*), sowie für die Wetterprognose offenkundig. Diesem Vorteil stehen aber auch einige Nachteile gegenüber:

- Die räumliche Auflösung von 3 km Pixelbreite gilt nur für den Nadir (*Fusspunkt, Punkt auf der Erdoberfläche, der die Lotrichtung zum Satelliten markiert*) und nimmt zu den Polen und in die West- und Ost-richtung hin kontinuierlich zu [32]. In der Schweiz ergibt dies eine Auflösung von 5-6 km [37]. Diese Kantenlänge erlaubt keine schöne Visualisierung der Wolkenschicht in kleinräumigeren Ausschnitten.
- METEOSAT Bilder in quasi-Echtzeit sind nicht frei verfügbar, was nicht der offenen und freien Natur der Nebelkarte entspricht. (Frei erhältlich sind mindestens 24 h alte archivierte Bilder der letzten 7 Tage).
- Schöne Now-, oder Forecasting-Applikationen, welche die Wolkendaten von Meteosat im Internet visualisieren, bestehen bereits und stellen daher keine neue Herausforderung für eine Master Thesis dar.⁵

Die Wolkeninformationen von MODIS sind bei weitem nicht so aktuell wie die Bodennebelkarten. Eine nowcasting-Applikation ist aufgrund der Tatsache, dass nur 1-2 Bilder pro Tag anfallen nicht zu realisieren. Die oben angeführten Vor- und Nachteile führten dennoch zur Entscheidung, MODIS als Datenquelle zu verwenden. Die Stärke der Web Karte ist damit nicht die Echtzeit-Darstellung der Bewölkung, sondern die Visualisierung vieler verschiedener wissenschaftlich relevanter Datensätze über atmosphärische Phänomene in einer bekannten Kartenprojektion.

⁴ <http://www.eumetsat.int>, zuletzt besucht am 21.9.2011.

⁵ http://www.meteotest.ch/wetterprognosen/aktuelles_wetter/satellitenbilder/, zuletzt besucht am 4.11.2011.

1.3 Problemstellung

Die Herausforderungen dieser Arbeit bestehen darin, einen geographischen Ausschnitt der gewünschten MODIS Daten möglichst zeitnah (d. h. sofort nach der Aufnahme und der Vorprozessierung durch den Datenanbieter) und automatisiert zu beziehen. Die Daten müssen dann eine automatisierte Prozessungskette durchlaufen, in welcher sie georeferenziert und die relevanten Informationen (Wolkenmaske, Wolkenhöhen, Wolkenarten, Wolkentemperaturen etc.) extrahiert werden. Dabei muss auch ein Augenmerk auf die kartographische Aufbereitung und die Legende der jeweiligen Informationsschicht gerichtet werden. Im letzten Schritt müssen diese Daten für die Präsentation im Web vorbereitet werden: sie müssen in ein geeignetes Dateiformat überführt und für die Webapplikation zugänglich gemacht werden.

Eine wichtige zusätzliche Rahmenbedingung für diese Arbeit ist, dass die vorgeschlagene Lösung ausschliesslich auf Open Source Software beruhen soll. Diese Strategie wird schon von der bestehenden Applikation Nebelkarte.ch verfolgt, und soll in der vorliegenden Arbeit weitergeführt werden.

1.4 Zielsetzung und Hypothesenbildung

Aus der Problemstellung leiten sich die Ziele für diese Arbeit ab. Diese sollen hier aufgeteilt werden in strategische und operative Ziele.

1.4.1 Strategische Ziele

Diese Arbeit möchte einen Weg aufzeigen, wie man MODIS Atmosphärenprodukte möglichst zeitnah und automatisiert auf eine Webapplikation bringen kann. Dabei sollen ausschliesslich Open Source Komponenten, und selbst geschriebene Software zum Einsatz kommen.

1.4.2 Operative Ziele

- Die Lösung des Problems wird heruntergebrochen auf einzelne Teilprobleme.
- Jedes dieser Teilprobleme soll unter Berücksichtigung aller Anforderungen, theoretischen Hintergründe und technischen Rahmenbedingungen beleuchtet werden.
- Für jedes Teilproblem soll ein Lösungsvorschlag erarbeitet und begründet werden.
- Die vorliegende Arbeit bereitet die Umsetzung der Vorgeschlagenen Lösung vor und dient als Spezifikation.

1.4.3 Nicht-Ziele

Die Entwicklung der Software für das Zielsystem nicht Teil dieser Arbeit.

1.4.4 Hypothesenbildung

Die Arbeitshypothese für diese Arbeit lautet: Es ist möglich, eine vollständig automatische Prozessierungskette zu realisieren, welche Datenprodukte des Fernerkundungssensors MODIS bezieht, georeferenziert, eine Legende bildet und so aufbereitet, dass sie ohne menschliche Interaktion in einer Webapplikation präsentiert werden können.

Kapitel 2

Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet, welche für die Umsetzung der Wolkenkomponente von Relevanz sind. Im ersten Teil wird detailliert auf den satellitengestützten Sensor MODIS und seine Datenprodukte eingegangen. Hernach wird auf die speziellen Herausforderungen eingegangen, welche durch die komplette Automatisierung des Datenbeschaffungs- und Bearbeitungsprozesses gegeben sind.

2.1 MODIS

MODIS *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* ist ein Gerät, welches bildhafte Aufnahmen von verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums in „moderater Auflösung“ macht. Mit einer Pixelgrösse von zwischen 250 und 1000 m bewegt sich der Sensor demnach in einem Bereich, der für die detektion regional bis global relevanter Prozesse geeignet ist. Die Abbildung 2.1 zeigt auf, wo auf dem Satelliten das Instrument angebracht ist.¹

2.1.1 Kontext: Ziele des EOS-Programms

NASA betreibt seit den frühen 1970er Jahren Erderkundungssatelliten und hat damit den Wissenschaftszweig des *Earth System Science*, zusammen mit anderen Weltraumorganisationen, begründet und massgeblich vorangetrieben. Die Beobachtung der Atmosphäre, der Ozeane, der Landoberfläche, von Eis und Schnee erlaubt es, die Zusammenhänge zwischen den Systemen Luft, Land, Wasser und der Biosphäre besser zu verstehen und Strategien zu entwickeln für die zukünftige Entwicklung der Menschheit. Der grosse Wert einer kontinuierlichen Erdbeobachtung ist (nicht erst seit den Diskussionen um den Klimawandel) auf höchster politischer Ebene anerkannt, weshalb entsprechende internationale und nationale Programme bestehen.

Das EOS Programm der NASA existiert seit Dezember 1999 mit der Lancierung des Terra Satelliten [30]. Das Weltraumsegment (*Space Segment*) besteht aus einer Serie von Erderkundungssatelliten auf polarer, schwach geneigter Umlaufbahn, welche eine globale und kontinuierliche Beobachtung von Land, Wasser, Atmosphäre und Biosphäre erlaubt [6]. Nachgelagert ist eine wissenschaftliche

¹ Bildquelle: http://aqua.nasa.gov/about/instrument_modis.php, zuletzt besucht am 21.9.2011.

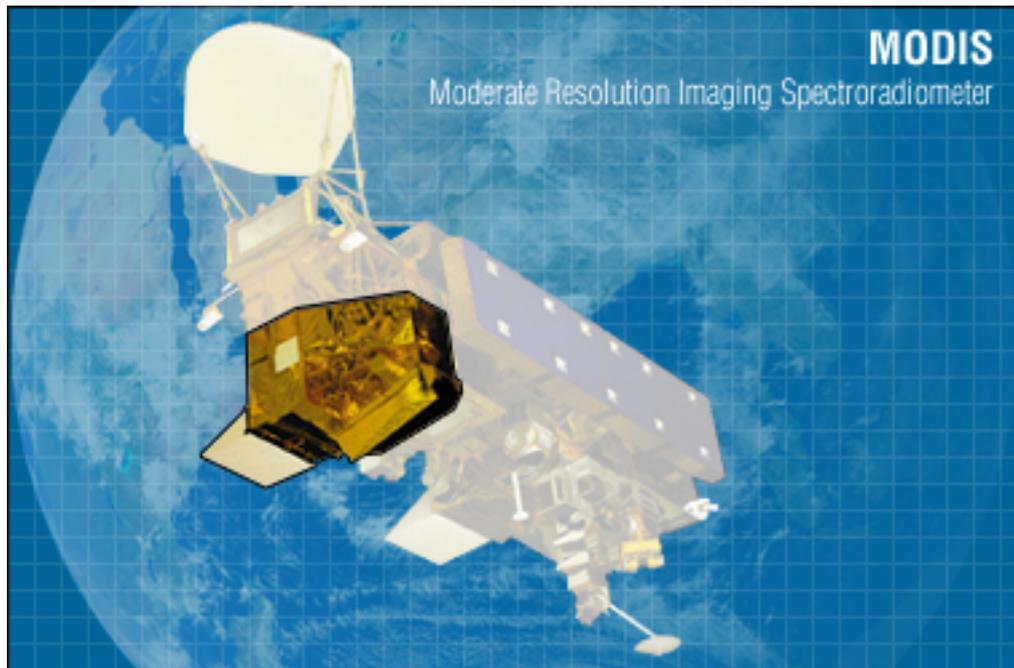


Abbildung 2.1: MODIS an Bord des Aqua Satelliten

Komponente, welche aus den gesammelten Daten wissenschaftlich relevante Information erzeugt. Und schliesslich ist das Bodensegment zuständig für die Archivierung und die rasche Verteilung der Daten an alle interessierten Parteien.

2.1.2 Plattform und Sensor

In diesem Abschnitt werden Aqua und Terra, die Satelliten, welche das MODIS Instrument tragen, sowie MODIS selber vorgestellt.

Aqua und Terra

Als Plattform wird der Satellit, welcher das Instrument trägt, bezeichnet. Im Rahmen des EOS-Programms wurde 1999 der Satellit *Terra*, und 2002 der Satellit *Aqua* in die Erdumlaufbahn gebracht. Terra führt eine Anzahl von Instrumenten mit, welche auf die Beobachtung der festen Erdoberfläche ausgerichtet sind, während Aquas Instrumente auf die Ozeane spezialisiert sind [12]. Beide Satelliten bewegen sich auf einer fast polaren, sonnensynchronen Umlaufbahn auf 705 km. Dies bedeutet, dass ein Punkt auf der Erdoberfläche immer zur selben Ortszeit überflogen wird, was die Vergleichbarkeit von Bildern verschiedener Tage insofern verbessert, als für jedes Bild derselbe Sonneneinfallswinkel und damit dasselbe Reflexionsverhalten herrscht. Ein Umlauf dauert 98.88 min. Der Satellitenorbit ist so ausgelegt, dass sich nach jeweils 16 Tagen ein Zyklus der vollständigen Erdabtastung schliesst. Terra überquert den Äquator um 10:30 und 22:30, Aqua jeweils 3 Stunden später. Beide Satelliten zusammen sorgen dafür, dass die gesamte Erdoberfläche alle 1-2 Tage abgetastet wird [19] und beide Satelliten haben das Instrument MODIS an Bord.

Das MODIS Instrument

MODIS ist das Schlüsselinstrument an Bord der beiden EOS-Satelliten Aqua und Terra. Das Gerät ist 1x1x1.6 m gross und wiegt ca. 230 kg. Ein rotierender Spiegel tastet die Erdoberfläche quer zur Flugrichtung in der Breite von $\pm 55^\circ$ ab, was einer Streifenbreite von 2330 km entspricht. Es handelt sich um einen Multispektralscanner, der in 36 verschiedenen Wellenlängen-Bereichen (Bändern) des elektromagnetischen Spektrums zwischen 0.4 μm und 14 μm aufnimmt. Die Wellenlängenbereiche der 36 Bänder decken die Bedürfnisse spezifischer Anwendungsbereiche ab. Die Tabelle 2.1 fasst die wichtigsten Eigenschaften zusammen. Zusätzlich kann zu den Bändern angemerkt werden:

- Die räumliche Auflösung² beträgt 250 m für die Bänder 1-2, 500 m für die Bänder 3-7 und 1000 m für die übrigen Bänder.
- Die Bänder 1-19 werden im Tagessegment des Orbits aufgezeichnet, und die Bänder 20-36 im Nachtsegment [20].
- Die Bänder 1-19 und 26 messen reflektierte Strahlung, während die anderen Bänder die von der Erde emittierte Strahlung (im Infrarotbereich) messen.

2.1.3 Datenprodukte

Das MODIS Programm umfasst ein wissenschaftliches Team, das sich in den vier Hauptbereichen Land, Ozean, Atmosphäre und Kalibration mit den Daten von MODIS beschäftigt. Die Erkenntnisse dieses Teams dienen insbesondere der Betreiberorganisation für die konstante Überwachung und Verbesserung der Datenprodukte, werden aber auch der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Im Folgenden wird näher auf die Datenprodukte von MODIS eingegangen: Welche Produkte gibt es? Wo und wie können sie bezogen werden?

Allgemeine Einteilung

Die von den Satelliten gesendeten Signale werden von einem Netz von Bodenstationen empfangen und gelangen dann in eine Prozessierungskette. Die Tabelle 2.2 zeigt die verschiedenen Prozessierungsschritte (Levels) der Daten auf.

² Kantenlänge eines Pixels im Nadir.

Anwendung	Band	Wellenlänge in μm
Land/ Wolken/ Aerosole Grenzen	1	0.620 - 0.670
	2	0.841 - 0.876
Land/ Wolken/ Aerosole Eigenschaften	3	0.459 - 0.479
	4	0.545 - 0.565
	5	1.230 - 1.250
	6	1.628 - 1.652
	7	2.105 - 2.155
Ozean Farben/ Phytoplankton/ Biogeochemie	8	0.405 - 0.420
	9	0.438 - 0.448
	10	0.483 - 0.493
	11	0.526 - 0.536
	12	0.546 - 0.556
	13	0.662 - 0.672
	14	0.673 - 0.683
	15	0.743 - 0.753
Atmosphärischer Wasserdampf	16	0.862 - 0.877
	17	0.890 - 0.920
	18	0.931 - 0.941
Oberflächen/ Wolken Temperatur	19	0.915 - 0.965
	20	3.660 - 3.840
	21	3.929 - 3.989
	22	3.929 - 3.989
Atmosphärische Temperatur	23	4.020 - 4.080
	24	4.433 - 4.498
Cirrus Wolken, Wasserdampf	25	4.482 - 4.549
	26	1.360 - 1.390
	27	6.535 - 6.895
Wolkeneigenschaften	28	7.175 - 7.475
	29	8.400 - 8.700
Ozon	30	9.580 - 9.880
Oberflächen/ Wolken Temperatur	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270
Wolkentop Höhen	33	13.185 - 13.485
	34	13.485 - 13.785
	35	13.785 - 14.085
	36	14.085 - 14.385

Tabelle 2.1: Eigenschaften der MODIS Bänder

Level	Beschreibung
0	Unprozessierte Instrumentendaten in voller Auflösung. Gewisse Artefakte, wie z. B. Header Daten, duplizierte Daten etc. wurden entfernt
1A	Wie Level 0. Zusätzlich wurden die Daten aber angereichert mit radiometrischen und geometrischen Kalibrierungskoeffizienten und Georeferenzierungsparametern (Ephemeriden). Diese Zusatzdaten sind beigefügt, jedoch nicht auf die Rohdaten angewendet.
1B	Wie Level 1A, jedoch wurden die rohen Instrumentendaten umgerechnet auf Sensor-Einheiten (z. B. Temperaturwerte). Aus Level 1B (und höheren) Prozessierungsebenen können die Level 0 Daten nicht mehr rekonstruiert werden.
2	Abgeleitete geophysikalische Variablen, wie z. B. Wolkenhöhen, Aerosol-Größen, Bodenfeuchtigkeit etc. Diese Daten liegen in der Regel in in derselben Auflösung und Verortung vor wie Level 1B Daten.
3	Level 2 Daten, die in einer einheitlichen geometrischen und zeitlichen Skala vorliegen (und daher direkt mit anderen Daten vergleichbar sind). Oft sind bei diesen Daten auch noch gewisse Konsistenz- und Vollständigkeitsprüfungen angewandt worden.

Tabelle 2.2: MODIS Prozessierungslevel

Von MODIS sind alle Daten in allen Level frei verfügbar. Da es sich bei den Level 0 und 1 im wesentlichen um Rohdaten handelt, wird hier nicht näher darauf eingegangen. Ab Level 2 handelt es sich um abgewandelte und veredelte Datenprodukte, die unter strengen wissenschaftlichen Ansätzen definiert und prozessiert werden. Mit sophisticateden Algorithmen werden aus einzelnen oder mehreren Bändern sowie von einzelnen oder mehreren Aufnahmezeitpunkten der Ausgangsdaten neue Daten errechnet, welche direkte Aussagen über geophysikalische Eigenschaften des Aufnahmegebietes erlauben.

Die Tabelle 2.3 gibt einen groben Überblick über die Datenprodukte der verschiedenen Forschungsschwerpunkte, inklusive der Web-Adressen, unter welchen detaillierte Informationen zu den Produkten abrufbar sind.

Generell kann zu den Produkten gesagt werden:

- Jedes Produkt enthält mindestens eine, aber in der Regel viele verschiedene Informationsschichten. Der Produkttitel gibt also nur einen Hinweis auf den Dateninhalt, doch erst die technische Beschreibung zeigt den ganzen Umfang der darin versteckten Daten.
- Die Produkte liegen in unterschiedlichen räumlichen Auflösungen vor. Die maximale Auflösung eines Produktes hängt von der Auflösung der Eingangsdaten und vom Algorithmus ab. Beispielsweise liegen Aerosoldaten nur in einem 10 km Gitter vor, weil die in 1 km Auflösung vorliegenden Ursprungsdaten vom Algorithmus zu grösseren Einheiten aggregiert werden.
- Viele Produkte sind Aggregationen aus mehreren Bildern von verschiedenen Aufnahmezeitpunkten. Diese Produkte sind dann in der Regel für verschiedene Aggregationsperioden erhältlich. z. B.: kann man bei *MOD 14 - Thermal Anomalies* eine Informationsebene „Feuerereignisse in den letzten 8 Tagen“ finden.
- Jedes Produkt enthält auch Information zur Qualität und Verlässlichkeit der Daten. Wenn z. B. gewisse Parameter nicht berechnet werden können weil

Thema	Originalbezeichnung
Kalibrierung	Quelle: http://mcst.gsfc.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
	MOD 01 - Level-1A Radiance Counts MOD 02 - Level-1B Calibrated Geolocated Radiances MOD 03 - Geolocation Data Set
Atmosphäre	Quelle: http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
	MOD 04 - Aerosol Product MOD 05 - Total Precipitable Water (Water Vapor) MOD 06 - Cloud Product MOD 07 - Atmospheric Profiles MOD 08 - Gridded Atmospheric Product MOD 35 - Cloud Mask
Land	Quelle: http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp , zuletzt besucht am 21.9.2011. und http://modis-land.gsfc.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
	MOD 09 - Surface Reflectance MOD 11 - Land Surface Temperature & Emissivity MOD 12 - Land Cover/Land Cover Change MOD 13 - Gridded Vegetation Indices (Max NDVI & Integrated MVI) MOD 14 - Thermal Anomalies, Fires & Biomass Burning MOD 15 - Leaf Area Index & FPAR MOD 16 - Evapotranspiration MOD 17 - Net Photosynthesis and Primary Productivity MOD 43 - Surface Reflectance MOD 44 - Vegetation Cover Conversion
Cryosphäre	Quelle: http://nsidc.org/daac/modis/index.html , zuletzt besucht am 21.9.2011.
	MOD 10 - Snow Cover MOD 29 - Sea Ice Cover
Ozean	Quelle: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
	Angstrom Exponent Aerosol Optical Thickness Chlorophyll a Downwelling diffuse attenuation coefficient at 490 nm Level 2 Flags Photosynthetically Available Radiation Particulate Inorganic Carbon Particulate Organic Carbon Sea Surface Temperature Quality (4um) Remote Sensing Reflectance Sea Surface Temperature (4um)

Tabelle 2.3: Überblick MODIS Datenprodukte

das Bild von Wolken bedeckt, oder in der Nacht aufgenommen wurde, so wird dies im Qualitätslayer dokumentiert.

- Gewisse Informationsschichten sind in mehreren Produkten enthalten, weil eine solche Gruppierung vom Anwendungsgebiet her sinnvoll ist (z. B. Wolkenmaske).
- Die Produkte der verschiedenen thematischen Bereiche werden in unterschiedlichen Infrastrukturen prozessiert. Deshalb kann es sein, dass sich das Format der Datenprodukte leicht unterscheidet. Jeder Bereich bietet aber detaillierte technische Beschreibungen und zum Teil auch eigene Tools an, um die Daten lesen und weiter verarbeiten zu können.

In der Folge wird ein vertiefter Einblick in die MODIS Atmosphärenprodukte der NASA gegeben.

Atmosphärenprodukte

Es ist unbestritten, dass der Gehalt an Spurengasen und troposphärischen Aerosolen sowie die Bewölkung und die Sonneneinstrahlung einen Einfluss auf das Klima haben. Um diesen Einfluss zu quantifizieren und entsprechende Eingangsdaten für Klimamodelle zu erlangen, ist die Beobachtung und Überwachung des Zustandes der Atmosphäre durch Fernerkundungsinstrumente heute ein unabdingbares Hilfsmittel [17]. Im Folgenden werden die MODIS Atmosphärenprodukte näher vorgestellt.

MOD 04 - Aerosol Product Aerosole sind ein grosser Unsicherheitsfaktor in den Klimamodellen, weil sie in sehr unterschiedlichen Konzentrationen auftreten können und einen starken Einfluss auf die Eigenschaften und das Auftreten von Wolken haben. Mit MODIS ist es erstmals möglich, Aerosolkonzentrationen sowohl über dem Land als auch über dem Meer systematisch zu messen. Man kann Aussagen machen über die optische Dichte der Aerosole in der Atmosphäre, die Grösse der Partikel und sogar die Typen von Aerosolen (nur über dem Land). Das Aerosol Produkt MOD 04 enthält insgesamt 67 Informationsschichten:

- 7 Layer sind Level 2 - spezifische Geometrie- und Radiometrieparameter.
- 4 Wissenschaftliche Layers, die über dem Land und über dem Meer gelten
- 21 Layer, die nur über dem Land gelten
- 24 Layer, die nur über dem Meer gelten
- 5 Layer zum *Deep Blue Aerosol*, also zu Aerosolmessungen über sehr hellem Untergrund wie z. B. Wüsten [33]
- 6 Layer mit Aussagen über die Verlässlichkeit der Daten und mit Informationen zur Bewölkung

Die räumliche Auflösung des MOD 04 Produktes beträgt 10 km. Schlüsselanwendungen für das Produkt sind: Aerosol Klimatologie, Aerosole durch Abbrennen von Biomasse, Atmosphärische Korrektur von anderen Fernerkundungsdaten, Strahlungseigenschaften von Wolken, Klimamodellierung.

MOD 05 - Total Precipitable Water (Water Vapor) Dieses Produkt macht Aussagen über die Menge von Wasserdampf in der Atmosphäre. Unterschiedliche Algorithmen werden angewendet über Land, Wolken und Meer, sowie für Tag- und Nachtaufnahmen. Dabei kommen die Infrarot-Bänder zum Einsatz. Die Aussagen des Produktes sind wichtig für das Verständnis über den Wasserhaushalt und die hydrologischen Kreisläufe, Energieflüsse und das Klima. Es spielt aber auch eine wichtige Rolle bei der Untersuchung von Aerosolen. Die 13 Informationsschichten des Produktes setzen sich wie folgt zusammen:

- 7 Layer sind Level 2 - spezifische Geometrie- und Radiometrieparameter.
- 3 Layer zum eigentlichen Wasserdampfgehalt, gemessen im nahen und normalen Infrarotbereich.
- 3 Layer mit Aussagen über die Verlässlichkeit der Daten und mit Informationen zur Bewölkung

Die räumliche Auflösung des MOD 05 Produktes beträgt 1 km.

MOD 06 - Cloud Product Wolken spielen eine Schlüsselrolle in der Strahlungsbilanz der Erde. Für das Verständnis des Klimas und des Klimawandels ist es daher essentiell, die Bewölkung exakt zu beschreiben und zu messen. MOD 06 beschreibt physikalische- und Abstrahlungseigenschaften von Wolken. Der Aggregatzustand der Wolkenpartikel (Wasser oder Eis), die Partikelradien und die optische Dichte der Wolken werden mit den Bändern aus dem sichtbaren und nah-infraroten Spektrum ermittelt. Die Wolkenoberflächen-Temperatur und der der Wolkenanteil werden mittels Infrarotbändern sowohl am Tag als auch in der Nacht errechnet. Die Abstrahlung von Zirren kann ebenso aus den Daten ausgelesen werden wie der Effekt von Wolkenschatten auf der Erdoberfläche. In [28] werden die Algorithmen zur Ermittlung der Wolkenprodukte anschaulich beschrieben. Die 56 Informationsschichten des Produktes setzen sich wie folgt zusammen:

- 7 Layer sind Level 2 - spezifische Geometrie- und Radiometrieparameter.
- 30 Layer in 5 km Auflösung sind Parameter zur Wolkenoberfläche aufgrund von Infrarotmessungen. z. B.: Temperatur, Druck, Tropopausenhöhe, effektive Abstrahlung, Aggregatzustand.
- 17 Layer in 1 km Auflösung sind optische Parameter aufgrund von Messungen im sichtbaren und nah-infraroten Licht. z. B.: optische Dichte, Partikelradius, Aggregatzustand, Wassergehalt.
- 2 Layer zur Reflexion von Zirren.

Die räumliche Auflösung des MOD 06 Produktes beträgt je nach Layer 1 km oder 5 km.

MOD 07 - Atmospheric Profiles Das MOD 07 Produkt macht Aussagen zum Ozongehalt, der Atmosphärenstabilität und enthält Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile aus 20 Höhenstufen sowie Angaben zum Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre. Der Ozongehalt ist sehr wichtig für die Korrektur atmosphärischer Effekte in Satellitenbildern. Daher fließt diese Information in die Korrekturalgorithmen anderer Produkte mit ein. Ebenfalls erlaubt dieser Layer die grossflächige Untersuchung des Ozoneintrages durch den Menschen (als Ergänzung und

Verbesserung der punktuellen Messungen mit Radiosonden). Die 29 Informationsschichten des Produktes setzen sich wie folgt zusammen:

- 7 Layer sind Level 2 - spezifische Geometrie- und Radiometrieparameter.
- 19 Layer mit Informationen zum Ozongehalt, Atmosphärenstabilität und Wassergehalt.
- 3 Layer mit Aussagen über die Verlässlichkeit der Daten und mit Informationen zur Bewölkung

Zusätzlich enthält der Datensatz auch tabellarische Höhenprofildaten. Die räumliche Auflösung des MOD 07 Produktes beträgt 5 km.

MOD 35 - Cloud Mask Die Wolkenmaske von MODIS wird aus Bändern im sichtbaren und infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums ermittelt [5]. Das Produkt liegt in Auflösungen von 250 m (basierend auf den Kanälen im sichtbaren Bereich) und 1 km vor, und enthält auch Aussagen über Wolkenschatten. Weil Wolken und Wolkenschatten für viele andere Messungen von MODIS eine Beeinträchtigung bzw. Kontamination darstellen, ist die Wolkenmaske sehr wichtig, um eine Aussage über die Qualität und Verlässlichkeit der anderen Produkte an bewölkten Stellen zu machen und somit zum Zeitpunkt der Prozessierung schon zu entscheiden, ob die Berechnungen überhaupt durchgeführt werden sollen. Die Wolkenmaske liegt vielen anderen Produkten als Zusatzlayer bei. Das Produkt enthält neben den 7 Layer für Level 2 - spezifische Geometrie- und Radiometrieparameter nur noch einen Layer mit Qualitätsbeurteilungen und den Wolkenmasken-Layer selbst. Dieses auf 6 Bytes codierte SDS (*Scientific Data Set*) enthält, in die einzelnen Bytes eingebettet, eine Menge Information:

- diverse Wolkenflags aufgrund verschiedener Messverfahren
- Wolkenmaske-Zuverlässigkeitsflag (Confident Cloudy / Probably Cloudy / Probably Clear / Confident Clear)
- Tag/Nacht Flag
- Sonnenspiegelungs Flag
- Schnee/Eis Hintergrund Flag
- Wasser/Küste/Wüste/Land Hintergrund Flag
- Wolkenschatten Flag
- Dünne Zirren
- Wolkenmaske in 250 m Auflösung

Auch der Qualitätslayer enthält, in einzelnen Bits encodiert, viel Information darüber, ob und welche Tests für die Berechnung durchgeführt wurden und welche Datenquellen dafür hinzugezogen wurden.

Weitere relevante Produkte

In diesem Abschnitt werden zwei Produkte vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit Verwendung finden obwohl es sich nicht um Daten zur Atmosphäre handelt.

MOD02 - True Color Wolkenbild und Wolkenbild Kanal 3-6-7 Hier handelt es sich nicht um abgeleitete wissenschaftliche Datensätze, sondern um die Darstellung dreier spektraler Kanäle des MODIS Instrumentes. Das Produkt MOD02 heisst *L1B Calibrated Radiances*. Es enthält demnach die vom Sensor gemessene Strahlung pro Spektralkanal. Die Tabelle 2.1 listet die Spektralkanäle auf. Die Daten sind auf Level 1B (Siehe Tabelle 2.2) prozessiert. Ein True Color Bild wird dargestellt, indem man die gemessenen Spektralbereiche den korrekten Farben zuweist, also Kanal 1 → Rot, Kanal 4 → Grün und Kanal 3 → Blau. Das „Wolkenbild Kanal 3-6-7“ ist ein Falschfarbenbild, bei welchem die Farbzuordnung wie folgt geschieht: Kanal 3 → Rot, Kanal 6 → Grün und Kanal 7 → Blau. Bei dieser Zuweisung werden die thermalen Unterschiede innerhalb der Bewölkung zum Ausdruck gebracht. Im Bild weisen Wolken Farbtöne von Weiss über Gelb nach Orange auf. Je näher beim Orange, desto kälter, und damit höher ist die Wolke. Das MOD02 Produkt wird von den meisten DAACs bereitgestellt. Die räumliche Auflösung beträgt für die Kanäle 1 (Rot) und 2 (nahes Infrarot) maximal 250 m, für die anderen benötigten Kanäle (3, 4, 6, 7) maximal 500 m beim Nadir.

MOD 13 - NDVI Der NDVI (*Normalized Differenced Vegetation Index*) ist ein Index, welcher aus dem roten und nah-infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums errechnet werden kann. Dieses Verfahren nützt die Tatsache aus, dass gesunde Vegetation im sichtbaren Rot-Bereich des Spektrums relativ wenig, jedoch im nahinfraroten Bereich relativ viel Strahlung reflektiert [12]. Es können damit Aussagen über die Vitalität und die Dichte der Vegetation gemacht werden. In [23] wird eine kritische Analyse der verschiedenen Vegetationsindices gemacht. Das Modis Level 3 Produkt MOD13 wird für die gesamte Erdoberfläche in einem 16-tägigen Rhythmus produziert. Einerseits um sicherzustellen, dass alle Gebiete der Erde unter einem kleinen Nadirwinkel betrachtet werden, und andererseits um die Chance zu erhöhen, viele Gebiete während einer wolkenfreien Zeit zu „erwischen“ [18]. MOD13 liegt in den Auflösungen 250 m, 500 m, 1 km und 10 km vor und wird vom LP DAAC (siehe Tabelle 2.4) bereitgestellt.

Prozessierung und Datenformat

Die wissenschaftlichen Teams der NASA überarbeiten und optimieren die Algorithmen zur Erzeugung der Datenprodukte dauernd. Um diesen Veränderungen Rechnung zu tragen, sind MODIS Datenprodukte in sogenannten Kollektionen (*Collections*) zusammengefasst. Eine Kollektion ist im wesentlichen eine Version von Daten. Neue Algorithmen werden immer im Rahmen einer neuen Kollektion eingeführt. In diesem Fall wird der gesamte Datenstamm neu prozessiert. Daten älterer Kollektionen bleiben für längere Zeit verfügbar. Momentan ist die Kollektion 051 die aktuellste, und die Kollektion 006 ist in Arbeit.

MODIS Daten werden im HDF-EOS Datenformat verteilt. Unter dem Begriff HDF (*Hierarchical Data Format*) versteht man sowohl ein physikalisches Datenformat als auch ein Set von Schnittstellen, APIs und Software Tools, welche die Interaktion mit einer HDF-Datei ermöglichen. Das Format ist geeignet zur effizienten und flexiblen Speicherung von Messdaten, Zwischen- und Endergebnissen, insbesondere für grosse Datenmengen [14]. Es unterstützt diverse Datenstrukturen, wie z. B. Raster, SDS (Multidimensionale Arrays von Daten), Vdata (Tabellen mit

Texten und Daten). Durch die Möglichkeit der Annotationen können einzelne Elemente in einer Datei gekennzeichnet werden. Dadurch werden diese Dateien bis zu einem gewissen Grad selbst erklärend. Unter HDF versteht man die Version 4 des Formats. Inzwischen ist auch eine Version 5 (HDF5) veröffentlicht. Seit der Version HDF4.0 (1995) gibt es ein netCDF-Interface (*Network Common Data Format*) für HDF, womit die beiden wichtigsten wissenschaftlichen Datenformate zusammengeführt wurden [14].

HDF-EOS ist ein selbsterklärendes Standardformat, welches auf HDF basiert und von NASA speziell für Daten der EOS-Satelliten Terra, Aqua und Aura entwickelt wurde. Zusätzlich zu den von HDF unterstützten Datenstrukturen existieren in HDF-EOS die Strukturen *grid*, *point* und *swath*. Damit können die File-Inhalte mit geographischen Koordinaten und/oder mit Zeitwerten versehen werden.

Distribution der Daten

Die Daten der Instrumente an Bord des Terra- und Aqua-Satelliten werden via das TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*) zur Bodenstation in White Sands, New Mexico, transferiert. Von dort werden sie ans EDOS (*EOS Data and Operations System*) übermittelt, wo die MODIS-Rohdaten vom MODAPS (*MODIS Adaptive Processing System*) zu Level 1A, 1B und den höherwertigen Atmosphären- und Landprodukten (Level 2 und 3) weiter verarbeitet werden. Die Produkte für das Forschungsgebiet „Meer“ werden vom OCDPS (*Ocean Color Data Processing System*) erstellt. Die Distribution der Daten erfolgt über verschiedene DAACs (*Distributed Active Archive Center*). Die Abbildung 2.2 zeigt diesen Datenfluss auf. Und die Tabelle 2.4 listet die URLs der wichtigsten DAACs auf.

Prozessierungsart und Datenqualität Die Tabelle 2.4 zeigt die Datenqualität der einzelnen Verteilzentren an. Die ersten vier DAACs liefern *Science Quality* Daten, welche den höchsten wissenschaftlichen Ansprüchen genügen. Die Verarbeitung dieser Daten unterliegt strengen Qualitätsanforderungen. Gewisse Metadaten werden für diese Art der Prozessierung über einen Zeitraum aggregiert. Dies bewirkt unter anderem, dass die Verarbeitung länger dauert.

Mit tieferen Qualitätsanforderungen ist es möglich, Daten bedeutend schneller zu prozessieren und anzubieten. Es gibt Anwendungsgebiete, in denen die schnelle Verarbeitung auf Kosten der Qualität des Produktes Vorrang hat. Für diese stellt LANCE (*Land Atmosphere Near real-time Capability for EOS*) freie MODIS - Daten mit der schnelleren NRT (*Near Real-Time*) Prozessierung zur Verfügung. Die Daten aus diesem System stehen im Durchschnitt 3 Stunden nach der Aufnahme durch den Satelliten zur Verfügung (im Gegensatz zu den rund 8 Stunden bei den *Science Quality* - Produkten). Die Abbildung 2.3 zeigt durchschnittliche Verarbeitungszeiten für einige Produkte aus dem Jahr 2010³. Man kann dieser Grafik entnehmen, dass die durchschnittliche Prozessierungszeit deutlich unter 3 Stunden liegt. Der Peak am 10. Juli zeigt Probleme in der Datenlieferkette auf. Die Unterschiede zwischen NRT und *Science Quality* Prozessierung werden in [16] erläutert.

Die MODIS Daten von den Satelliten in einem offenen Standard ausgestrahlt (*Direct Broadcast*). Es steht somit jedem frei, mit einer entsprechenden Station diese

³ Quelle: <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/about/metrics.html>, zuletzt besucht am 5.10.2011.

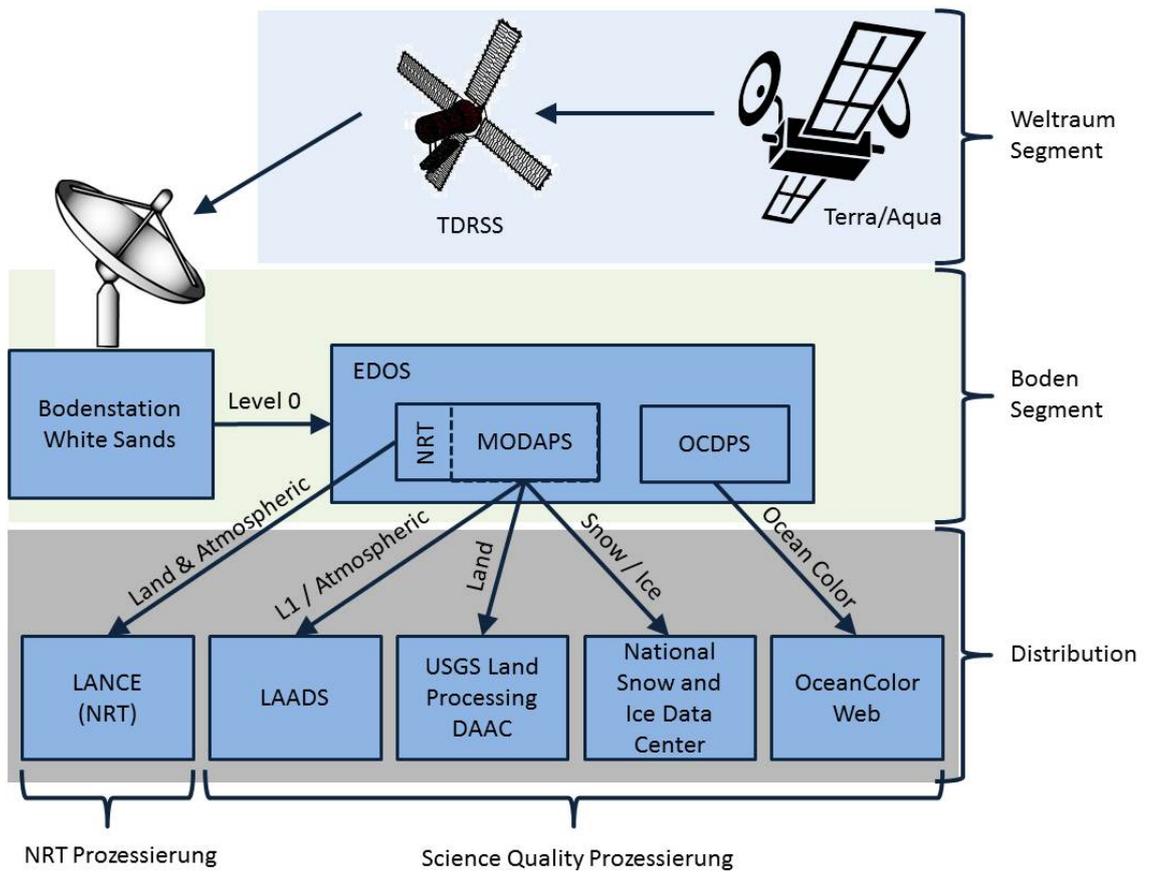


Abbildung 2.2: Datenfluss: MODIS Daten vom Satellit bis zum Distributor

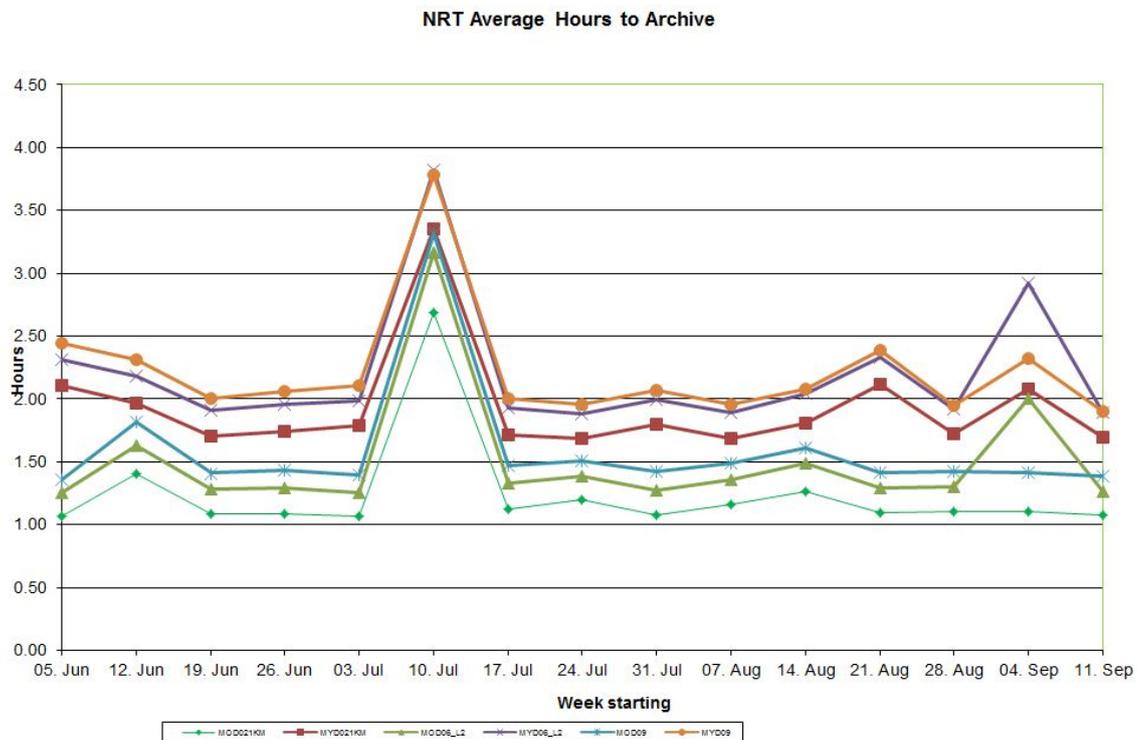


Abbildung 2.3: Durchschnittliche NRT Prozessierungszeiten

DAAC Name	Art der Daten	Datenqualität	URL
Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS)	MODIS Level 1 Daten, Geolocation, Atmosphärenprodukte	Science Quality	http://ladsweb.nascom.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
USGS Land Processes DAAC	MODIS Land Produkte	Science Quality	https://lpdaac.usgs.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
National Snow and Ice Data Center	MODIS Cryosphärenprodukte	Science Quality	http://nsidc.org/daac/modis/index.html , zuletzt besucht am 21.9.2011.
OceanColor Web	MODIS Ozeanfarben und Meeresoberflächentemperatur - Produkte	Science Quality	http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 21.9.2011.
LANCE	Land und Atmosphärenprodukte in Near real-time	NRT	http://lance.nasa.gov/ , zuletzt besucht am 23.9.2011.

Tabelle 2.4: Die wichtigsten MODIS Distributionsarchive

(Roh-) Daten zu empfangen, zu prozessieren und eigene Datenprodukte abzuleiten und zu veröffentlichen. So sind im Web auch weitere Datenquellen für MODIS Daten zu finden [13]. Die Tabelle 2.4 listet nur die von NASA offiziell deklarierten Quellen auf.

2.1.4 Geometrie von MODIS Daten

Fernerkundungsbilder haben, bedingt durch die Plattform und die Eigenschaften des Sensors sowie weiteren Faktoren wie Flughöhe, Topographie und Aufnahmebedingungen, immer ein eigenes Referenzsystem, d. h. sie sind gegenüber anderen Abbildungen der Erde wie z. B. Karten, verzerrt. Bei der Prozessierung von MODIS Level 1A Produkten wird die geographische Position der Pixel berechnet. Dieses Kapitel beschreibt diese Georeferenzierung und macht Aussagen über die Qualität des Algorithmus.

MODIS Korrekturalgorithmus

Die Anforderungen an die Georeferenzierung der MODIS Daten sind hoch: Eine Genauigkeit von 150 m ist vom *Land Science Team* vorgegeben [38]. Diese Anforderungen sind insbesondere darum gegeben, weil viele Datenprodukte als Aggregationen aus Bildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte gerechnet werden, was bedingt, dass die verschiedenen Input-Bilder genau aufeinanderpassen (Co-registriert sind). Weil die Prozessierung der Daten automatisch ist und schnell gehen muss, kommt ein Korrekturverfahren mithilfe von Passpunkten nicht in Frage. Ebenfalls sind Passpunkte nicht immer verfügbar, z. B. bei Wolkenbedeckung

oder in grossflächig homogenen Szenen. Es wird daher ein parametrisches Verfahren angewandt, welches Informationen über die Aufnahmegeometrie (innere Orientierung) sowie die Flugstellung und Position des Sensors (äussere Orientierung) verwendet. Ausserdem wird Reliefinformation (also ein DTM (*Digitales Terrainmodell*)) herangezogen, um die topographiebedingte Verzerrung, welche von der Sensorhöhe, der Geländehöhe und dem Abstand des Bildausschnittes vom Nadir abhängt, zu korrigieren [38].

Die Satelliten Aqua und Terra führen deshalb Instrumente mit sich, welche die äussere Orientierung des Sensors in Echtzeit messen und mit den Aufnahme-daten zusammen zur Bodenstation übermitteln. Die Fluglage (also das Rollen, Nicken oder Gieren des Satelliten um die eigenen Raumachsen) wird mittels Gyroskop (Kreisel) und eines *Star Tracking Sensors* erfasst. Die Satellitenposition wird mithilfe des TONS (*TDRSS Onboard Navigation System*) aufgezeichnet, also mithilfe des Systems, das auch für den Transfer der Satellitenmessdaten zur Bodenstation zuständig ist. Mithilfe dieser Ephemeridendaten berechnet das MODAPS System für jedes Pixel folgende Werte:

- Geodätische Länge (WGS-84)
- Geodätische Breite (WGS-84)
- Höhe über dem Erdellipsoid
- Zenitwinkel zum Satelliten
- Azimut zum Satelliten
- Direkte Distanz zum Satelliten (*Satellite Range*)
- Zenitwinkel zur Sonne
- Azimut zur Sonne

Geometrische Präzision

Das MODIS System beinhaltet ein Verfahren, welches erlaubt, die geometrische Präzision der Daten zu überprüfen und Korrekturparameter für den Georeferenzierungsalgorithmus zu liefern. Dabei werden anhand einem Netz von Passpunkten, deren genaue Lage bekannt ist, und den gemessenen Daten Modelle des Aufnahmesystems berechnet, welche die Parameter der inneren und äusseren Orientierung⁴ optimieren.

So wurden im ersten Betriebsjahr von Terra die Parameter im Georeferenzierungsalgorithmus drei mal aktualisiert, was zu einem mittleren Lagefehler von 18 m in Flugrichtung (bei 38 m Standardabweichung) und 4 m quer zur Flugrichtung (bei 40 m Standardabweichung) geführt hat [38]. So wurden die operationellen Ziele beinahe erreicht. Bis heute wurde die Präzision der Georeferenzierung von MODIS mehrere Male überprüft. Die geometrische Präzision ist dabei sehr konstant bei den ca. 50 m Lagegenauigkeit beim Nadir geblieben [40]. Dies entspricht bei einer Pixelgrösse von einem Kilometer einer Genauigkeit von 5% eines Pixels [39].

⁴ Die Verdrehung des Sensors zur Plattform in den 3 Raumachsen, sowie die Koeffizienten des Abtastspiegels.

2.2 Herausforderungen der Automatisierung

Neben den Grundlagen zu den MODIS Daten, welche im Kapitel 2.1 behandelt wurden, sollen hier weitere Themen beleuchtet werden, welche für die Skizzierung der komplett automatisierten Prozessierungskette von Relevanz sind. Zuerst wird ein Blick auf den Datenbezug geworfen, hernach werden die Grundlagen für die automatische visuelle Aufbereitung der darzustellenden Produkte erarbeitet.

2.2.1 Datenbezug

Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, werden die MODIS Datenprodukte über verschiedene DAACs vertrieben. Im Rahmen dieser Arbeit werden Produkte von LAADS ⁵, und von LANCE ⁶ verwendet. Bei beiden Distributionsarchiven liegen die MODIS Daten als sogenannte *Granules* vor: dies sind Dateien, welche ein Teilstück des vom Satelliten aufgenommenen Streifens enthalten. Ein *Granule* entspricht einer Aufnahmezeit von 5 Minuten. Dies ergibt eine täglich produzierte Zahl von 288 *Granules* pro Produkt mit einer Ausdehnung von 1354 Pixel quer- und 2030 Pixel längs der Flugrichtung (bei einem km Auflösung). In den Namen der einzelnen Dateien sind folgende Informationen enthalten:

- Produktbezeichnung
- Aufnahmezeitpunkt (Jahr, Tag, Stunde, Minute)
- Kollektionsnummer
- Zeitpunkt der Prozessierung (Jahr, Tag, Stunde, Minute, Sekunde)

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um die MODIS Daten zu suchen und herunterzuladen. Dabei gibt es auch kleinere Unterschiede zwischen den DAACs, welche im konkreten Prozessentwurf (Kapitel 4.3.2) beschrieben werden.

FTP Archiv

Alle MODIS Daten sind per FTP in einem passwortgeschützten Bereich erhältlich. Eine Registrierung ist zwingend notwendig, aber kostenlos. Die dabei hinterlegte Email-Adresse erhält zudem Statusmeldungen bei Prozessierungsproblemen. Die Daten sind in Verzeichnissen nach der folgenden Hierarchie organisiert: alle Daten / Kollektionsnummer / Produktname / Jahr / Jahrestag / File. In jedem Verzeichnis „Jahrestag“ liegen somit 288 Files, welche, zusammengesetzt, den gesamten aufgenommenen Streifen während des Tages ergeben würden. Diese Organisation der Daten ist ungünstig, wenn man Daten eines bestimmten Gebietes der Erdoberfläche sucht. Um diesen Nachteil aufzuheben, bietet LAADS geographische Metadaten an: Dies sind am Ende des Tages produzierte Textfiles, welche die Eckkoordinaten jedes *Granules* enthalten. Bei LANCE werden diese Metadaten gleichzeitig mit den Bilddaten in einem kleinen Textfile pro Bildfile publiziert.

⁵ <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>, zuletzt besucht am 25.10.2001.

⁶ <http://lance.nasa.gov/>, zuletzt besucht am 23.9.2011.

Webinterface Suche und Datenbestellung

Über ein Web Interface kann der Benutzer gezielt nach MODIS Daten suchen. Er kann die Suche dabei auf vielfältige Weise einschränken, z. B. nach Satellit (Terra oder Aqua), geographischem Gebiet, Zeitraum, Aufnahmebedingungen (Tag oder Nachtbilder). Die gefundenen *Granules* können hernach ebenfalls via FTP vom Server bezogen werden.

Es gibt jedoch am Ende des Such-Prozesses auch die Möglichkeit, gewisse Nachbearbeitungsschritte für die Daten zu definieren und diese vom LAADS Server durchführen zu lassen. Es stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Einzelne Informationsschichten aus einem Produkt extrahieren.
- Zuschneiden der Daten auf ein geographisches Gebiet.
- Mosaikierung (zusammensetzen) von benachbarten *Granules*.
- Transformation in eine neue Kartenprojektion.
- Ausmaskieren von bestimmten Gebieten (z. B. bewölkte Gebiete).
- Transformation ins geoTIFF Format

Werden solche Post-Prozessierungsoptionen gewählt, so wird der Benutzer aufgefordert, eine Email-Adresse anzugeben. Über diese Adresse wird er benachrichtigt, sobald die gewünschten Produkte erstellt sind. Sie sind dann für eine kurze Zeit (ca. 5 Tage) in einem speziellen FTP-Verzeichnis verfügbar, und werden anschliessend wieder gelöscht.

Dieses Verfahren ist für eine Automatisierung nicht geeignet, weil es menschliche Interaktion erfordert.

MODAPS Webservice Schnittstelle

MODAPS bietet eine voll programmierbare Web Service Schnittstelle an, welche über SOAP (*ursprünglich: Simple Object Access Protocol; Ein Netzwerkprotokoll für Datenaustausch und Remote Procedure Calls*) oder REST (*Representation State Transfer; Architekturstil für Schnittstellen, der auf den Prinzipien des WWW beruht*) aufgerufen werden kann. Ein API ⁷ (*Application Programming Interface; Programmierschnittstelle*) beschreibt die Methoden, die auf dem Server aufgerufen werden können. Ausserdem gibt es ein WSDL-Dokument ⁸ (*Web Service Description Language*), welches die clientseitige Umsetzung der Schnittstelle erleichtert.

Über diese Schnittstelle können die MODIS Produkte, die LAADS anbietet (also Level 1 Produkte und atmosphärische Level 2 Produkte) gesucht werden. Ausserdem sind alle Post-Prozessierungsoptionen, die in Kapitel 2.2.1 beschrieben sind, ebenfalls erlaubt. Als Endresultat liefert die Schnittstelle FTP-URLs auf die gefundenen oder bestellten Produkte-Dateien zurück.

Earth Observing System (EOS) Clearinghouse (ECHO)

ECHO [21] ist ein Metadaten-Index über die vom EOS aufgenommenen Daten. Dieser soll es den Benutzern, insbesondere aus der wissenschaftlichen Welt,

⁷ <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/api.html>, zuletzt besucht am 25.10.2011.

⁸ <http://modwebsrv.modaps.eosdis.nasa.gov/axis2/services/MODAPSServices?wsdl>, zuletzt besucht am 25.10.2011.

erleichtern, relevante Datensätze zu finden. Mittels REVERB [22] können Datensätze via modernes Web Interface gesucht und bestellt werden. Die Daten selbst werden nicht von ECHO gehalten, sondern in den einzelnen DAACs. Die Bestellungen werden an die entsprechenden DAACs weitergereicht.

2.2.2 Automatische visuelle Aufbereitung

Die thematische Aussage der atmosphärischen MODIS Datensätze muss vom Betrachter leicht erfasst werden können. Es gilt daher, die Bilder gemäss den Grundsätzen der (digitalen) Kartographie aufzubereiten und zu annotieren. Dieser Schritt ist abhängig von der Natur der darzustellenden Daten und von den kartographischen Möglichkeiten der verwendeten Web Mapping Software.

Die thematischen Informationen der MODIS Datenprodukte werden in Form von Rastergrafiken präsentiert. Sie sollen, wo dies Sinn macht und möglich ist, einer topographischen Karte überlagert werden, damit die räumliche Verteilung der darzustellenden Merkmale einfach erfasst werden kann. Gängige kartographische Elemente auf Web Mapping Karten (inklusive der Nebelkarte.ch) sind:

- Karte
- Masstab
- Legende
- Navigationswerkzeuge
 - Zoom
 - Pan
 - Ebenen- und Informationsauswahl

Die aufgeführten Elemente sind in den allermeisten Web Mapping Softwarepaketen im Standardumfang enthalten und können durch entsprechende Konfiguration ein- und ausgeschaltet oder angepasst werden.

Um die MODIS Rasterdaten wirksam zu inszenieren, müssen sie eine aussagekräftige Symbolik besitzen. Bei der Rastergrafik stehen dafür die Elemente *Helligkeit* und *Farbe* im Vordergrund. Es gilt also, die einzelnen Pixel gemäss ihrer Merkmalsausprägung korrekt einzufärben bzw. bei einer Graustufendarstellung die richtige Helligkeit zuzuweisen. Der gesamte Merkmalsumfang muss dafür in entsprechende Klassen eingeteilt werden. Dabei spielt das Skalenniveau der darzustellenden Merkmale eine wichtige Rolle. Dieses sagt aus, in welcher Skala die Merkmale sich befinden und wie sich diese vergleichen lassen. Die Tabelle 2.5⁹ listet die 4 möglichen Skalenniveaus mit den erlaubten mathematischen Operationen und je einem Beispiel auf.

Das Skalenniveau kann implizit den MODIS Datensätzen entnommen werden. Von den in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Produkten gibt es Beispiele von verschiedenen Skalenniveaus:

- **Nominalskala:** Wolkenmaske, Wolkenflag (yes / no).
- **Ordinalskala:** Wolkenmaske, Zuverlässigkeits-Flag (Confident Cloudy / Probably Cloudy / Probably Clear / Confident Clear).
- **Verhältnisskala:** Wolkenprodukt, Wolkenoberflächentemperatur (150-350° K).

⁹ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Skalenniveau>, zuletzt besucht am 28.8.2011.

Skalenniveau	log./math. Operationen	Beispiel
Nominalskala	=/≠	Mann/Frau, Rot/Blau/Grün
Ordinalskala	=/≠, </>	Schulnoten („sehr gut“ bis „ungenügend“)
Intervallskala	=/≠, </>, +/-	Datum
Verhältnisskala	=/≠, </>, +/-, ×/÷	Alter (0-99 Jahre)

Tabelle 2.5: Skalenniveaus

In der vorliegenden Arbeit werden sowohl eindimensionale als auch mehrdimensionale Sachverhalte dargestellt. Diese werden hier kurz erläutert.

Eindimensionale Sachverhalte

Bei eindimensionalen Sachverhalten wird nur eine Variable (z. B. Wolkenoberflächentemperatur) gleichzeitig dargestellt. Dies vereinfacht die Symbolisierung. Daten in einer Nominal- oder Ordinalskala werden qualitative Daten genannt [25]. Die Symbolisierung geschieht (bei einer übersichtlicher Menge von Werten) durch eine 1:1 Zuweisung der diskreten Variablenwerte zu den gewünschten Farben oder Helligkeitsstufen. Bei ordinal skalierten Daten, welche im Sinne von grösser/kleiner verglichen werden können, macht oft ein Helligkeits- oder Farbverlauf von „schwächer“ zu „stärker“ Sinn.

Bei quantitativen Daten ist der Umfang der Variablenwerte in der Regel gross, und eine 1:1 Zuweisung zwischen Werten und Symbolen ist nicht angebracht. Stattdessen müssen in diesem Fall Klassen gebildet werden. Die Klassenbildung (also die Bestimmung der Klassenzahl und -grenzen) ist eine wichtige und oft nicht ganz einfache Arbeit des Kartographen, denn der Informationsgehalt einer thematischen Karte wird dadurch sehr stark bestimmt. Bei der Bestimmung der Klassenzahl gilt die Faustregel, dass Karten mit 6 Graustufen oder mit 12 Farbstufen noch erfasst werden können [25]. Des weiteren ist die Klassenzahl abhängig von der Anzahl von Messwerten. In [7] ist die Regel nach Struges wie folgt definiert: $Klassenzahl = 1 + 3.32 * \log(Zahl\ der\ Elemente)$. In [25] werden die folgenden Verfahren zur Bestimmung der Klassengrenzen vorgestellt:

- **Äquidistante Klassenbildung:** Aufgrund der festgelegten Klassenzahl wird der gesamte Wertebereich in gleich breite Klassen eingeteilt. Diese Methode erlaubt es, Daten verschiedener Aufnahmezeitpunkte gut zu vergleichen, weil die Klassen konstant bleiben. Jedoch sind die Klassengrenzen willkürlich und ohne Bezug zum sachlogischen Inhalt.
- **Logarithmische Klassenbildung:** Die Klassenbreite nimmt exponentiell zu oder ab. Diese Methode ist für Daten geeignet, die eine grosse Spannweite haben und deren Verteilung ungleich nach einem Ende der Skala hin streut.
- **Quantilbildung:** Die Grenzen werden so gewählt, dass in jeder Klasse gleich viele Messwerte enthalten sind. Die Grenzen sind nicht sachlogisch begründbar, und die Klassen können sehr unterschiedlich breit werden. Dafür kann die Verteilung der Messwerte gut abgeschätzt werden.
- **Sinnklasseneinteilung:** Die Klassengrenzen ergeben sich durch eine sachlogische Begründung. z. B. können Städte in den Klassen „Kleinstädte“, „Mittelstädte“ und „Grossstädte“ dargestellt werden.

- **Natürliche Klassenbildung:** Bei diesem Verfahren werden Klassengrenzen dort gesetzt, wo sie in der Häufigkeitsverteilung der Messdaten in Form von lokalen Minima oder Lücken natürlicherweise vorkommen. Diese Grenzen haben also einen sachlogischen Bezug, jedoch können die Klassen sehr Unterschiedlich gross ausfallen.

In der vorliegenden Arbeit muss die kartographische Aufbereitung der Daten automatisch geschehen. Dies bedingt, dass die Bestimmung der Klassengrenzen ebenfalls automatisch durchführbar ist. Deshalb werden in Kapitel 4.3.4 die Methoden auf ihre Tauglichkeit für einen derartigen Einsatz überprüft und für jedes darzustellende Datenprodukt die geeignete Methode ausgewählt.

Mehrdimensionale Sachverhalte

Die Darstellung mehrdimensionaler Sachverhalte geschieht im Rahmen dieser Arbeit als RGB Aufbereitung von Bilddaten. Die Farbe jedes Pixels eines Bildes wird dabei vom bildgebenden System ermittelt aus einem Rot-, Blau- und Grünanteil. Diese drei Anteile kommen aus 3 Eingangsbildern. Entsprechen diesen drei Eingangsbildern die Messwerte aus den drei spektralbereichen Rot, Grün und Blau, so spricht man von einer Echtfarbendarstellung [20]. Dies führt zu einer naturgetreuen Abbildung, in welcher die Vegetation grün, das Wasser blau, Siedlungen grau sind usw. Bei Falschfarbendarstellungen entsprechen die spektralen Messungen der drei Eingangsbilder nicht den zugewiesenen Farben. z. B. führt eine RGB-Zuweisung von blau, thermalem Infrarot und kurzwelligem Infrarot zu einem Bildprodukt, in welchem sich besonders gut tiefe und höher liegende Wolken, oder auch Schnee und Eis unterscheiden lassen. Die Abbildung 2.4 demonstriert dies auf exemplarische Weise¹⁰.

Sollen Fernerkundungsdaten als RGB-Bilder für kartographische Zwecke aufbereitet werden, bieten sich dem Anwender viele Möglichkeiten der Bildverbesserung. Zur üblichen Vor-Prozessierung von solchen Daten gehören Methoden der radiometrischen Korrektur. Ihr Ziel ist es, atmosphärische Streuungseffekte, die das Signal auf dem Weg vom Objekt zum Aufnahmesensor stören, zu beheben. Solche Korrekturen sind wichtig und notwendig, wenn die Satellitenbilder zur genauen Analyse von Sachverhalten der Erdoberfläche (z. B. Klassifikationen) verwendet werden [29]. Im Fokus dieser Arbeit stehen aber die Methoden der Kontrastverbesserung. Diese haben zum Ziel, die visuelle Interpretierbarkeit der Bilder zu erhöhen und einen optisch besseren Eindruck zu erzeugen. Solche Methoden müssen, wenn sie im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz gelangen sollen, automatisch anwendbar sein, also ohne menschliche Interaktion. In der Folge werden einige gängige Methoden aus der Bildbearbeitung von Fernerkundungsdaten vorgestellt (siehe z. B. [20] und [12]).

Kontrastverbesserungsmethoden zielen darauf ab, die radiometrische Auflösung eines Bildes den Möglichkeiten des bildgebenden Systemes anzupassen [12]. Unter der Annahme, dass sowohl die Messwerte im Bild als auch die Helligkeitswerte eines Bildschirms 8 Bits, also je 256 mögliche Werte umfassen, kann man eine LUT (*Look-Up-Table, Nachschlagetabelle*) erzeugen, welche die Beziehung zwischen dem Messwert und dem Helligkeitswert beschreibt. In Abbildung 2.5 sind zwei solche Beziehungen aufgezeigt: Die rote Linie beschreibt, wie die

¹⁰ Bilder: MODIS Produkt MOD021KM.A2011313.1105.005.2011313122142.NRT (Kredit: "NASA/GSFC")

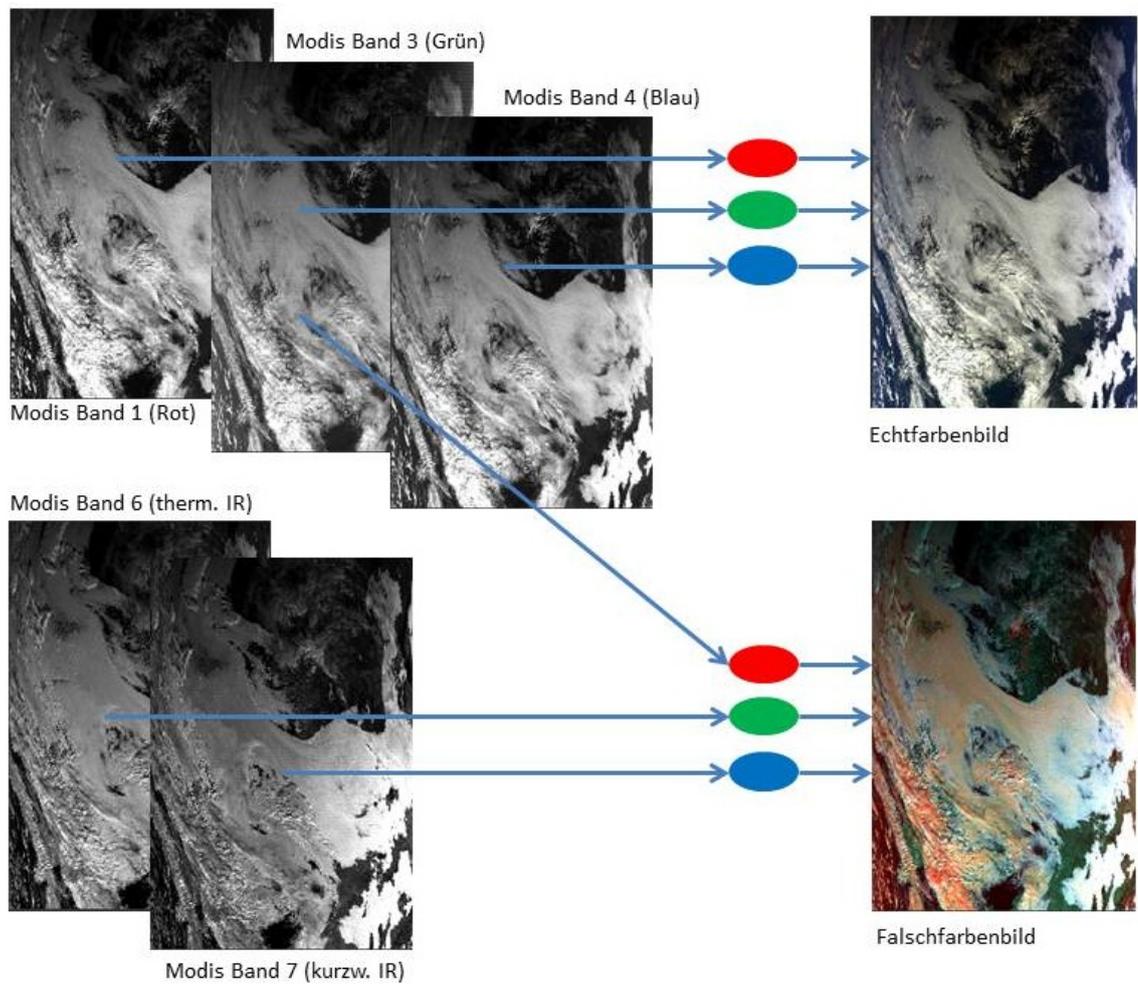


Abbildung 2.4: Komposition von Echt- und Falschfarbenbildern

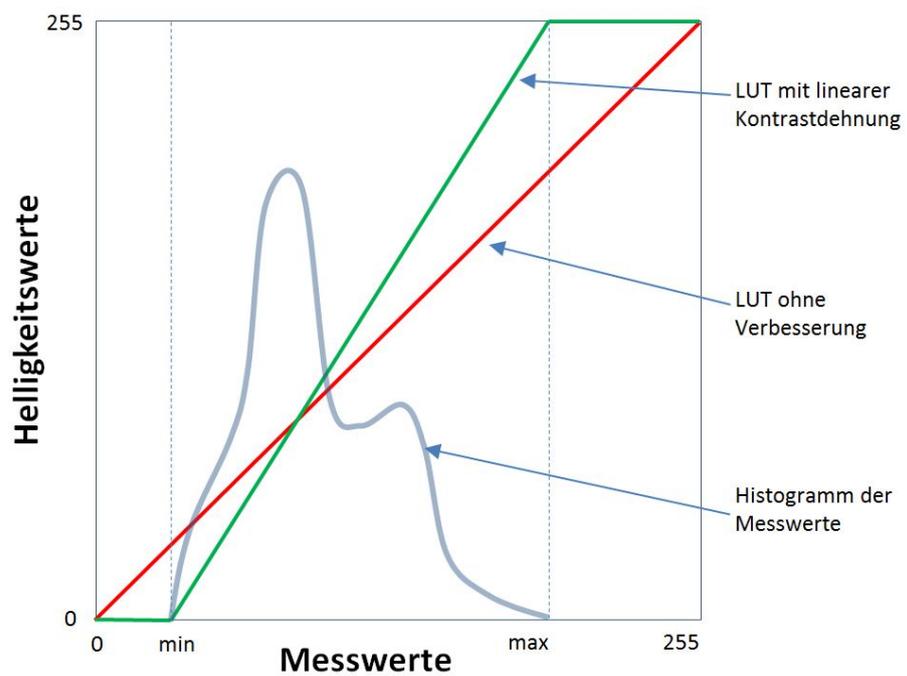


Abbildung 2.5: Look-up Tabelle

Helligkeitswerte bei einem unverbesserten Bild ermittelt werden. Es zeigt sich, dass dabei die Helligkeiten, welche den Messwertbereichen unterhalb des Minimums und oberhalb des Maximums entsprechen, nicht verwendet werden. Die bestehende Variabilität im Bild ist gewissermassen komprimiert, was einem tieferen Kontrast entspricht. Die grüne Linie zeigt eine Beziehung auf, bei welcher eine **lineare Kontrastdehnung** angewendet wird. Der minimale Messwert wird auf den Helligkeitswert 0 gelegt, und der maximale Messwert auf den Helligkeitswert 255. Dazwischen werden die Messwert-Intervalle gleichförmig ausgedehnt. Dadurch wird die ganze Breite des Helligkeitsspektrums ausgenützt, was zu einer Verbesserung des Kontrastes führt.

Ein Problem dieser Methode stellen Ausreisser dar, also Messwerte, die sehr selten vorkommen und weit ausserhalb, an den „Rändern“ des Histogramms auftreten. Solche Pixel sind nicht relevant für die Bilddarstellung, beeinflussen jedoch die Kontrastdehnung negativ, indem sie eine grosse Variabilität in den Messwerten suggerieren. Diesem Problem kann Rechnung getragen werden, indem man für die Bestimmung des Minimal- und Maximalwertes sogenannte Perzentilgrenzen ermittelt. Liegen die Perzentilgrenzen bei 5%, so bedeutet dies, dass 5% aller Messwerte unterhalb der unteren, und 5% aller Messwerte oberhalb der oberen Grenze liegen. Dies führt dazu, dass diese 10% der Pixel am Rande des Histogramms entweder den Helligkeitswert 0 oder 255 zugewiesen bekommen. Dadurch wird der signifikante Bereich des Histogramms stärker gedehnt, was zu einem höheren Kontrast im Bild führt.

Eine weitere Methode der Kontrastverbesserung ist der **Histogrammausgleich**. Diese Methode basiert auf der Annahme, dass es aus statistischer Sicht mehr Sinn macht, die Intervalle, in welchen die Messwerte bei der Kontrastdehnung angeordnet sind, nicht einfach gleichförmig über die gesamte Breite zu verteilen. Stattdessen ist ein Intervall breiter oder schmaler, je nachdem wie viele Messwerte darin enthalten sind. Dies führt oft zu besseren Resultaten als die lineare Kontrastdehnung, insbesondere wenn die Messwerte eine Normalverteilung aufweisen [12]. Die Abbildung 2.6 zeigt die Auswirkungen der beiden vorgestellten Methoden auf das Histogramm. Auf der x-Achse sind Helligkeitswerte von 0 bis 25 aufgetragen und auf der y-Achse die Häufigkeiten dieser Werte in einem fiktiven Bild.

Die beiden oben vorgestellten Methoden beschreiben die Kontrastverbesserung von einkanaligen (Graustufen-)Bildern. Soll der Kontrast in einem dreikanaligen RGB Farbbild verbessert werden, so können diese Methoden separat auf jeden der drei Eingangskanäle angewendet werden. Dies kann aber als Nebeneffekt ungünstige Auswirkungen auf die Farbbalance des Bildes haben. In [24] wird eine Methode ohne diese negativen Auswirkungen beschrieben. Dies wird erreicht, indem die RGB-Farbanteile, die als Achsen in einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem (also dem RGB-Farbraum in Form eines Quaders) gedacht werden können, umgerechnet werden in den HSI Farbraum. HSI steht für *Hue* (= Farbwert), *Saturation* (=Farbsättigung) und *Intensity* (=Intensität). Die drei Komponenten beschreiben Richtung, Distanz vom Zentrum und Höhe in einem zylinderförmigen (Farb-)Raum. Wird nun eine Kontrastdehnung auf das Histogramm der Intensitätskomponente angewendet, so hat dies keinen Einfluss auf die Farbe, weil die Farbtöne ja in der *Hue*-Komponente abgespeichert sind. Werden die drei Komponenten danach zurücktransformiert in den RGB Farbraum, so hat man ein kontrastverstärktes Bild.

Eine weitere Methode der Kontrastverbesserung nennt sich GLG (*Gray Level*

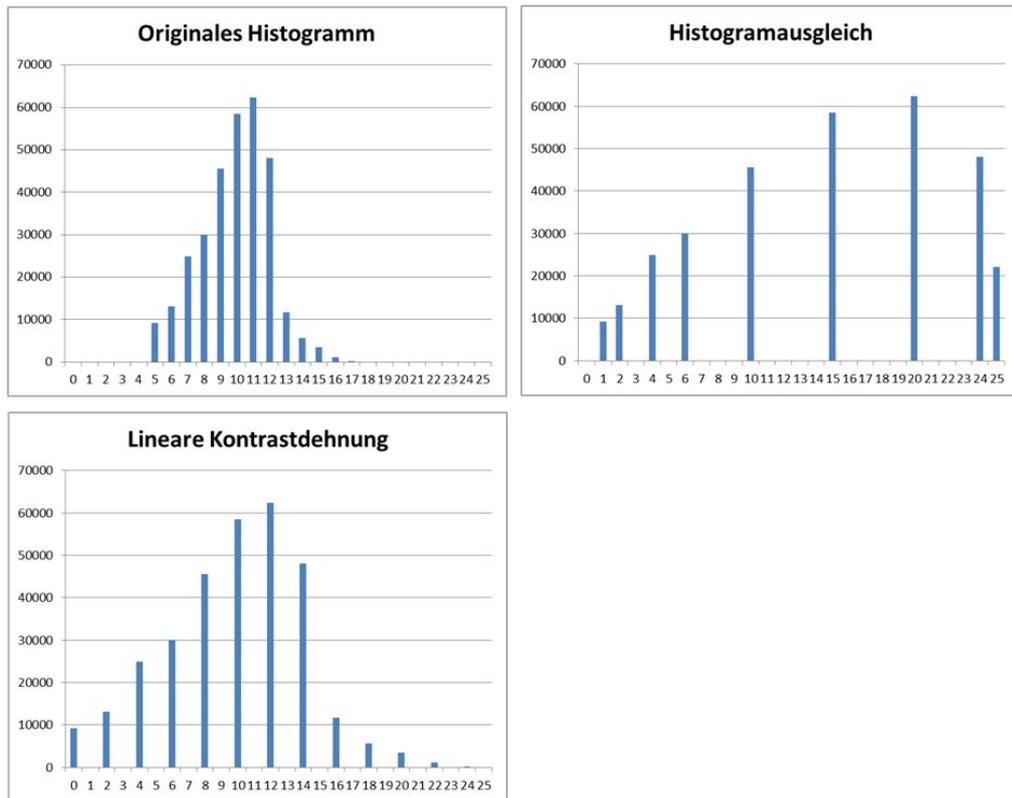


Abbildung 2.6: Auswirkung von linearer Kontrastdehnung und Histogrammausgleich

Grouping) und ist beschrieben in [10] und [11]. Hier kommt ein Algorithmus zum Einsatz, welcher die diskreten Histogrammklassen nach bestimmten Regeln neu gruppiert, diese Gruppen dann auf die ganze Breite des Histogramms verteilt und danach die Gruppierung wieder rückgängig macht. Dies führt gemäss den Autoren zu besseren Resultaten als die herkömmlichen Kontrastdehnungsmethoden. In [11] ist zudem die Kombination von GLG mit der Farbraumtransformation von RGB nach HSI für die Verbesserung des Kontrastes in Farbbildern beschrieben.

Kapitel 3

Anforderungsanalyse

Das Ziel der Anforderungsanalyse (*Software Requirements Engineering*) ist es zu verstehen, welche Funktionalität (in der Folge *Services* genannt) von einem zu entwickelnden System angeboten werden müssen, und welches die Rahmenbedingungen und Einschränkungen sind, in welchen das System eingebettet ist. Der Ausdruck „Anforderung“ wird im Software Engineering nicht konsistent gebraucht und drückt je nach der Phase, in welcher ein Projekt steckt, und dem Zielpublikum, das die Anforderungen liest, etwas anderes aus. In [34] wird deshalb unterschieden zwischen *User Requirements* und *System Requirements*.

- **User Requirements** sind generelle Aussagen in geschriebener Sprache und in Diagrammen, welche die *Services* beschreiben, welche den Benutzern des Systems zur Verfügung gestellt werden müssen. Sie drücken die Anforderungen in einer hohen Abstraktionsebene aus und können von nicht-technischen Projektmitarbeitern geschrieben und verstanden werden.
- **System Requirements** beschreiben detailliert die Funktionen und *Services* des Software Systems. Sie sind umfassend und beschreiben exakt, was umgesetzt werden muss. Das *System Requirements Document* ist eine Art von Vertrag zwischen dem Käufer und den Software Entwicklern.

Des weiteren kann zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen unterschieden werden. Funktionale Anforderungen beantworten die Frage nach dem „Was muss ein System können?“. Sie beschreiben also die *Services*, die das System anbietet, wie das System auf spezifische Anfragen/Aktionen reagiert und wie es sich in bestimmten Situationen verhält. Manchmal beschreiben funktionale Anforderungen auch explizit, was das System *nicht* tun soll. Nicht-funktionale Anforderungen beschreiben die verschiedenen Rahmenbedingungen und Einschränkungen auf das Gesamtsystem. Es sind also nicht spezifische Beschreibungen von einzelnen Komponenten, sondern global zu berücksichtigende Anforderungen wie z. B. Antwortzeiten und Zuverlässigkeit des Systems oder auch die Schnittstellen und Standards, welchen das System entsprechen muss. Im Folgenden werden zuerst die *User Requirements* erörtert und im zweiten Schritt die *System Requirements*, aufgeteilt in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen an die Wolkenkomponente, aufgezeigt.

3.1 User Requirements

3.1.1 Kontext

In diesem Abschnitt wird das Umfeld der geplanten Applikation beleuchtet, um die beteiligten Akteure und Systeme aufzuzeigen, und damit auch die verschiedenen Anforderungen besser zu identifizieren: Die Wolkenkomponente kann als Bestandteil eines grösseren Systems oder auch als alleinstehende Applikation betrachtet werden. Sie stellt den Endpunkt einer Prozessierungskette dar, in welcher vom Erderkundungssatelliten erfasste Daten verarbeitet und schliesslich in graphischer Form auf einem Frontend präsentiert werden. In der Abbildung 3.1 ist die Komponente im Gesamtsystem *nebelkarte.ch* aufgezeigt. Die Wolkendaten werden hier in einem sogenannten Mashup¹ zusammen mit den Nebeldaten, welche von METAR (*ME*Teorological *Aerodrome Report*) und von Webcams erfasst werden, auf einer Karte beliebigen Ursprungs (z. B.: von Google oder von OpenStreetMap) dargestellt.

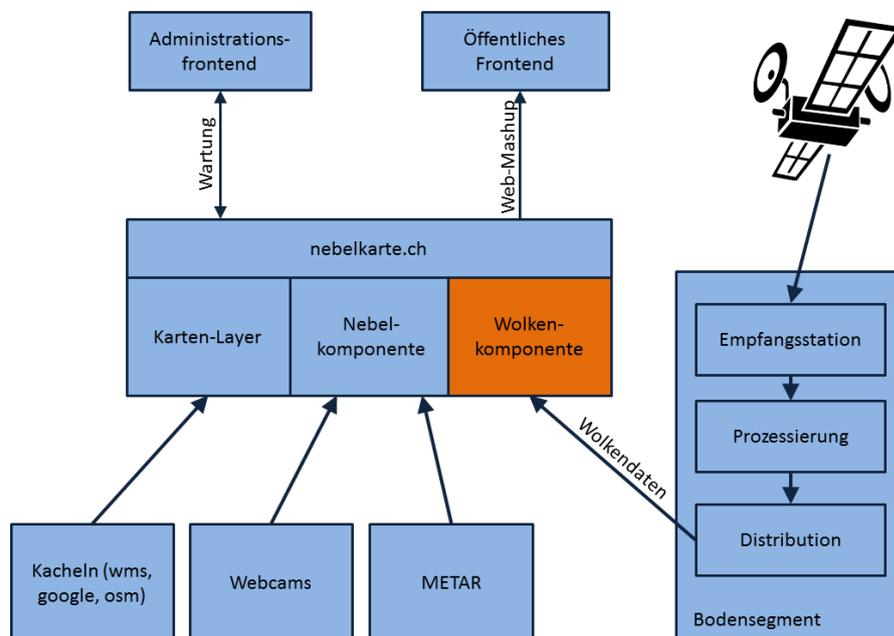


Abbildung 3.1: Kontextdiagramm

3.1.2 User Requirements von Meteocentrale

Meteocentrale ist der strategische Partner der *nebelkarte.ch* Applikation. Die Meteorologen dieser Institution haben folgende Anforderungen an die Wolkenkomponente gestellt:

- *Im Zentrum stehen die realen Wolkenbilder. Also True Color Repräsentationen der Erdoberfläche, die die Wolken gut zum Ausdruck bringen. Ein Beispiel ist in Abbildung 3.2 gezeigt.*
- *Mit dem Mix von verschiedenen Spektralkanälen bekommt man schön die verschiedenen Wolkenarten (hohe Wolken versus tiefe Wolken). Ein Beispiel ist in Abbildung 3.3 gezeigt.*

¹ Kombination verschiedener Informationsebenen und Einheiten in einer Karte.

- *Die Wolkenoberflächentemperatur wäre sicher auch ein nützlicher Parameter.*
- *Daneben wären Informationen über Aerosole, die Wolkenmaske sowie vielleicht auch der NDVI (Entwicklungsstand der Vegetation) interessant.*

Des Weiteren kann zwischen den Anforderungen verschiedener Benutzergruppen unterschieden werden. Im Sinne von Meteocentrale gibt es die Unterteilung zwischen den Bereichen „Profiwetter“ und „Freizeitwetter“. Letzterer hat einzig die Antwort zu erbringen, ob an einem Ort Wolken vorhanden sind oder nicht. Im Bereich „Profiwetter“ können Fachleute vertiefte Informationen über atmosphärische Prozesse erhalten.

Im Kapitel 3.2 werden diese Anforderungen ausformuliert und durch weitere, selbst formulierte ergänzt.

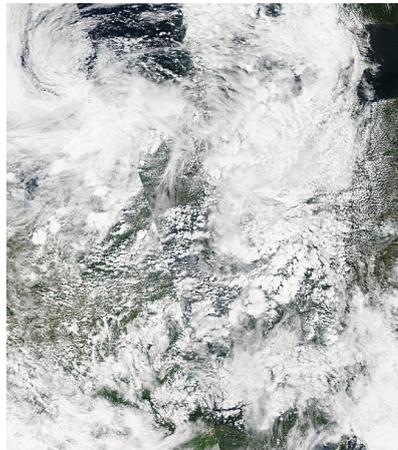


Abbildung 3.2: MODIS Aqua True Color 2011/206 (Kredit: "NASA/GSFC")



Abbildung 3.3: MODIS Terra Falschfarben Bänder 3-6-7 2011/206 (Kredit: "NASA/GSFC") . Die höher liegenden (kälteren) Wolken sind Orange eingefärbt.

3.2 System Requirements

3.2.1 Funktionale Anforderungen

Dieser Abschnitt (Tabelle 3.1) listet die funktionalen Anforderungen an die Wolkenkomponente auf. Es wird also aufgezeigt, wie das System auf bestimmte Aktionen der Benutzer reagieren soll.

ID	Beschreibung
[REQ 1]	Das System fügt sich in die bestehende Applikation Nebelkarte.ch ein und bereichert diese mit zusätzlichen Informationen über Wolken. Die bestehende Funktionalität wird dadurch erweitert, nicht eingeschränkt.
[REQ 2]	Das System stellt eine Liste von verfügbaren Informationsschichten, die Wolken betreffen, dar. Der Benutzer kann aus der Liste einen Layer auswählen, den das System danach auf einer Karte darstellt. Die Wolkenlayer sollen zusammen mit der punktuellen Nebelinformation aus nebelkarte.ch dargestellt werden können.
[REQ 3]	Die Informationsebenen werden nach zwei Hauptbenutzerbereichen unterteilt angeboten. Für den Bereich „Freizeitwetter“: - Wolkenmaske Für den Bereich „Profiwetter“: - True Color Wolkenbild - Wolkenbild Kanal 3-6-7 - Wolkenoberflächentemperatur - Aerosolgehalt - NDVI
[REQ 4]	Der genaue Aufnahmezeitpunkt des dargestellten Layers wird dargestellt.
[REQ 5]	Die dargestellten Layers decken zumindest das Untersuchungsgebiet der Nebelkarte, also die ganze Schweiz, ab. Sie dürfen aber auch grössere Gebiete abdecken.
[REQ 6]	Der Benutzer kann im Kartenausschnitt mit dem Wolkenlayer bequem navigieren (pan & zoom).
[REQ 7]	Das System zeigt eine Legende mit dem Informationsgehalt des dargestellten Layers an.
[REQ 8]	Das System gibt dem Administrator eine Aussage über den Systemstatus.
[REQ 9]	Das System erlaubt es dem Administrator, die Konfiguration der Prozessierungskette anzupassen.
[REQ 10]	Das System erlaubt es dem Administrator, Probleme zu erkennen, laufende Datenbeschaffungsprozesse zu unterbrechen oder neue Prozesse zu starten.

Tabelle 3.1: Funktionale Anforderungen

3.2.2 Nicht-Funktionale Anforderungen

Dieser Abschnitt listet die nicht-funktionalen Anforderungen auf. Diese Anforderungen geben Antwort auf die Frage „wie muss das System aufgesetzt/implementiert sein?“

Datenanforderungen

Die Tabelle 3.2 listet Anforderungen an die Genauigkeit, zeitliche und räumliche Auflösung der präsentierten Daten auf.

ID	Beschreibung
[REQ 11]	Die räumliche Auflösung der Wolkenmaske ist nicht kleiner als 1 km Pixelbreite (oder 250 m bei Tages-Aufnahmen).
[REQ 12]	Die zeitliche Verzögerung zwischen der Publikation der Daten durch NASA und der Präsentation in der Applikation darf 30 Minuten nicht übersteigen.
[REQ 13]	Die Lageungenauigkeit der Wolkenkarten darf für jeden Punkt nicht grösser als 5 km sein.
[REQ 14]	Jede relevante Publikation des Wolkenproduktes durch NASA muss vom System erfasst, prozessiert und publiziert werden.

Tabelle 3.2: Datenanforderungen

Schnittstellenanforderungen

Dieser Bereich (Tabelle 3.3) listet Anforderungen auf, welche das System auf technischer Ebene in der Interaktion mit anderen Systemen erfüllen muss.

ID	Beschreibung
[REQ 15]	Das System kommuniziert automatisch mit dem LAADS Web (<i>Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System</i>) . Es benutzt die MODAPS Web Service Schnittstelle [15].
[REQ 16]	Das System stellt die Wolkenkarten als WMS (<i>Web Map Service; OGC-Konforme Webservice Schnittstelle für Kartendaten</i>) oder WMS-T (<i>WMS, welcher die Karten gekachelt anbietet</i>) zur Verfügung. OGC: (<i>Open Geospatial Consortium</i>)

Tabelle 3.3: Schnittstellenanforderungen

Software Requirements

Die Tabelle 3.4 listet die Anforderungen auf Stufe Software auf.

ID	Beschreibung
[REQ 17]	Die Komponente fügt sich nahtlos ins bestehende System Nebelkarte.ch ein. Sie verwendet nach Möglichkeit denselben Technologie-Stack. Die einfache Wartbarkeit des Gesamtsystems muss sichergestellt werden.
[REQ 18]	Das System läuft unter dem Betriebssystem Ubuntu Linux 10.04 LTS.
[REQ 19]	Die Webservices müssen unter Apache Tomcat 6.0 betrieben werden.
[REQ 20]	Die Daten werden in einer PostgreSQL 8.4 mit PostGIS Erweiterung gehalten.
[REQ 21]	Das System soll im Java Runtime Environment (JRE) 6 laufen.

Tabelle 3.4: Softwareanforderungen

Anforderungen für den Betrieb

Die Tabelle 3.5 listet die Anforderungen auf, welche für den Betrieb der Applikation relevant sind.

ID	Beschreibung
[REQ 22]	Sicherheit: Das Administrations-Frontend darf nur von autorisierten Personen benützt werden und muss vor dem Zugriff durch dritte geschützt werden.
[REQ 23]	Bei Problemen in der Datenlieferkette soll der Grund und die ungefähre Dauer der Verzögerung dem Endbenutzer kommuniziert werden.
[REQ 24]	Bei Problemen in der Datenlieferkette muss der Applikationssupporter via Email oder SMS notifiziert werden. Solche Probleme sollen innerhalb von einem halben Arbeitstag gelöst werden können.
[REQ 25]	Das System soll, abgesehen von vereinbarten Wartungsfenstern, 7x24 h zur Verfügung stehen.
[REQ 26]	Das System soll eine Seite mit dem Kartenausschnitt innerhalb von maximal 1 s aufbauen. Netzwerklatenzzeiten sind bei dieser Angabe ausgeschlossen, und Tests müssen entsprechend aufgesetzt sein.

Tabelle 3.5: Anforderungen für den Betrieb

Kapitel 4

Prozessdefinition und Validierung der Ansätze

In diesem Kapitel wird die Prozessierungskette, welche die Daten für die „Wolkenkomponente“ sammelt, verarbeitet und für die Präsentation auf dem Web vorbereitet, auf einer hohen Abstraktionsebene konzipiert. Grundlagen dafür sind die theoretischen Ansätze, die in Kapitel 2 vorgestellt wurden, und die konkreten Anforderungen ans System (Kapitel 3). Hernach wird die vorgeschlagene Prozessierungskette validiert: Für jeden Teilschritt des Prozesses wird die technische Machbarkeit ermittelt. Dies bedeutet implizit, dass für jeden Teilschritt ein technisches Konzept entwickelt werden soll (Kapitel 4.3). Vorgängig wird jedoch im Kapitel 4.2 die Art und Weise erklärt, wie die Validierung und damit die konkrete Begründung und Legitimierung des Konzeptes, durchgeführt wird.

4.1 Entwurf der Prozessierungskette

Die Abbildung 4.1 zeigt die einzelnen Schritte der Prozesskette und die Teilaufgaben, welche pro Schritt erledigt werden müssen. Jedes Bildprodukt, dass auf der Webapplikation dargestellt werden soll, muss diesen Prozess durchlaufen. Je nach Art und Beschaffenheit des Produktes sind die einzelnen Schritte leicht unterschiedlich beschaffen. z. B. kann es sein, dass die Georeferenzierung wegfällt, weil das Produkt bereits korrigiert von der Quelle bezogen werden kann. Oder die Symbolisierung verläuft unterschiedlich, je nachdem ob ein RGB-Bild oder ein Graustufenbild erzeugt wird.

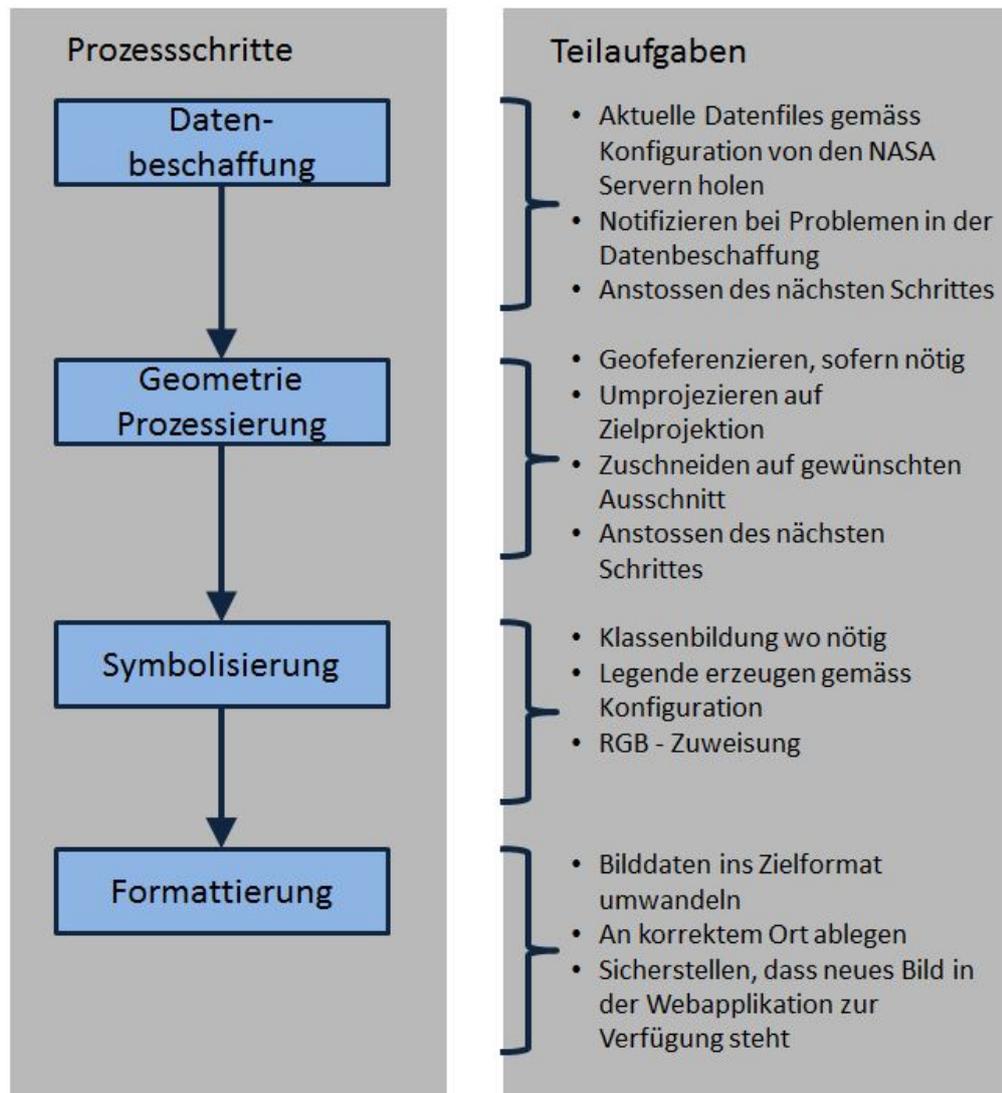


Abbildung 4.1: Prozessierungskette Wolkendaten

4.2 Methodik der Validierung

Im Rahmen dieser Master Thesis wird die Software der Wolkenkomponente nicht konkret entwickelt. Somit fehlt der nahe liegende Indikator, das funktionierende System, um das vorgeschlagene Konzept zu validieren. In diesem Abschnitt werden die alternativen Validierungsmethoden vorgestellt, welche es erlauben, das Konzept dennoch auf ein Fundament zu stellen, welches einerseits den wissenschaftlichen Anforderungen dieser Arbeit genügt, und andererseits der Partei, welche das Konzept implementiert, die Gewissheit zu geben, dass es umsetzbar ist. Als Methoden der Validierung werden im Folgenden herangezogen:

- **Wissenschaftliche Referenzierung:** Ist ein Vorgehen, eine Tatsache oder eine Methode bereits anderswo wissenschaftlich aufbereitet und begründet worden, so wird in dieser Arbeit auf die entsprechende Abhandlung verwiesen.
- **Prototyp:** Ein Vorgehen oder eine Methode wird dadurch begründet, dass sie in Form einer prototypischen Versuchsanordnung durchgeführt wird. Dies kann die rudimentäre Programmierung einer Methode sein, oder das durchführen der Methode anhand einer Drittsoftware. Dieser Ansatz wird im folgenden noch genauer erläutert.

Für die Validierung einiger Methoden der Prozessierungskette wird in dieser Arbeit die Softwarebibliothek BEAM¹ herangezogen. BEAM ist ein speziell für die Analyse, Bearbeitung und Visualisierung von Fernerkundungsdaten entwickeltes Softwarepaket. Von der ESA (*European Space Agency, Europäische Weltraumagentur*) ursprünglich für die Bearbeitung von Daten des Envisat konzipiert, unterstützt es heute eine breite Palette von Fernerkundungssensoren, und wird unter der GPL3 (*Gnu General Public License*) als Open Source Produkt verbreitet. Das Projekt hat eine grosse und aktive Benutzergemeinde, die regen Gebrauch vom Forum² macht.

Was diese Software für die vorliegende Arbeit besonders interessant macht, sind folgende Tatsachen:

1. Sie besitzt einen Reader für MODIS Daten und kann daher die in dieser Arbeit untersuchten Daten lesen und bearbeiten.
2. Sie wird mit VISAT, einer intuitiven Benutzeroberfläche ausgeliefert. Diese erlaubt es, gewisse Methoden und Verfahren, welche in dieser Arbeit untersucht werden, ohne Programmieraufwand auf die MODIS Daten anzuwenden.
3. Sie ist in Java programmiert und bietet ein API an. Dieses erlaubt die Integration aller Funktionen in eigenen Programmen.

BEAM erlaubt es somit, einige in dieser Arbeit vorgeschlagene Verfahren zu überprüfen. Gleichzeitig ist durch das API sichergestellt, dass die Umsetzung des Projektes in Java, wie dies die Anforderung [REQ 21] vorgibt, gewährleistet ist. Im Kapitel 5.2.2 wird auf das BEAM Java API näher eingegangen.

¹ Alle Angaben zu BEAM wurden von der entsprechenden Website entnommen: <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/welcome>, zuletzt besucht am 23.10.2011.

² <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/forum>, zuletzt besucht am 28.10.2011.

4.3 Validierung der Ansätze

Hier werden die einzelnen Teilschritte des Prozesses aus Kapitel 4.1 entworfen. Für jede Teilaufgabe und jedes Problem, welches in einem Prozessschritt ansteht, sollen konkrete Lösungen gefunden, und Entscheidungen gefällt werden. Es ist das Ziel, zu einer Synthese zwischen den theoretischen Grundlagen vom Kapitel 2 und den Anforderungen vom Kapitel 3 zu kommen. Im Folgekapitel 5 werden die hier erarbeiteten Grundlagen dann noch detaillierter spezifiziert. Zuerst werden die Datensätze, welche angezogen werden sollen, ausgewählt und vorgestellt.

4.3.1 Auswahl der Informationsebenen

Die Anforderung [REQ 3] im Kapitel 3.2.1 listet die Informationsebenen auf, die angezeigt werden sollen:

- True Color Wolkenbild
- Wolkenbild Kanäle 3-6-7
- NDVI
- Wolkenoberflächentemperatur
- Aerosolgehalt
- Wolkenmaske

Die Tabelle 4.1 stellt einige Details der Datenprodukte, welche diese Informationsebenen enthalten, zusammen. Bei den Produktcodes steht immer *MOD* für Produkte des Satelliten „Terra“ und *MYD* für Produkte von „Aqua“. In der Folge dieses Kapitels wird *MOD* jeweils stellvertretend für beide Produkte verwendet. Die Auswahl umfasst Daten verschiedener räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie verschiedener Dimensionalität (1- und 3-Kanal Bilder). Auch befinden sich die gewünschten Daten an unterschiedlichen Orten innerhalb des HDF Files: Bei MOD02 und MOD13 können einzelne Bänder ausgelesen werden. Bei MOD04 und MOD06 sind es einzelne Parameter aus dem SDS, und bei MOD35 sind es gar nur 2 Bits eines SDS-Parameters, welche die relevante Information enthalten.

Erkenntnisse Es kann festgehalten werden, dass für die Anforderungen an die darzustellenden Informationen auch entsprechende MODIS Daten verfügbar sind. Im folgenden Kapitel wird untersucht, woher und wie diese Daten bezogen werden können.

4.3.2 Datenbezug: Anbindung der Daten

In Kapitel 2.1.3 wurden die Kanäle, über welche die MODIS Daten verteilt werden, vorgestellt. Die Anforderungen [REQ 12] und [REQ 14] (siehe Tabelle 3.2) besagen, dass *alle* Daten *kurz nach der Veröffentlichung durch NASA* im System bereitgestellt werden müssen. [REQ 12] bestimmt den Zeitraum, der zwischen der Veröffentlichung der Daten durch NASA und der Publikation in der Nebelkarte verstreichen darf. Zusätzlich muss es aber auch ein Ziel sein, dass zwischen der Aufnahme der Daten durch den Satelliten und der Publikation möglichst wenig

Anforderung	Produktcode	Beschreibung	Auflösung	Kanäle
True Color Wolkenbild 1-4-3	MOD02HKM MYD02HKM	L1B Calibrated Radiances	Räumlich: 500 m Zeitlich: 1-2 pro Tag	Kanal 1 (Rot) Kanal 4 (Blau) Kanal 3 (Grün)
Wolkenbild Kanal 3-6-7	MOD02HKM MYD02HKM	L1B Calibrated Ra- diances	Räumlich: 500 m Zeitlich: 1-2 pro Tag	Kanal 3 (Grün) Kanal 6 (ther- males Infrarot) Kanal 7 (kurz- welliges Infra- rot)
Wolkenober- flächentem- peratur	MOD06_L2 MYD06_L2	MODIS Cloud Product	Räumlich: 5 km Zeitlich: 1-2 pro Tag	Parameter #9 des SDS: „Sur- face Tempera- ture“
Aerosolgehalt (Massen- konzentri- on)	MOD04_L2 MYD04_L2	MODIS Aerosol Pro- duct	Räumlich: 10 km Zeitlich: 1-2 pro Tag	Parameter #20 des SDS: „Mass Con- centration Land“
Wolkenmaske (Verlässlich- keit)	MOD35_L2 MYD35_L2	MODIS Cloud Mask	Räumlich: 250 m Zeitlich: 1-2 pro Tag	Parameter #8 des SDS: „Cloud Mask“ Bits 1-2 von Byte 0
NDVI	MOD13Q1 MYD13Q1	Vegetation In- dices	Räumlich: 250 m Zeitlich: 1 pro 16 Tage	16 days NDVI

Tabelle 4.1: Datenprodukte für Nebelkarte.ch

Zeit verstreicht. Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, bietet sich durch die NRT Prozessierung die Möglichkeit, substanziell Zeit einzusparen (Abbildung 4.2). Da die Daten auf Nebelkarte.ch der Visualisierung dienen, und keine wissenschaftlichen Berechnungen durchgeführt werden, wird in dieser Arbeit der Zeitgewinn durch die NRT Prozessierung höher gewertet als die Qualitätseinbusse, welche damit einhergeht. Die Daten sollen also wenn möglich von LANCE³ kommen. Dies ist für folgende Produkte gegeben:

- MOD02 (Reflektierte Strahlung)
- MOD04 (Aerosolprodukt)
- MOD06 (Wolkenprodukt)
- MOD35 (Wolkenmaske)

Das Produkt MOD13 (Vegetationsindex) wird sowieso nur alle 16 Tage neu erzeugt und nicht in NRT Qualität angeboten. Es wird von LAADS⁴ angeboten und soll in dieser Arbeit auch von dort geholt werden.

³ <http://lance.nasa.gov/>, zuletzt besucht am 5.10.2011.

⁴ <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>, zuletzt besucht am 5.10.2011.

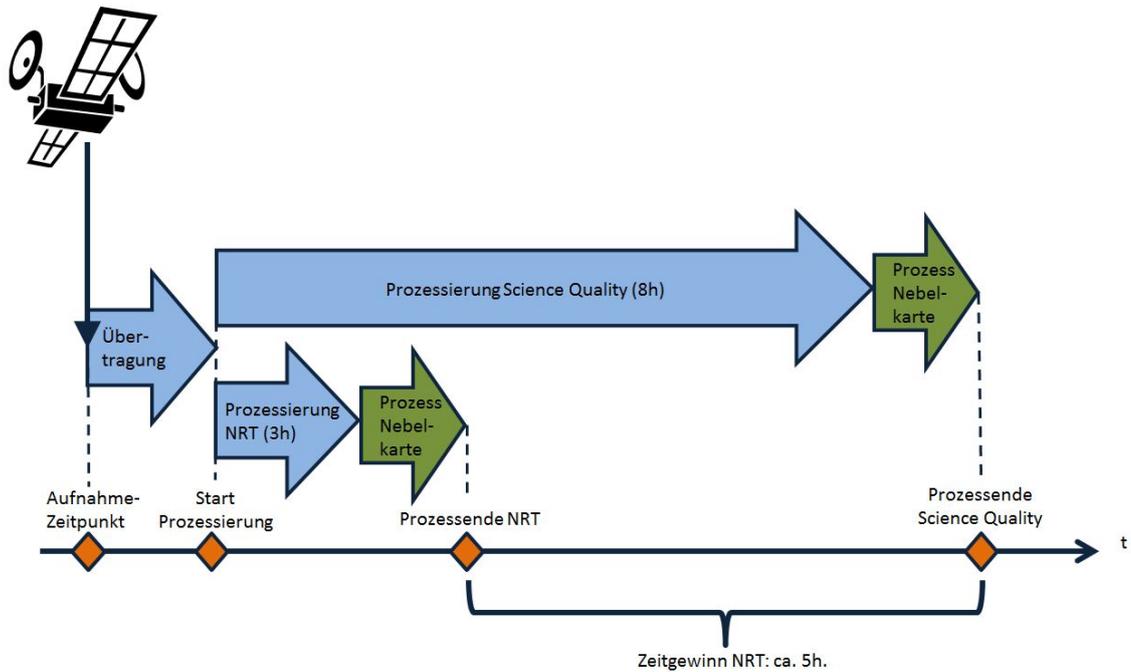


Abbildung 4.2: Prozessierungszeiten NRT und Science Quality

Die Datenquellen, also LANCE und LAADS, müssen folgende Bedingungen erfüllen, damit die automatische Datenanbindung funktionieren kann:

- Daten müssen automatisiert (ohne menschliche Interaktion) bezogen werden können.
- Daten müssen gezielt, nach gewissen Suchkriterien eingeschränkt, bezogen werden können. Diese sind:
 - Geographische Einschränkung
 - Zeitliche Einschränkung
 - Einschränkung nach Produkt

In der Folge werden die beiden Datenquellen hinsichtlich ihrer Tauglichkeit zum automatischen Datenbezug untersucht und beschrieben.

LANCE MODIS

Das System LANCE (*Land Atmosphere Near Realtime Capability for EOS*) stellt die prozessierten Daten auf zwei redundanten FTP (*File Transmission Protocol*) Servern zur Verfügung:

- `nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov`
- `nrt2.modaps.eosdis.nasa.gov`

Die Bedingung des automatischen Bezuges der Daten ist durch die FTP Schnittstelle somit gegeben. In Kapitel 2.2.1 wurde bereits angedeutet, wie die Daten auf den FTP Servern organisiert sind. Es ist einfach möglich, nach inhaltlichen Kriterien zu suchen, weil der Produktname im Verzeichnispfad (und auch im Filenamen) enthalten ist. Auch die Suche nach zeitlichen Kriterien ist einfach möglich, da die Verzeichnisse nach Jahr und Tag geordnet sind und die Filenamen einen

Zeitstempel enthalten. Es gibt zudem für jedes Produkt einen Ordner „Recent“, welcher die (ungefähr) 1500 aktuellsten Datensätze enthält. Beispiel eines Zugriffspfades: `ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD02QKM/2011/280/MOD02QKM.A2011280.0710.005.NRT.hdf`. Erläuterung des Beispiels:

- `ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/` Server und Pfad zum Verzeichnis aller Produkte
- `MOD02QKM/` Unterverzeichnis des gewünschten Produktes
- `2011/280/` Verzeichnispfad für den 280 Julianischen Tag des Jahres 2011
- `MOD02QKM.A2011280.0710.005.NRT.hdf` Filename, welcher wie folgt aufgebaut ist:
 - `MOD02QKM` Produktebezeichner
 - `A2011280` Datumstempel (mit Jahr und julianischem Tag)
 - `0710` Zeitstempel (Aufnahmezeitpunkt)
 - `005` Kollektionsnummer
 - `NRT` Near Real-Time Flag
 - `hdf` File Typ

Es bleibt also die Einschränkung nach geographischen Kriterien, um gezielt nur Datensätze zu holen, die das gewünschte Untersuchungsgebiet abdecken. Die Daten sind auf der FTP-Schnittstelle *nicht* räumlich indexiert. Jedoch wird für jedes Datenfile auch ein kleines (ca. 17 KB grosses) Metafile abgelegt, welches die Eckkoordinaten des Bildausschnittes enthält. Der Datenbezugsprozess kann diese Files lesen, um den Datensatz mit der korrekten geographischen Abdeckung zu finden. Die Abbildung 4.3 zeigt das Vorgehen schematisch auf.

Der in Abbildung 4.3 gezeigte Prozess wurde im Rahmen dieser Arbeit prototypisch umgesetzt. Dafür wurde ein Programm in der Scriptingsprache Tcl (*Tool Command Language*) [36] geschrieben. In Anhang A ist der Quellcode angeführt. Das Script sucht für jedes Produkt sowohl von Aqua (Produktenamen beginnt mit „MYD“) als auch von Terra (Produktenamen beginnt mit „MOD“) den aktuellsten Datensatz, welcher das Untersuchungsgebiet abdeckt. Die geographische Suche wurde im Script stark vereinfacht. Es wird lediglich geprüft, ob der Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes (also der Schweiz) innerhalb der äusseren Grenzen des Datensatzes liegt. Diese Prüfung muss in der definitiven Umsetzung sicherlich noch verbessert werden. Wird das Script auf der Kommandozeile gestartet, so listet es die URLs zu den gefundenen Files auf, und lädt diese auch gleich auf der Festplatte (Abbildung 4.4).

Betrachtet man diese Daten in einem Viewer, so kann man, sofern die Bewölkung es zulässt, die geographische Suche durch das Script visuell verifizieren. Die Abbildung 4.5 zeigt ein schönes Beispiel eines korrekt gefundenen Files. Es handelt sich hier um eine RGB Komposition des Produktes MYD021KM, welches mit dem Softwarepaket VISAT [9] visualisiert wird ((Kredit: "NASA/GSFC")).

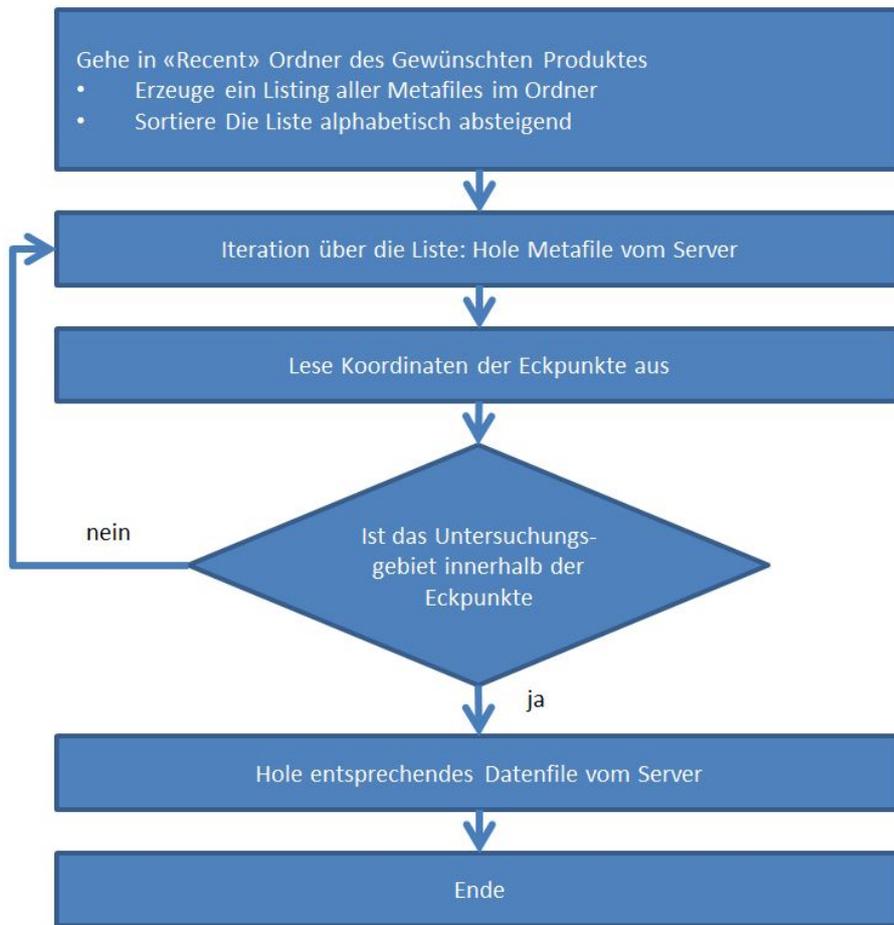


Abbildung 4.3: Ablauf Datenbezug für LANCE MODIS

```

PS D:\nebelkarte\_master_thesis\docs\tcl-scripts> tclsh .\lance-data-fetcher.tcl
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD02QKM/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD02QKM/Recent/MOD02QKM.A2011285.1040.005.NRT.hdf.met
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD02QKM/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD02QKM/Recent/MYD02QKM.A2011285.0055.005.NRT.hdf.met
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD04_L2/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD04_L2/Recent/MOD04_L2.A2011284.2310.051.NRT.hdf.met
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD04_L2/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD04_L2/Recent/MYD04_L2.A2011285.0055.051.NRT.hdf.met
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD35_L2/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MOD35_L2/Recent/MOD35_L2.A2011285.1020.005.NRT.hdf.met
checking for files in ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD35_L2/Recent
Found matching file: ftp://nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov/allData/1/MYD35_L2/Recent/MYD35_L2.A2011285.0255.005.NRT.hdf.met
PS D:\nebelkarte\_master_thesis\docs\tcl-scripts>
  
```

Abbildung 4.4: Output des Lance Data Fetcher Prototyps

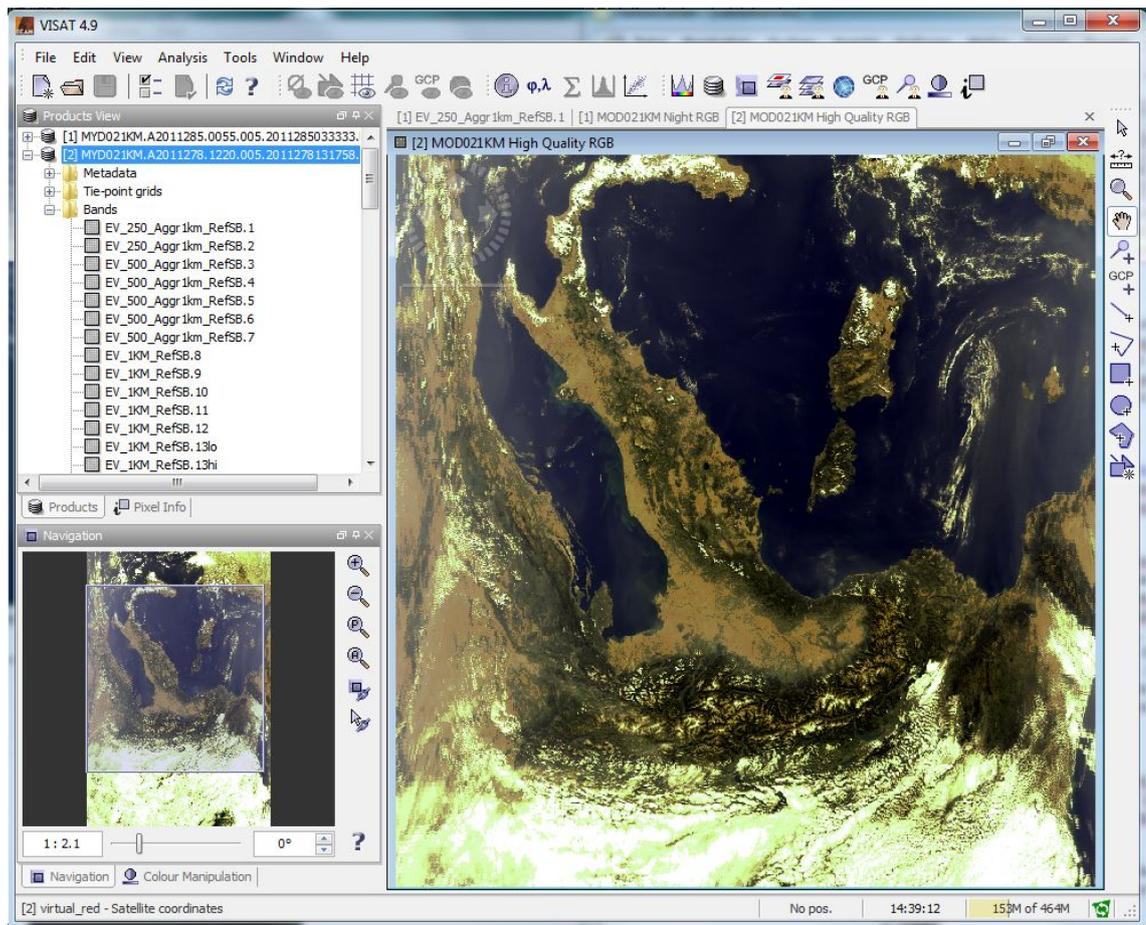


Abbildung 4.5: Visualisierung des Produktes MYD021KM mittels VISAT

Erkenntnisse Die NRT Produkte MOD02, MOD04, MOD06, MOD35 werden von LANCE-MODIS auf einem FTP Server angeboten. Produktname und Zeitstempel sind im Verzeichnispfad enthalten, was die thematische und zeitliche Einschränkung erlaubt. Da LANCE-MODIS auch Metafiles mit den Eckkoordinaten der Datenprodukte publiziert, ist dennoch mit vergleichsweise kleinem Aufwand die Suche nach geographischen Kriterien möglich. Somit sind für diese Produkte die Voraussetzungen für den automatischen Datenbezug gegeben.

LAADS

Das NDVI-Produkt MOD13 wird von LAADS (*Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System*) zur Verfügung gestellt. Im Kapitel 2.2.1 wurde bereits die Webservice Schnittstelle, welche die Suche und den Zugriff auf die Daten von LAADS erlaubt, vorgestellt. Diese ist auch in der Anforderung [REQ 15] erwähnt. Die Datensätze selber sind vergleichbar mit LANCE MODIS auf einem FTP Server abgelegt und in Verzeichnisstrukturen organisiert. MOD13 unterscheidet sich insofern von den bisher untersuchten Datenprodukten, als es ein Level 3 Produkt ist. Dies bedeutet, dass es globale Abdeckung hat, georeferenziert und umprojiziert ist (in einer Sinus-Projektion) und in Kacheln organisiert abgelegt ist. Der Pfad auf eine Datei sieht wie folgt aus:

```
ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData/5/MOD13Q1/2011/241/  
MOD13Q1.A2011241.h18v04.005.2011258025102.hdf
```

Erläuterung:

- *ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData/5/* Server und Pfad zum Verzeichnis aller Produkte (5 ist die Kollektionsnummer)
- *MOD13Q1/* Unterverzeichnis des gewünschten Produktes
- *2011/241/* Verzeichnispfad für den 241 julianischen Tag des Jahres 2011 (29.8.2011). Es gibt ein Verzeichnis alle 16 Tage, gemäss dem Produktionsrhythmus des Produktes
- *MOD13Q1.A2011241.h18v04.005.2011258025102.hdf* Filename, welcher wie folgt aufgebaut ist:
 - *MOD13Q1* Produktebezeichner
 - *A2011241* Datumstempel (mit Jahr und julianischem Tag)
 - *h18v04* Kachelkoordinaten: Horizontal 18, Vertikal 4
 - *005* Kollektionsnummer
 - *2011258025102* Zeitpunkt der Prozessierung (Jahr, julianischer Tag, Stunde, Minute, Sekunde)
 - *hdf* File Typ

Es ist also sowohl Zeit, als auch Ort und Typ im Verzeichnispfad enthalten. Die Kachelkoordinaten für Mitteleuropa lauten **h18v04**. Die Abbildung 4.6 gibt die globale Kachel-Einteilung der Level 3 - Produkte von LAADS wieder ⁵.

⁵ Quelle: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>, zuletzt besucht am 12.10.2011.

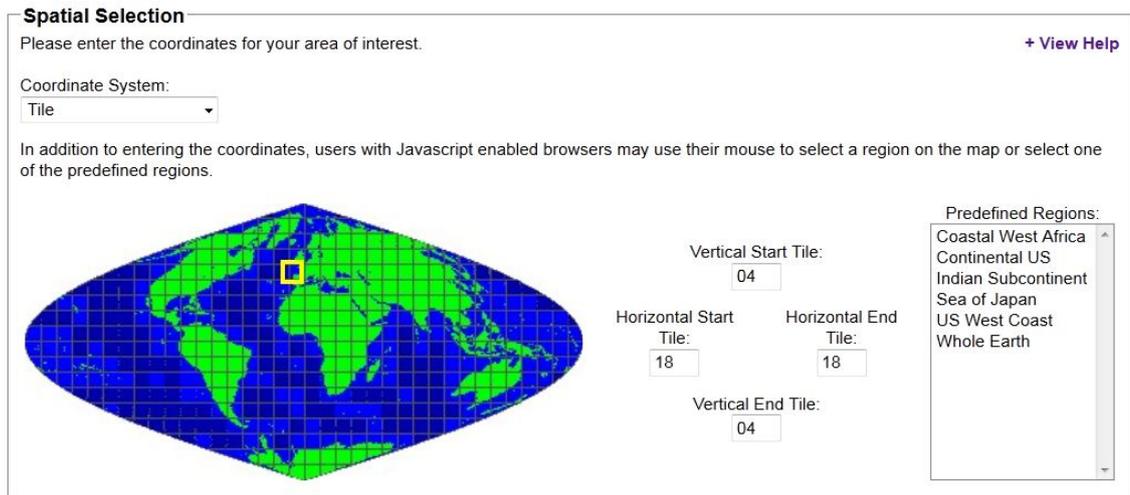


Abbildung 4.6: Kachelung von Level 3 Produkten in LAADS

Der Zugriff auf die aktuellste Datei kann gemäss dem Prozess in Abbildung 4.7 einfach automatisiert werden. In der Abbildung 4.8 wird der NDVI Kanal einer derart gefundenen Kachel mittels VISAT visualisiert.

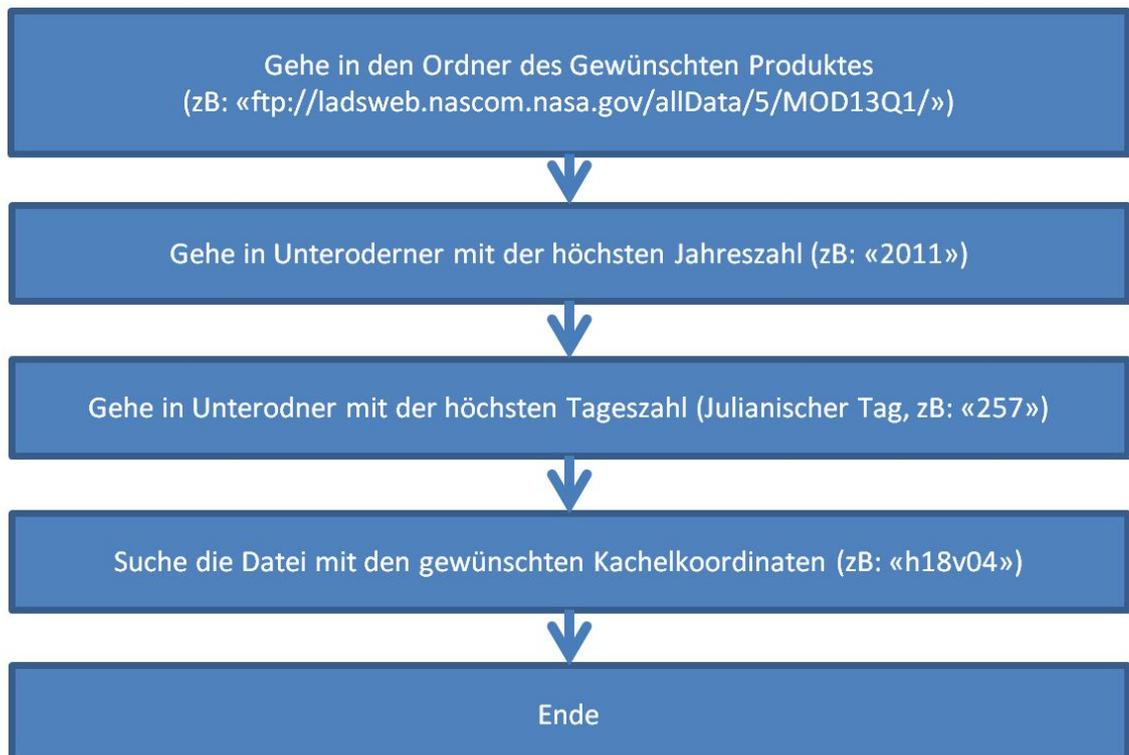


Abbildung 4.7: Datenbezugsprozess für MOD13 Level 3 Produkte

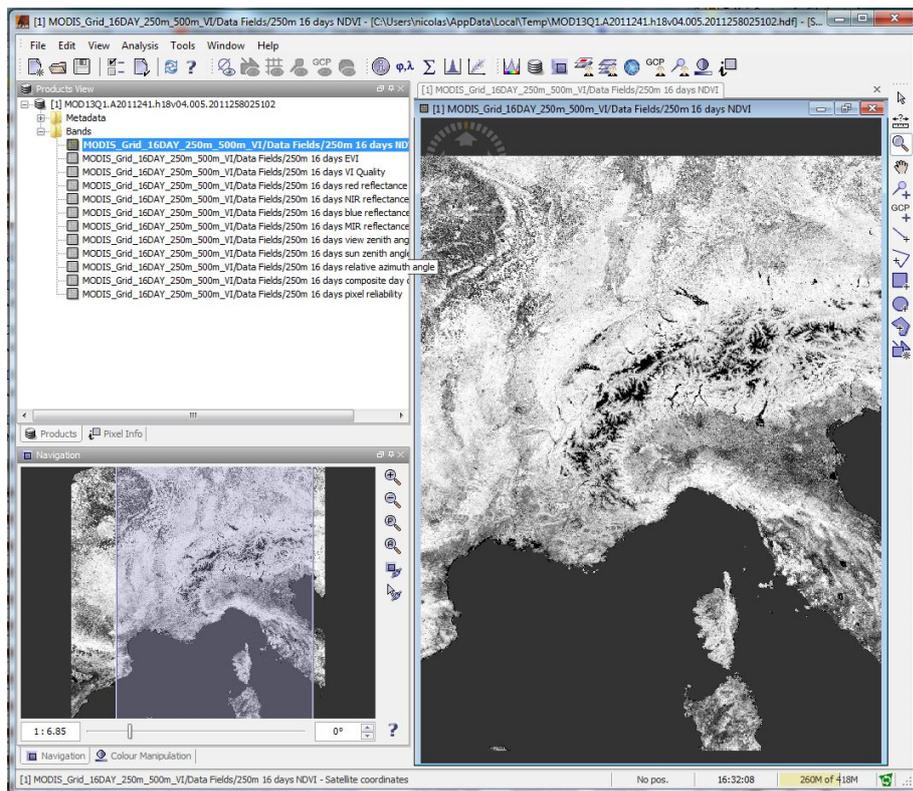


Abbildung 4.8: Kachel H18 / V4 des Produktes MOD13 (Kredit: "NASA/GSFC")

Erkenntnisse Das NDVI Produkt MOD13 ist Level 3 prozessiert, und liegt auf dem FTP Server von LAADS bereit. Da Produktname, Zeitstempel und geographische Verortung im Verzeichnispfad enthalten sind, ist eine automatisierte Suche nach der aktuellsten Datei eines bestimmten Gebietes sehr einfach umsetzbar. Die Anforderung [REQ 15], welche die Anbindung der MODAPS Web Service Schnittstelle (siehe Kapitel 2.2.1) vorsieht, kann daher umgangen werden.

4.3.3 Geometrische Aufbereitung

Die folgenden Anforderungen aus dem Kapitel 3.2 betreffen den Prozess-Schritt der geometrischen Aufbereitung:

- [REQ 2] : Die Wokendatensätze werden zusammen mit den punktuellen Informationen der Nebelkarte dargestellt. Implizit bedeutet dies, dass die Datensätze in derselben Kartenprojektion vorliegen müssen.
- [REQ 5] : Die Wolkendatensätze müssen das Untersuchungsgebiet (also die Schweiz) komplett abdecken, aber sie können auch grössere Gebiete umfassen.
- [REQ 11] : Die räumliche Auflösung der Datensätze soll mindestens 1 km betragen. Sofern grössere Auflösungen vorliegen, sollen diese auch verwendet werden (MODIS nimmt im sichtbaren Bereich des Spektrums mit bis zu 250 m Auflösung auf, siehe Kapitel 2.1.3).
- [REQ 13] : Die Lageungenauigkeit der Wolkenkarten darf für jeden Punkt nicht grösser als 5 km sein.

Alle Produkte der Wolkenkomponente sind von MODAPS mindestens auf Level 1B prozessiert. Dies bedeutet, dass sie alle bereits georeferenziert sind. Die Level

```

1 PROJCS["WGS84 / Simple Mercator",
  GEOGCS["WGS 84",
    DATUM["WGS_1984",
      SPHEROID["WGS_1984", 6378137.0, 298.257223563]],
    PRIMEM["Greenwich", 0.0],
6    UNIT["degree", 0.017453292519943295],
    AXIS["Longitude", EAST],
    AXIS["Latitude", NORTH]],
  PROJECTION["Mercator_1SP_Google"],
  PARAMETER["latitude_of_origin", 0.0],
11  PARAMETER["central_meridian", 0.0],
  PARAMETER["scale_factor", 1.0],
  PARAMETER["false_easting", 0.0],
  PARAMETER["false_northing", 0.0],
  UNIT["m", 1.0],
16  AXIS["x", EAST],
  AXIS["y", NORTH],
  AUTHORITY["EPSG","900913"]]

```

Listing 4.1: WKT von EPSG:900913

1B (MOD02) und Level 2 (MOD04, MOD06, MOD35) Daten liegen in der *Swath-Geometrie*⁶ vor. Ihnen sind zusätzliche Informationsebenen beigelegt, welche pro Pixel die geographische Verortung, sowie weitere Informationen (siehe Kapitel 2.1.4) enthalten. Die Level 3 Produkte haben globale Abdeckung und liegen bereits in einer Sinus-Kartenprojektion vor.

Um der Anforderung [REQ 2] gerecht zu werden, müssen die Datensätze lediglich in die Kartenprojektion der bestehenden Nebelkarte umgerechnet werden. Dies ist eine sphärische Mercatorprojektion mit dem EPSG - Code „900913“. EPSG bedeutet (*European Petroleum Survey Group*). Diese Arbeitsgruppe der europäischen Öl- und Gaskundungsfirmen hat die weltweit gängigen Koordinatenreferenzsysteme in ein einheitliches System überführt. Heute wird dieses System von der Nachfolgeorganisation OPG weiter unterhalten. Die Projektion mit dem Code 900913 wurde von Google Maps geprägt (er liest sich wie „g00gle“), und wird von vielen gängigen Web Mapping Infrastrukturen verwendet (inklusive Bing Maps, OpenLayers). Die Parameter dieser Projektion können in WKT (*Well Known Text*) Notation ausgedrückt werden (siehe Listing 4.1).

Mit VISAT wurde eine Umrechnung des Produktes MOD02 von der Swath-Geometrie nach „EPSG:900913“ durchgeführt. Die Software erlaubt solche *reprojections* in verschiedene Koordinatensysteme. Die Abbildung 4.9 zeigt ein Bild in Swath-Geometrie. Abbildung 4.10 zeigt dasselbe Bild in der Kartenprojektion „EPSG:900913“.

⁶ Streifenansicht des Sensors

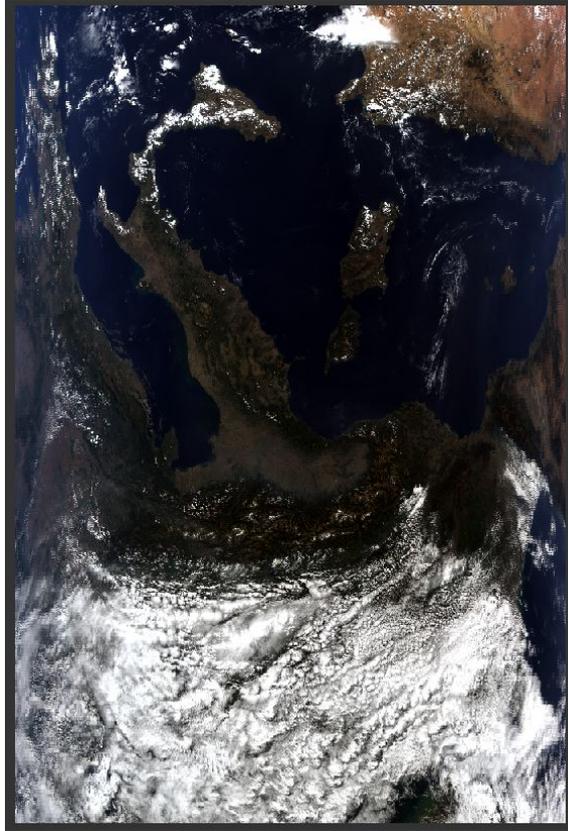


Abbildung 4.9: MOD02 RGB in Swath-Projektion (Kredit: "NASA/GSFC")



Abbildung 4.10: MOD02 RGB in EPSG:90013 Projektion (Kredit: "NASA/GSFC")

Auch das Level 3 Produkt MOD13, welches bereits in Sinus-Projektion vorliegt, kann in die Zielprojektion EPSG:90013 überführt werden. Die Abbildung 4.11 zeigt den NDVI in einer Graustufenskala in der Originalprojektion. Abbildung 4.12 zeigt dasselbe Bild, umprojiziert auf EPSG:900913.

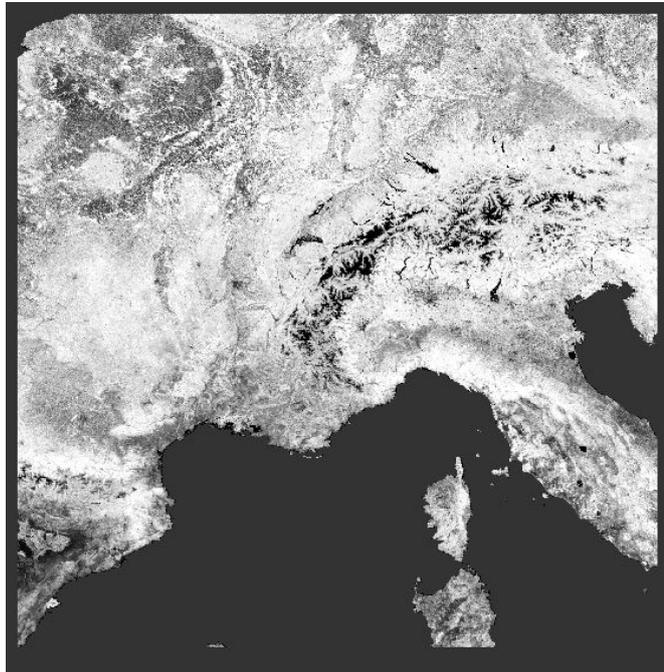


Abbildung 4.11: MOD13 NDV in Originalgeometrie (Kredit: "NASA/GSFC")

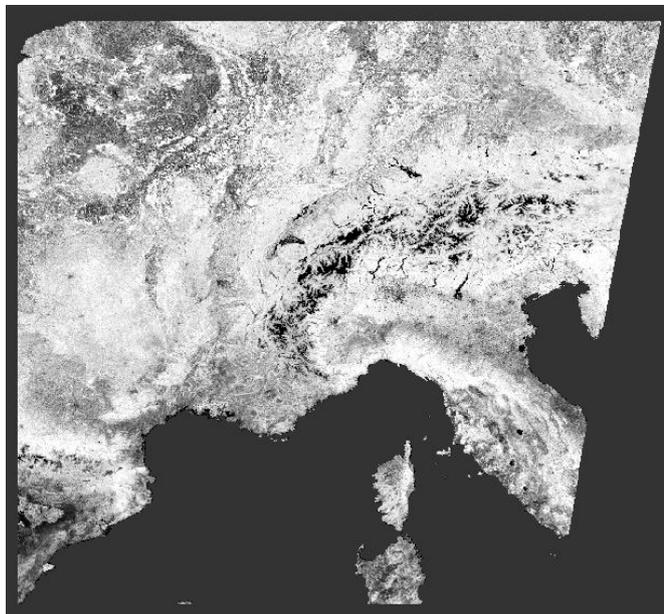


Abbildung 4.12: MOD13 NDV in EPSG:900913 (Kredit: "NASA/GSFC")

Die Anforderung [REQ 5] kann erfüllt werden, indem sichergestellt wird, dass bei der Auswahl der Szene vom Server das gesamte Untersuchungsgebiet der Schweiz in der Szene enthalten ist. Dies wurde in Kapitel 4.3.2 bereits gezeigt.

Die Anforderung [REQ 11] definiert die Mindestauflösung von 1 km für die darzustellenden Produkte. Dies ist nicht gegeben für MOD06 (Wolkenoberflächentemperatur) mit 5 km Auflösung und MOD04 (Aerosol Produkt) mit 10 km Auflösung (siehe Tabelle 4.1). Diese beiden Produkte können also den Anforderungen nicht genügen. Die anderen 3 Produkte übertreffen die Anforderung und liegen in 250 m und 500 m Auflösung vor.

Die Anforderung [REQ 13] betrifft die Lagegenauigkeit der Daten. Wie in [40] untersucht und beschrieben, liegt die Lagegenauigkeit der MODIS Ausgangsdaten konstant bei ca. 50 m im Nadir (siehe Kapitel 2.1.4). Somit kann diese Anforderung als erfüllt betrachtet werden.

Erkenntnisse

- MODIS Datensätze sind bereits georeferenziert und können mittels gängiger Softwarebibliotheken in die gewünschte Zielprojektion überführt werden.
- Nicht alle Produkte genügen der Anforderung der Mindestauflösung. Es liegt in der Hand des Auftraggebers der Nebelkarte, ob diese Produkte integriert werden sollen oder nicht.
- Die Lagegenauigkeit der MODIS Produkte genügt den Anforderungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Prozessschritt „geometrische Aufbereitung“ ohne weiteres implementiert werden kann.

4.3.4 Visuelle Aufbereitung und Symbolisierung

In Kapitel 2.2.2 wurden die theoretischen Grundlagen der digitalen kartographischen Aufbereitung von bildhaften Daten vermittelt. Folgende Anforderung ist im Kontext der Symbolisierung der Daten relevant: [REQ 7] : *Das System zeigt eine Legende mit dem Informationsgehalt des dargestellten Layers an.* Eine weitere, im Kapitel 3 nicht explizit erwähnte Anforderung ist, dass die darzustellenden Datenlayer in visuell ansprechender und leicht zu erfassender Form angezeigt werden. Im Folgenden soll nun für jede in Kapitel 4.3.1 erwähnte Informationsebene die Art und Weise der visuellen Aufbereitung und Symbolisierung erläutert werden.

MOD02: True Color Wolkenbild 1-4-3 und Wolkenbild Kanal 3-6-7 Diese Layers werden, wie früher schon erwähnt, aus dem MOD02 Produkt erzeugt. Dieses Produkt enthält die Messungen von MODIS in den einzelnen Spektralkanälen. Die Einheit der Messwerte ist $W/(m^2\mu m sr)$, was die Intensität der gemessenen Strahlung ausdrückt. Die Messwerte in den Originaldaten bewegen sich je nach gewähltem Kanal in einem Bereich zwischen 0 und ca. 650. Die Bänder sind in 32 Bit codiert und erlauben daher eine Breite von 1024 Messwerten pro Band.

Diese beiden Produkte werden als RGB Bilder dargestellt. Eine Legende macht aufgrund der kontinuierlichen Farb- und Helligkeitsverteilung der Bilder keinen Sinn. Jedoch ist eine visuelle Aufbereitung gemäss den Grundlagen im Kapitel 2.2.2 sicher angebracht, um den Kontrast zu erhöhen und somit den visuellen Eindruck und die Interpretierbarkeit der Daten zu verbessern.

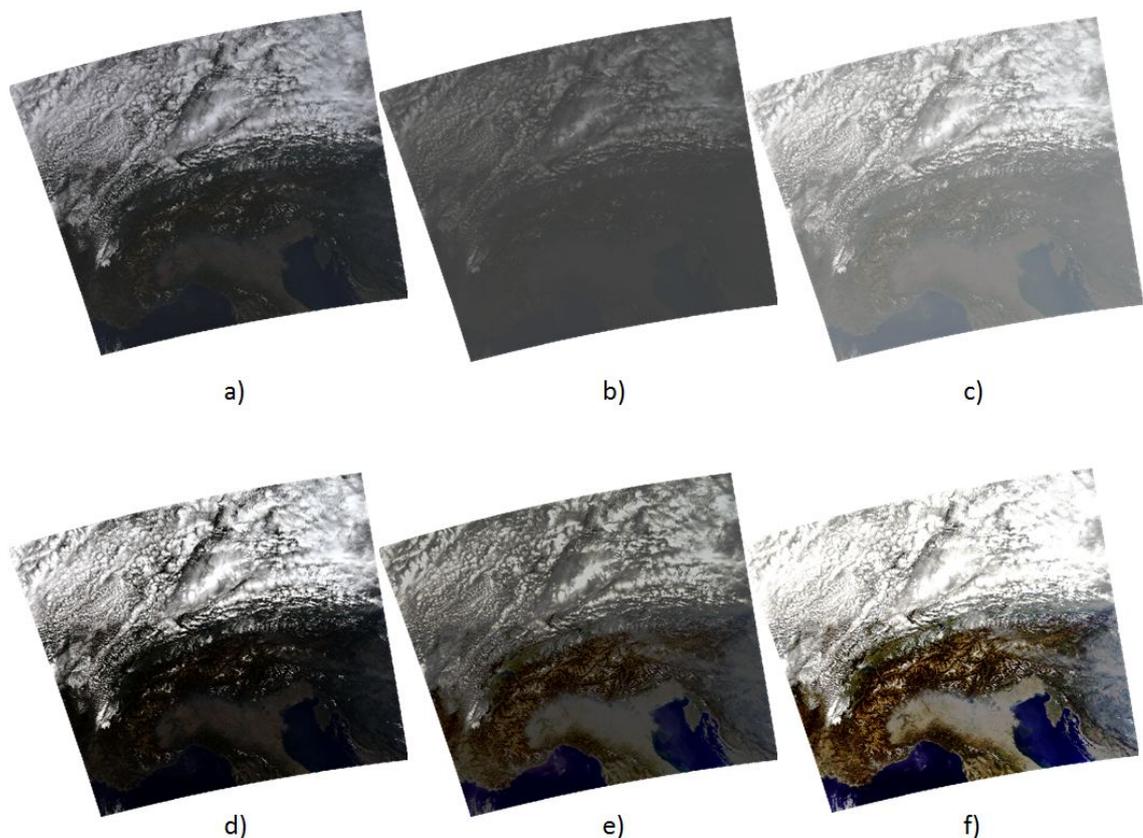


Abbildung 4.13: Einfache Kontrastverbesserungsmethoden

Die Abbildung 4.13⁷ zeigt die Anwendung der im Kapitel 2.2.2 vorgestellten Methoden zur Kontrastverbesserung auf. Es wird sechs mal daselbe Bild dargestellt. Es wurde bewusst ein Bild mit grosser Variabilität ausgewählt: helle Bewölkung, mittlere Landpartien und dunkles Meer sind enthalten. In der Oberen Reihe a) - c) wurden die Histogramme der drei Kanäle nicht gedehnt. In der unteren Reihe d) - f) wurden die Histogramme so gedehnt, dass 95% aller Pixel auf der ganzen Breite dargestellt werden. Die unteren und oberen 2.5% der Pixel saturieren beim minimalen und maximalen Helligkeitswert. In der waagerechten werden verschiedene Histogrammgleichsmethoden verglichen: Bei a) und d) wurde kein Histogrammgleich gemacht. Bei b) und e) wurde eine Histogrammnormalisierung durchgeführt, d. h. die Histogramme wurden gemäss einer Gauss'schen Normalverteilung in der Breite verteilt. Und bei c) und f) wurde ein Histogrammausgleich gemäss Kapitel 2.2.2 angewendet. Diese liefert die besten Resultate (Bild f). Ausserdem zeigt die Anordnung, dass eine Anwendung der Kontrastdehnungen separat auf die einzelnen Kanäle keine nachteiligen Effekte auf die Farbbalance des Bildes hat.

Das Verfahren der Histogrammausgleichs ist ohne menschliche Interaktion anwendbar. Die visuelle Verbesserung durch die Kontrastdehnung ist augenscheinlich. Es soll demnach in der Prozesskette zur Anwendung kommen.

MOD13: NDVI Im Kapitel 2.1.3 wurden die groben theoretischen Grundlagen des NDVI erläutert. Die Messwerte des NDVI sind, wie der Name sagt, normalisiert und bewegen sich im Bereich zwischen -1 und 1. Je näher der Wert bei 1 liegt, desto vitaler und gesünder ist die Vegetation. Eine grobe Klassierung des NDVI Wertebereiches der NASA EOS Produkte, denen auch MOD13 angehört, liefert [35]. Demnach gilt:

- $NDVI \leq 0.1$: Entspricht nacktem Fels, Sand oder Schnee
- $0.2 \leq NDVI \leq 0.3$: Busch und Grasland
- $0.6 \leq NDVI \leq 0.8$: Temperierte und tropische Regenwälder

In den Darstellungen der aktuellen Literatur wird sehr oft ein Farbverlauf von Beige - Weiss - helles Grün - Dunkles Grün von tiefem zu hohem NDVI angewandt. In der vorliegenden Arbeit wird ebenfalls ein solcher Verlauf empfohlen. Die Abbildung 4.14 zeigt die Definition des Farbverlaufs in BEAM anhand eines konkreten Bildbeispielen. Folgende RGB Farbwerte wurden für den Verlauf gewählt:

- Beige: 163, 137, 87
- Weiss: 255, 255, 255
- Hellgrün: 106, 162, 111
- Dunkelgrün: 27, 59, 43

Die Abbildung 4.15 zeigt ein entsprechend aufbereitetes MOD13 NDVI Produkt.

⁷ Bild: Ausschnitt aus der Szene MYD021KM.A2011278.1220.005.NRT.hdf (Kredit: "NASA/GSFC")

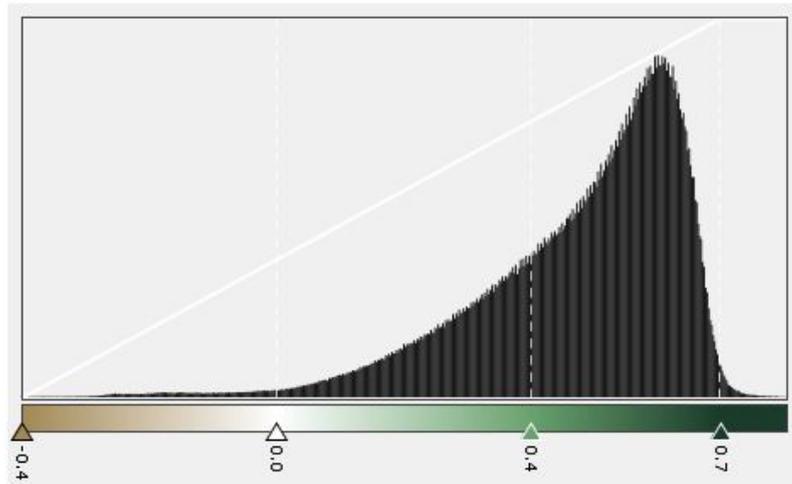


Abbildung 4.14: Definition des Farbverlaufs für MOD13 NDVI

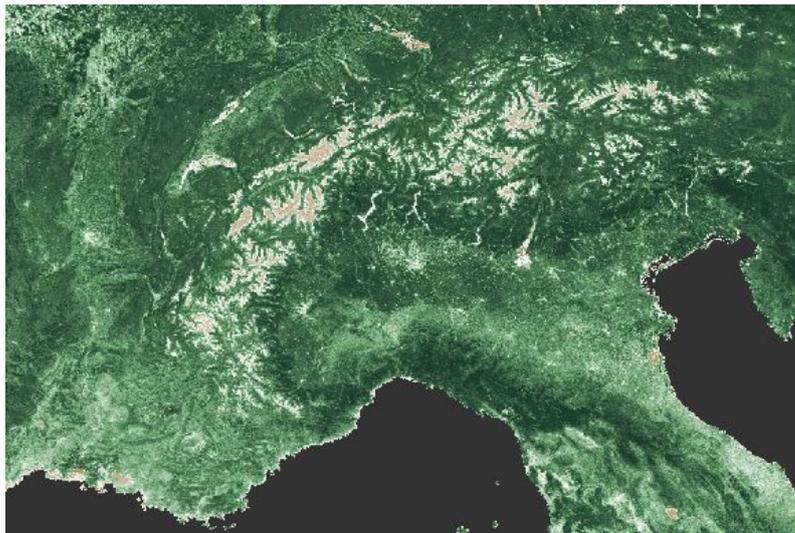


Abbildung 4.15: MOD13 NDVI Produkt mit Farbverlauf

MOD06: Wolkenoberflächentemperaturen Der Layer 16 im Produkt MOD06 (Clouds) enthält die Wolkenoberflächentemperaturen in Kelvin. Der Gültigkeitsbereich geht von 150 bis 350°K. Dies entspricht einem Bereich von -123 bis 77°C. Allerdings bewegen sich Wolkentemperaturen realistischerweise zwischen ca. 220 und 290°K. Für die Symbolisierung eines Temperatur-Sachverhaltes bietet sich ein Farbverlauf von dunkelblau über Zwischenfarben nach rot für die Bedeutung kalt nach warm an (siehe Abbildung 4.16. Das Produkt MOD06_L2.A2011319.2315.051.NRT (Kredit: "NASA/GSFC") wurde in der Abbildung 4.17 entsprechend eingefärbt. Die blauen Flächen entsprechen kälteren, aufgrund der meteorologischen Gesetzmässigkeit, auch höheren Wolken. Alle Flächen, die nicht bewölkt sind, wurden im Bild ausmaskiert.

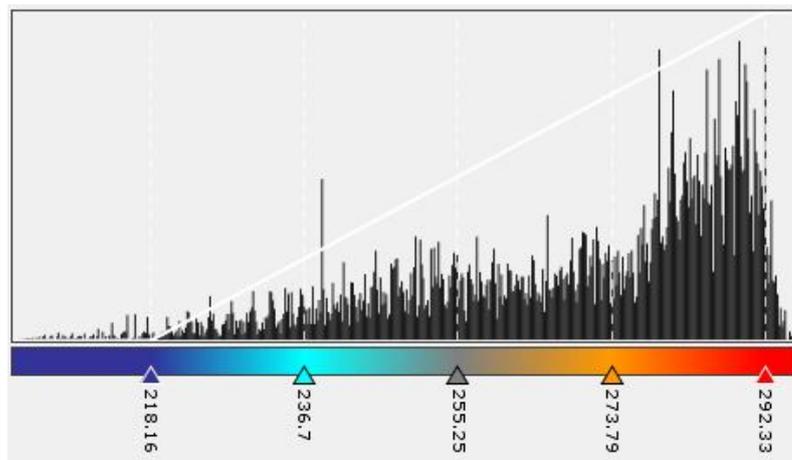


Abbildung 4.16: Definition des Farbverlaufs für MOD06

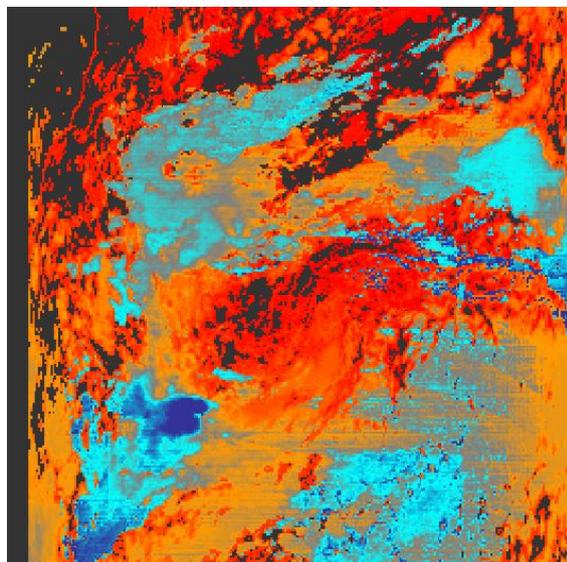


Abbildung 4.17: MOD06 Wolkenoberflächentemperaturen mit Farbverlauf

MOD04: Aerosolgehalt Der Layer 20 im Produkt MOD04 (Aerosol) enthält die Massenkonzentration an Aerosolen über Land. Der Gültigkeitsbereich geht von 0 bis 1000 mal 10^{-6} g/m². Je nach Bildausschnitt und Aerosolvorkommen kann der

Wertebereich sehr unterschiedlich sein und möglicherweise nur einen ganz kleinen Teil des Gültigkeitsbereichs einnehmen. Für die bessere Lesbarkeit des Bildes empfiehlt sich daher, eine Histogrammdehnung vorzunehmen und die Grenzwerte des dargestellten Bereiches in Form einer Legende anzuzeigen (Abbildung 4.19). Der Aerosolgehalt kann als grau- oder „braunstufen“ angezeigt werden. Wenn die Pixel ohne Werte (im Bild dunkelgrau) transparent dargestellt werden, so kann man eine schöne Überlagerung mit anderen Ebenen erreichen (Abbildung 4.18).



Abbildung 4.18: MOD04 Aerosol Massenkonzentration

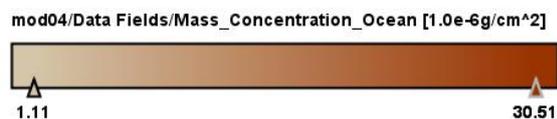


Abbildung 4.19: Legende für MOD04 Aerosol Massenkonzentration

MOD35: Wolkenmaske Üblicherweise wird die Wolkenmaske nicht direkt dargestellt, sondern für die Verarbeitung und Auswertung anderer Bildprodukte verwendet. Dabei ist wichtig zu wissen, ob an einer bestimmten Stelle im Bild Wolken vorkommen oder nicht. Insbesondere über Schnee und Eis ist diese Unterscheidung nicht einfach. Der Parameter #8 aus dem SDS von MOD35 enthält die Information, wie verlässlich die Wolkenmaske ist. Er enthält die vier möglichen Werte:

- sicher bewölkt
- wahrscheinlich bewölkt
- wahrscheinlich klar
- sicher klar

Diese vier diskreten Werte der Nominalskala können mit einer sinnvollen Farbe belegt und dargestellt werden. Ein Beispiel, das die Möglichkeiten von NCL

(*NCAR Command Language*) aufzeigt⁸ ist in Abbildung 4.20 gezeigt (Kredit: University Corporation for Atmospheric Research, UCAR).

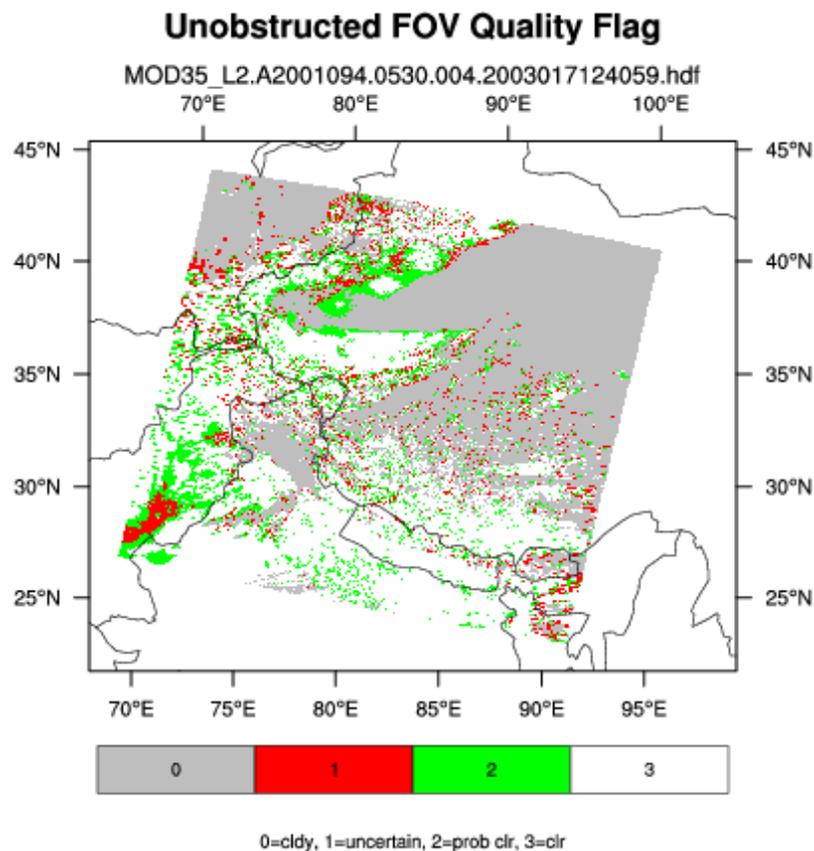


Abbildung 4.20: Darstellung der Wolkenmaske in diskreten Farben

Erkenntnisse Die ausgewählten Bildprodukte können mittels BEAM in geeigneter Form aufbereitet und dargestellt werden. Es kommen Methoden der Kontrastverbesserung mittels Histogrammdehnung und -ausgleich zum Einsatz, welche automatisiert anwendbar sind.

- Echt- und Falschfarbenbilder des MOD02 Produktes können mittels Histogrammausgleich, angewendet auf die einzelnen Farbkanäle, visuell ansprechend und automatisiert aufbereitet werden.
- Der NDVI kann mittels Farbverlauf „Beige - Weiss - Hellgrün - Dunkelgrün“ visualisiert werden, wobei das Ausgeben einer Farblegende zwingend ist.
- Die Wolkenoberflächentemperaturen können mittels Farbverlauf „Dunkelblau - Hellblau - Grau - Orange - Rot“ visualisiert werden, wobei das Ausgeben einer Farblegende zwingend ist.
- Für die Darstellung des Aerosolgehaltes bietet sich ein Grau- oder Braunstufenverlauf an.
- Die vier diskreten Werte der Wolken-Verlässlichkeit können durch eine einfache Farbzuzuweisung visualisiert werden.

⁸ Quelle: <http://www.ncl.ucar.edu/Applications/HDF.shtml>, zuletzt besucht am 30.11.2011.

Kapitel 5

Technisches Konzept

Im Kapitel 4 wurde die Prozesskette für den automatischen Bezug und die geometrische und thematische Aufbereitung von MODIS Daten für die Darstellung in einer Webapplikation beschrieben und validiert. Im Eingang der Arbeit (Kapitel 1.4.3) wurde erwähnt, dass der Prozess in Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzt wird. In diesem Abschnitt sollen aber dennoch wichtige Grundlagen zusammengetragen werden, welche die Umsetzung des gesamten Systems erleichtern. In einem ersten Schritt wird ein Überblick gegeben über die beteiligten Komponenten des Gesamtsystems. Anschliessend werden die einzelnen Komponenten hinsichtlich der technischen Umsetzung genauer beleuchtet.

5.1 Überblick

Gemäss [8] ist eine Softwarearchitektur [...] *die Struktur oder die Strukturen des Systems, das alle Software-Elemente, die sichtbaren Eigenschaften sowie die Beziehungen der Elemente untereinander genau beschreibt*. In diesem Abschnitt soll eine grobe Architektur skizziert und verfeinert werden.

5.1.1 Komponentendiagramm

Das Komponentendiagramm in Abbildung 5.1 zeigt auf hoher Abstraktionsebene die wichtigen beteiligten Software-Komponenten und Interaktionen des Gesamtsystems. Grau hinterlegt ist das bisherige System Nebelkarte.ch. Es besteht aus einem Server-Teil, der die ganzen Inhalte der Webseite sammelt, aggregiert und bereitstellt. Ein Teil der Logik, insbesondere was das Darstellen der interaktiven Karte betrifft, läuft im Browser des Endbenutzers ab und wird daher als separate Komponente ausgezeichnet. Korrekterweise muss hier erwähnt werden, dass die OpenStreetMap-Hintergrundkarte auf Nebelkarte.ch heute schon von einem separaten Map Server kommt, der in der Abbildung nicht eingezeichnet ist.

Grün hinterlegt sind die Komponenten, die neu dazukommen, um die MODIS Atmosphärendaten auf die Webapplikation zu bringen. Zum einen ist dies ein Map Server. Dieser Teil präsentiert die Karten als Bilder im Internet und stellt eine einfache Integration im Web Mapping Client sicher. Es gibt eine Vielzahl von kommerziellen und frei verfügbaren Produkten auf dem Markt. Je nach Implementation kann ein solcher Server sehr spezifische Wünsche des Clients bezüglich der Darstellung der Karte erfüllen, z. B. Kartenprojektion, Ausschnitt, Grösse, aber auch Symbolisierung und Legende. Viele Map Server Implementatio-

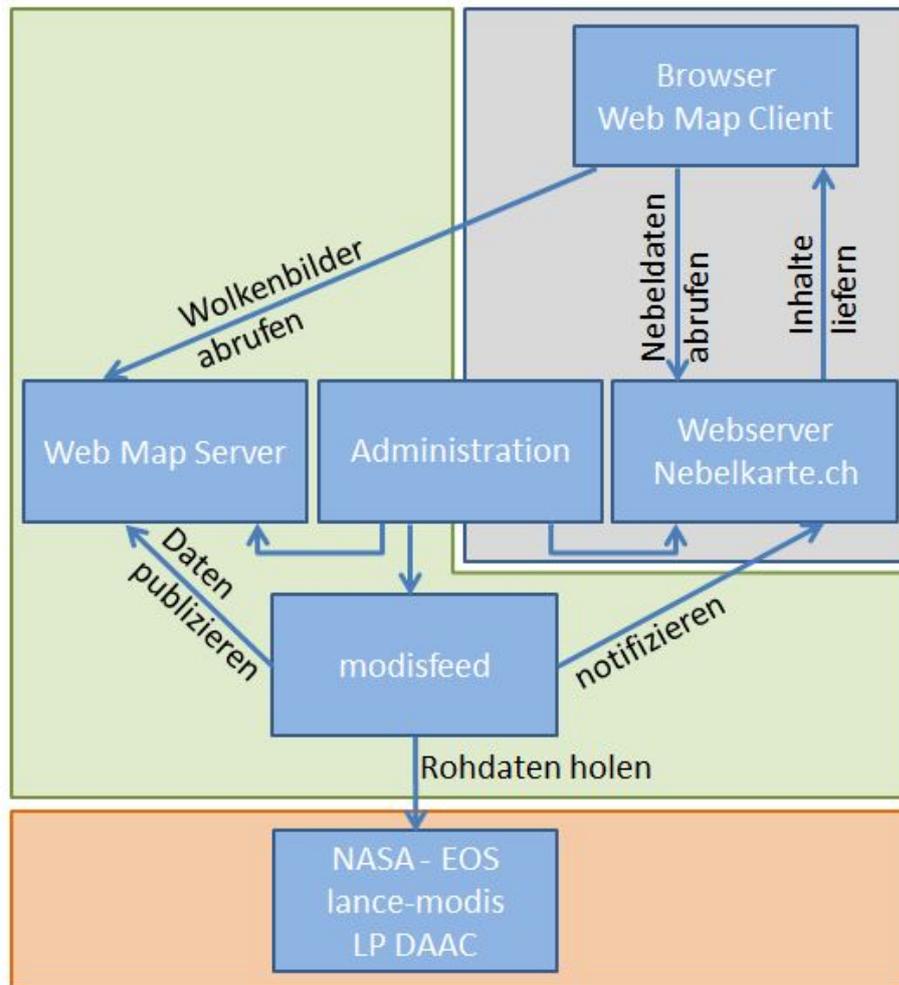


Abbildung 5.1: Softwarekomponenten der Nebelkarte mit MODIS Bildern

nen genügen heutzutage dem WMS-Standard der OGC. Dieser definiert eine HTTP-Schnittstelle für das Anfordern von räumlichen Kartenbildern (siehe [27]). Die zweite neue Komponente soll in der Folge „modisfeed“ genannt werden. Sie ist für das Abholen und das Verarbeiten der MODIS Datenprodukte gemäss dem im Kapitel 4 beschriebenen Prozess verantwortlich. Es handelt sich um einen *Geoprocessing*-Vorgang, der in regelmässigen Abständen angestossen werden muss, um zu überprüfen, ob neue Datensätze verfügbar sind. Der Prozess muss einerseits die fertig verarbeiteten Datensätze dem Map Server übergeben und andererseits die Webapplikation darüber unterrichten, dass diese Datensätze am Frontend zur Auswahl angeboten werden können. Schliesslich bedarf es noch einer Administrationskomponente, welche es erlaubt, die anderen Komponenten zu überwachen und zu steuern. Durch die „modisfeed“-Komponente sind schliesslich auch die Datenserver vom NASA-EOS System angebunden (orange hinterlegt).

5.1.2 Aufgabenverteilung

Moderne Web Mapping Server stellen eine Vielzahl von Funktionen zur Verfügung. An dieser Stelle kann vorgehend erwähnt werden, dass für die Präsen-

tation der MODIS Bilder das Open Source Produkt GeoServer¹ vorgeschlagen wird. Dieses ausgereifte Produkt, das auf der Java Technologie beruht, hat eine grosse und aktive Nutzergemeinde und die Firma GeoSolutions² als Sponsor im Hintergrund. GeoServer implementiert die gängigen OGC Standards WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*) und WMS. Für die beiden erstgenannten ist GeoServer gar die Referenzimplementierung des OGC. Wenn man nun die Aufgaben auflistet, welche vom ganzen Prozess gemäss Kapitel 4 zu erledigen sind, dann lohnt es sich zu schauen, welche davon von der Standardsoftware GeoServer erledigt werden können und daher nicht von der selber zu schreibenden „modisfeed“-Komponente implementiert werden müssen. Die Tabelle 5.1 zeigt diese Auflistung und begründet die Aufgabenverteilung.

Aufgabe	modis-feed	WMS	Begründung
Datenbeschaffung	X		Dies ist die Kernaufgabe der modisfeed-Komponente. Sie ermöglicht die Integration der Satellitendaten in eine Web Mapping Umgebung.
Geometrie-Prozessierung	X		Obwohl GeoServer Daten umprojizieren kann, ist es aus Performancegründen sinnvoller, die Daten in der bevorzugten Projektion im Server abzulegen. Siehe dazu das White Paper „GeoServer in Produktionsumgebungen“ [26]. Demnach sollte diese Aufgabe vom „modisfeed“ erledigt werden.
Symbolisierung	(X)	X	GeoServer kann Rasterdaten visuell aufarbeiten (RGB-Zuweisung, Kontrastverbesserungen etc). Es muss aber für das Bild ein entsprechendes SLD (<i>Styled Layer Descriptor</i>) hinterlegt werden. Diese XML Konfigurationsdatei enthält die Anweisungen, wie ein Layer visualisiert werden soll. Das erstellen dieser Datei ist wiederum die Aufgabe der „modisfeed“ Komponente.
Legende		X	GeoServer unterstützt den OGC-Standardrequest „GetLegendGraphic“. Dieser Request kann vom Web Client abgesetzt werden und liefert eine graphisch aufbereitete Legende als Bild zurück. Auf das Aussehen dieser Legende kann im SLD Einfluss genommen werden.
Formattierung	X	(X)	Der „modisfeed“ muss die MODIS Daten im HDF-Format lesen und muss sie in ein von GeoServer unterstütztes Format umwandeln. GeoServer bietet danach verschiedene Ausgabeformate an, die der aufrufende Web Client bestimmen kann.

Tabelle 5.1: Aufgabenverteilung zwischen den Komponenten

¹ <http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome>, zuletzt besucht am 02.12.2011.

² <http://www.geo-solutions.it/>, zuletzt besucht am 02.12.2011.

5.1.3 Schnittstellen

Die Abbildung 5.1 zeigt die Interaktionen der verschiedenen Komponenten schematisch auf. In der Tabelle 5.2 werden die Schnittstellen aufgelistet, über welche die Komponenten effektiv miteinander kommunizieren. Es wird dabei nur auf die neuen Komponenten eingegangen.

Von	Zu	Schnittstelle	Details
modisfeed	NASA-EOS	FTP	Gemäss Beschreibung in Kapitel 2.2.1
modisfeed	Web Map Server	REST	GeoServer bietet die <i>RESTful Configuration</i> Schnittstelle an. Diese erlaubt es, Daten, die vom Server angeboten werden, auf eine programmatische Art und Weise zu konfigurieren. Diese Funktion ist absolut vital, um den Prozess vollautomatisch zu machen.
modisfeed	Nebelkarte.ch	JDBC	Die Nebelkarte Web Applikation muss immer die aktuellsten verfügbaren Datenlayer im Web Client zur Auswahl anbieten. „modisfeed“ schreibt dazu für jeden neuen Layer einen Eintrag in eine Tabelle der Nebelkarte.ch Datenbank.
Web Map Client	Web Map Server	OGC HTTP Requests	Der Web Map Client wird die Bildprodukte via den OGC <i>getMap</i> Request anfordern. Legenden kommen via <i>getLegendGraphic</i> Request zum Browser.
Administration	modisfeed	System-administration oder GUI	Die „modisfeed“-Komponente ist ein Backend-Prozess, der über einen <i>Scheduler</i> , also ein Zeit-Steuerungs-Programm, regelmässig angestossen wird. Die Administration dieses Prozesses kann vom Systemadministrator direkt via Kommandozeile geschehen oder man ermöglicht die Steuerung, Überwachung und Konfiguration des Prozesses über eine Administrationsoberfläche.
Administration	Web Map Client	Natives Admin GUI	GeoServer bietet eine umfassende Administrationsoberfläche für die Verwaltung, Steuerung und Überwachung an.

Tabelle 5.2: Schnittstellen zwischen den Komponenten

5.2 Spezifikation der Komponenten

In diesem Abschnitt wird auf die neuen Komponenten „Web Map Server“ und „modisfeed“, sowie auf die nötigen Erweiterungen an der Nebelkarte Web Applikation eingegangen.

5.2.1 Web Map Server

Wie bereits in Kapitel 5.1.2 erwähnt, wird im Rahmen dieser Arbeit das Produkt GeoServer vorgeschlagen. Damit kann die Anforderung [REQ 16] (Kapitel 3.2.2) erfüllt werden, weil es sich um einen OGC-konformen Server handelt. Auch ist dadurch die Anforderung [REQ 21] „Java Runtime“ erfüllt. Dies und die Tatsache, dass GeoServer ein Open Source Projekt ist, eröffnet den Entwicklern der Nebelkarte.ch in Zukunft die Möglichkeit, an GeoServer selber Erweiterungen vorzunehmen, die der Anbindung von MODIS Daten dienen. An dieser Stelle soll auf diejenigen Aspekte von GeoServer eingegangen werden, die für die voll automatisierte Modis-Anbindung relevant sind. Hier seien noch einmal die hauptsächlichen Aufgaben von GeoServer aus der Tabelle 5.1 aufgelistet:

- Symbolisierung
- Legende
- (File Formatierung)

Als erstes soll aber darauf eingegangen werden, wie GeoServer neue MODIS Datensätze ohne menschliche Interaktion übergeben werden können. Dafür bietet die Software ein Konfigurations-API an, welches auf dem REST-Protokoll beruht. Die gesamte Dokumentation dieses APIs ist in [3] zusammengefasst. Die Grundprinzipien von REST sind in [31] zusammengefasst. REST benutzt einige der Methoden des HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) Protokolls (GET, PUT, POST, DELETE), um Ressourcen übers Internet auszutauschen und zu manipulieren. Beim *RESTful Configuration API* von GeoServer wird damit einem Client die Möglichkeit gegeben, mittels der PUT oder POST Methode Ressourcen auf den Server zu spielen oder diese dort zu manipulieren. In der Folge wird mittels eines real durchgeführten Beispiels aufgezeigt, wie ein neuer Datenlayer in GeoServer erstellt und konfiguriert werden kann. Diese Schritte können analog von der „modisfeed“ Komponente ausgeführt werden (siehe Kapitel 5.2.2). Im Beispiel wurde das Tool cURL³ verwendet, um die Requests abzusetzen.

Neuen GeoServer Workspace erzeugen Workspaces in GeoServer erlauben es, Datensätze zu gruppieren. Der Name des Workspace muss beim Aufruf der Daten als Teil der URL angegeben werden. Es wird hier ein Workspace pro MODIS Datenprodukt erzeugt (Listing 5.1). Dieser Schritt muss demnach nur einmal pro Produkt ausgeführt werden.

³ Kommandozeilenbasiertes Tool um URLs aufzurufen: <http://curl.haxx.se/>, zuletzt besucht am 05.12.2011.

```

.\curl.exe -u admin:geoserver -v -XPOST -H 'Content-type:text/xml'
-d '<workspace><name>MOD02</name></workspace>' http://localhost
:8100/geoserver/rest/workspaces
2 * About to connect() to localhost port 8100 (#0)
* Trying 127.0.0.1... connected
* Server auth using Basic with user 'admin'
> POST /geoserver/rest/workspaces HTTP/1.1
> Authorization: Basic YWRtaW46Z2Vvc2VydmVy
7 > User-Agent: curl/7.23.1 (x86_64-pc-win32) libcurl/7.23.1
> Host: localhost:8100
> Accept: /*/*
> Content-type:text/xml
> Content-Length: 41
12 >
* upload completely sent off: 41 out of 41 bytes
< HTTP/1.1 201 Created

```

Listing 5.1: cURL Dialog: Erzeugen eines GeoServer Workspace

Neuen Coveragestore erzeugen und Rasterdaten hochladen Ein Coveragestore ist eine Raster-Datenquelle in GeoServer. Pro Workspace (d. h. pro MODIS Produkt) wird für jedes File, das von „modisfeed“ geholt wird, ein solcher Store erzeugt. Listing 5.2 zeigt, wie die Datenquelle erzeugt wird, und Listing 5.3 zeigt, wie ein GeoTIFF File in den Datastore hochgeladen werden kann.

```

1 .\curl.exe -u admin:geoserver -v -XPOST -H 'Content-Type:
application/xml' -d '<coverageStore><name>MYD021KM_A2011313</
name><workspace>MOD02</workspace><enabled>>true</enabled></
coverageStore>' http://localhost:8100/geoserver/rest/workspaces/
MOD02/coveragestores
* About to connect() to localhost port 8100 (#0)
* Trying 127.0.0.1... connected
* Server auth using Basic with user 'admin'
> POST /geoserver/rest/workspaces/MOD02/coveragestores HTTP/1.1
6 > Authorization: Basic YWRtaW46Z2Vvc2VydmVy
> User-Agent: curl/7.23.1 (x86_64-pc-win32) libcurl/7.23.1
> Host: localhost:8100
> Accept: /*/*
> Content-Type:application/xml
11 > Content-Length: 112
>
* upload completely sent off: 112 out of 112 bytes
< HTTP/1.1 201 Created

```

Listing 5.2: cURL Dialog: Erzeugen eines GeoServer Coveragestore

```

1  .\curl.exe -u admin:geoserver -v -XPUT -H 'Content-type:image/tiff'
    --data-binary @MYD021KM_A2011313_1115_005_2011313133857_143.
    tiff http://localhost:8100/geoserver/rest/workspaces/MOD02/
    coveragestores/MYD021KM_A2011313/file.geotiff?configure=first"&"
    coverageName=rgb_image
* About to connect() to localhost port 8100 (#0)
* Trying 127.0.0.1... connected
* Server auth using Basic with user 'admin'
> PUT /geoserver/rest/workspaces/MOD02/coveragestores/
    MYD021KM_A2011313/file.geotiff?configure=first&coverageName=
    rgb_image HTTP/1.1
6  > Authorization: Basic YWRtaW46Z2Vvc2VydjVv
> User-Agent: curl/7.23.1 (x86_64-pc-win32) libcurl/7.23.1
> Host: localhost:8100
> Accept: */*
> 'Content-type:image/tiff'
11 > Content-Length: 11017056
> Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
> Expect: 100-continue
>
< HTTP/1.1 100 Continue
16 < HTTP/1.1 201 Created

```

Listing 5.3: cURL Dialog: Hochladen eines Rasterfiles

Der mit den vorgängig beschriebenen Schritten erzeugte Layer kann mit einem getMap Request auf den GeoServer abgerufen werden (Listing 5.4).

```

http://localhost:8100/geoserver/wms?bbox=42,15,50,25&styles=&Format
    =image/png&request=GetMap&layers=MOD02:rgb_image&width=550&
    height=250&srs=EPSG:4326

```

Listing 5.4: WMS GetMap Request für ein Beispiel-Layer

Symbolisierung Als nächstes wird ein Blick auf die Symbolisierung durch GeoServer geworfen. Wie erwähnt kann das Aussehen eines Rasterbildes in GeoServer mittels eines SLD beeinflusst werden. Ein SLD ist ein vom OGC standardisiertes XML Konfigurationsformat für räumliche Datensätze. Ein solches SLD kann ebenfalls mittels *RESTful Configuration API* auf den GeoServer hochgeladen werden. Im Listing 5.5 wird ein einfaches Beispiel eines SLD für ein RGB Rasterbild gezeigt. Darin wird für jeden Kanal des RGB Bildes eine Kontrastverbesserung durch Histogrammausgleich angeordnet (siehe Kapitel 2.2.2 und 4.3.4).

```

4 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
  <StyledLayerDescriptor xmlns=http://www.opengis.net/sld
    xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
    xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
    xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
    xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld
      http://schemas.opengis.net/sld/1.0.0/StyledLayerDescriptor.xsd"
    version="1.0.0">
9   <UserLayer>
    <Name>mod02</Name>
    <LayerFeatureConstraints>
      <FeatureTypeConstraint/>
    </LayerFeatureConstraints>
14   <UserStyle>
    <Name>rgb</Name>
    <Title>RGB with contrast enhancement</Title>
    <Abstract>Apply Contrast enhancement to a flat RGB image</
      Abstract>
    <FeatureTypeStyle>
19     <FeatureTypeName>Feature</FeatureTypeName>
      <Rule>
        <RasterSymbolizer>
          <Opacity>1.0</Opacity>
          <ChannelSelection>
24            <RedChannel>
              <SourceChannelName>1</SourceChannelName>
              <ContrastEnhancement>
                <Histogram/>
              </ContrastEnhancement>
29            </RedChannel>
            <GreenChannel>
              <SourceChannelName>2</SourceChannelName>
              <ContrastEnhancement>
                <Histogram/>
              </ContrastEnhancement>
34            </GreenChannel>
            <BlueChannel>
              <SourceChannelName>3</SourceChannelName>
              <ContrastEnhancement>
                <Histogram/>
              </ContrastEnhancement>
39            </BlueChannel>
          </ChannelSelection>
        </RasterSymbolizer>
44      </Rule>
    </FeatureTypeStyle>
  </UserStyle>
</UserLayer>
</StyledLayerDescriptor>

```

Listing 5.5: SLD: RGB Kontrastverbesserung durch Histogrammausgleich

Auch Farbverläufe, wie sie in Kapitel 4.3.4 für MOD04, MOD06 und MOD13 vorgeschlagen werden, können von GeoServer problemlos gerendert werden. Dafür braucht man die ColorMap - Direktive im SLD (Beispiel siehe Listing 5.6).

```
2 <ColorMap>
  <ColorMapEntry color="#2851CC" quantity="0" label="values"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#211F1F" quantity="50" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#EE0F0F" quantity="100" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#AAAAAA" quantity="200" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#6FEE4F" quantity="250" label="label"
    opacity="1"/>
7  <ColorMapEntry color="#3ECC1B" quantity="300" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#886363" quantity="350" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#5194CC" quantity="400" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#2C58DD" quantity="450" label="label"
    opacity="1"/>
  <ColorMapEntry color="#DDB02C" quantity="600" label="label"
    opacity="1"/>
12 </ColorMap>
```

Listing 5.6: SLD: ColorMap Direktive zur Definition von Farbverläufen

Legende GeoServer unterstützt den OGC GetLegendGraphic-Aufruf. Dieser erlaubt es, für einen bestimmten Layer die Legende als Bild anzufordern. Der entsprechende Request ist in Listing 5.7 aufgezeigt.

```
http://localhost:8100/geoserver/wms?REQUEST=GetLegendGraphic&
VERSION=1.0.0&FORMAT=image/png&WIDTH=20&HEIGHT=20&LAYER=MOD02:
rgb_image&style=mod02&LEGEND_OPTIONS=dx:0.2;dy:0.2;mx:0.2;my
:0.2;fontStyle:bold;borderColor:0000ff;border:true;fontColor:
ff0000;fontSize:18
```

Listing 5.7: WMS GetLegendGraphic Request

Im SLD besteht die Möglichkeit, diese Legende detailliert zu gestalten und zu beschreiben. Im Listing 5.6 ist ersichtlich, dass die Klassen mit dem „label“ angeschrieben werden können. In [2] ist die Legendengestaltung für Raster-Layer genau dokumentiert. Gewisse Parameter (Abstände, Schriftart, Farben und Umrandungsoptionen) können vom aufrufenden Client im Parameter LEGEND_OPTIONS mitgegeben werden.

File Formatierung Der OGC GetMap Request erlaubt es dem Client, das gewünschte Bildformat zu definieren (siehe den „format“-Parameter in Listing 5.4). GeoServer unterstützt in der aktuellen Version 2.1.2 14 verschiedene Ausgabeformate (siehe [4]).

5.2.2 Modisfeed

Die „modisfeed“-Komponente ist eine Geoprozessierungskette, die in einzelne Schritte unterteilt werden kann. Diese haben eigene Aufgaben und Verantwortlichkeiten sowie Eingabe und Ausgabe-Datensätze und Artefakte (Abbildung 5.2). Im folgenden wird jeder Teilschritt mit seinen Inputs und Outputs erläutert. Zusätzlich werden für jeden Schritt passende, frei verfügbare Programmbibliotheken aufgelistet, die für gewisse Aufgaben eingesetzt werden können.

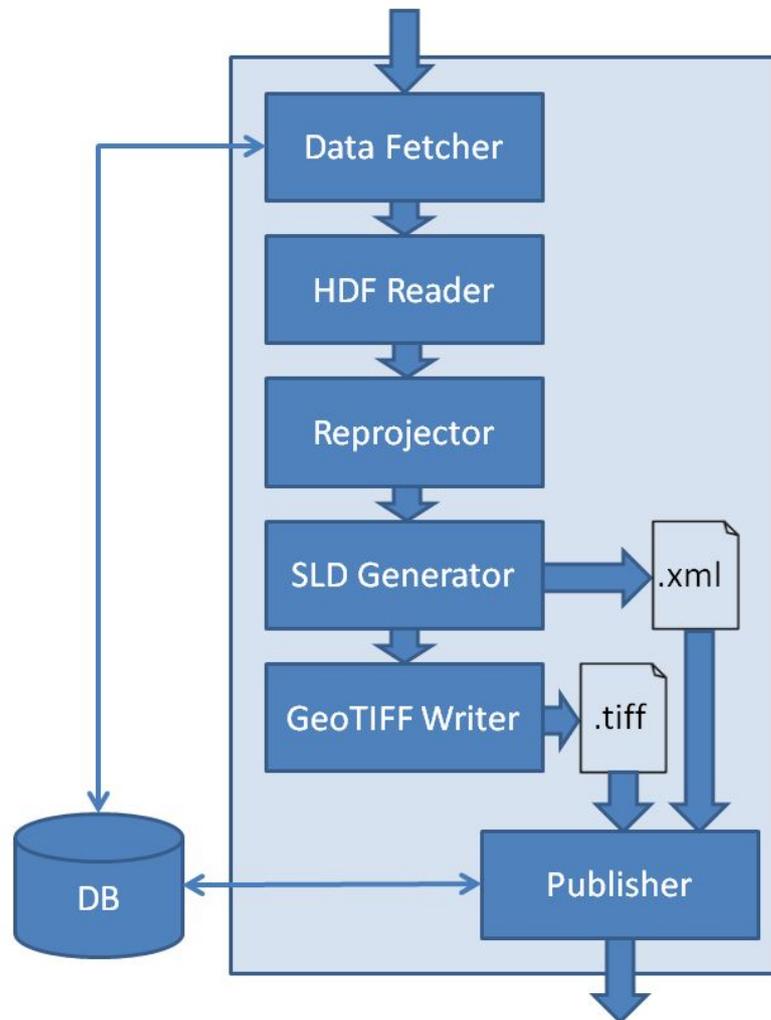


Abbildung 5.2: Modisfeed Teilaufgaben

Die Datenbank, die in Abbildung 5.2 gezeigt ist, sollte dieselbe sein, die auch von der Nebelkarte Web Applikation bereits benutzt wird. So können Informationen zwischen den beiden Modulen sauber und transaktionsgeschützt ausgetauscht werden. Es wird darin eine neue Tabelle benötigt, welche sowohl Meta- als auch Statusinformationen über die verarbeiteten Datensätze des Modisfeed enthält. Die Tabelle 5.3 zeigt die Spezifikation dieser DB-Tabelle.

Data Fetcher

Der Data Fetcher („Daten Abholer“) ist zuständig für das zeitnahe Beziehen der gewünschten MODIS Daten von den Datenquellen der NASA. Diese Quellen wurden in Kapitel 2.2.1 beschrieben. In Kapitel 4.3.2 wurde gezeigt, dass die

Tabelle MODISFEED		
Feldname	Feldtyp	Beschreibung
ID	long	Eindeutige ID: Primärschlüssel
FILENAME	varchar(100)	Name des Datenfiles. Ist unique!
PRODUCT	varchar(50)	Produktbezeichnung (z. B. „MOD13 - NDVI“)
BASE_PRODUCT	varchar(100)	Name des dem Produkt zugrundeliegenden MODIS02 Basisproduktes
SATELLITE	varchar(10)	„Terra“ oder „Aqua“
SENSOR	varchar(10)	Ist immer „Modis“
CAPTURE_TIME	date	Genauer Aufnahmezeitpunkt (Datum und Uhrzeit)
PROCESSING_TIME	date	Genauer Zeitpunkt der Prozessierung (Datum und Uhrzeit)
DATASOURCE	varchar(10)	Bezeichnung der Datenquelle (LAADS, oder LANCE)
RAWDATA_URL	varchar(150)	FTP - URL der Rohdaten des Produktes
DAY_NIGHT	varchar(5)	Flag ob Tages- oder Nachtaufnahme
WMS_LAYER_NAME	varchar(150)	Name des Layers, wird im GetMap Request auf GeoServer benötigt
STATUS	integer	Status-Flag (Mögliche Stati: „Downloaded“ / „Processed“ / „Published“)
MODIFICATION_TIME	date	Zeitstempel, wann der Tabelleneintrag zuletzt verändert wurde

Tabelle 5.3: DB Tabelle für Modisfeed Status und Metainformationen

gewünschten Produkte von den verschiedenen Datenquellen automatisiert bezogen werden können. Dazu wurde ein Prototyp programmiert (Listing A.1). Diese Angaben dienen schon weitgehend als Spezifikation für den Data Fetcher. Im Gesamtkontext von „modisfeed“ müssen allerdings noch die folgenden ergänzenden Angaben gemacht werden:

- **Status merken:** Der Data Fetcher muss sich merken, welche Dateien er bereits abgeholt und verarbeitet hat. Da das Programm von einem Scheduler in regelmässigen Abständen gestartet wird, wird es so lange eine bereits verarbeitete Datei finden, bis von der Datenquelle eine aktuellere Datei verfügbar ist. Dazu merkt sich das Programm die erfolgreich abgeholt und verarbeiteten Dateien, indem es in der DB-Tabelle einen entsprechenden Eintrag vornimmt. Ein Statusfeld in dieser Tabelle wird benutzt, um den aktuellen Verarbeitungsstand der Datei zu dokumentieren.
- **Metainformationen speichern:** Der Data Fetcher speichert zum abgeholt Datensatz auch gleich eine Reihe von Zusatzinformationen. Diese findet er in den Meta-Files der Produkte auf den FTP Datenquellen (siehe Kapitel 4.3.2). Die Meta-Informationen können dann von der Webapplikation ergänzend zum Bild angezeigt werden. Damit kann der Anforderung [REQ 4] genügt werden.
- **Gruppieren:** MOD02 enthält die Messungen des Instrumentes in allen 36 Spektralkanälen. Viele MODIS Datenprodukte werden von diesem Produkt

abgeleitet. Es macht daher Sinn, in der Webapplikation das MOD02-Bild und dessen abgeleitete Produkte (MOD04, MOD06, MOD35) als Gruppe zur Verfügung zu stellen. Somit entspricht dann beispielsweise das RGB-Wolkenbild, welches aus MOD02 erzeugt wird, dem MOD06 Wolkenoberflächentemperatur-Bild. Der Data Fetcher muss dafür den Dateinamen des zugrundeliegenden MOD02 Datenproduktes auslesen und ins Feld BASE_PRODUCT der DB-Tabelle schreiben. Bei MOD13 (NDVI) kann das zugrundeliegende Produkt nicht ermittelt werden (siehe Kapitel 4.3.1).

- **Vollständigkeit des Downloads:** Der Data Fetcher kann überprüfen, ob die Datei vollständig vom FTP Server angekommen ist. Die Dateigrösse steht im Metadatenfile. Stimmt diese nicht mit der effektiv empfangenen Datenmenge überein, dann kann der Prozess darauf korrekt reagieren. Dies ist insbesondere beim Laden von grossen Datenmengen übers Internet wichtig.

Die Tabelle 5.4 zeigt die Aufgaben, die der Data Fetcher zu erfüllen hat und mögliche Java Libraries, die dafür in Frage kommen.

Aufgabe	Bibliotheken	Bemerkung
DB Zugriff	org.postgresql.*	Um Status- und Metainformationen zu schreiben und zu lesen. http://jdbc.postgresql.org/ , zuletzt besucht am 06.12.2011.
FTP	org.apache.commons.net.ftp	Eine einfache FTP Client Bibliothek, um Daten von den NASA Servern zu laden. http://commons.apache.org/net/ , zuletzt besucht am 06.12.2011.
Text Parsing	de.susebox.jtopas.*	Um die Metadatenfiles von LAADS zu lesen und zu interpretieren. Diese Files haben ein strukturiertes, aber kein standardisiertes Format. Die Informationen können mit JTopas ideal extrahiert werden. http://jtopas.sourceforge.net/jtopas/ , zuletzt besucht am 06.12.2011.
Räumliche Analyse	com.vividsolutions.jts.geom.* (Siehe Details weiter unten)	Das Script muss aufgrund der Eckkoordinaten des Datenfiles ermitteln, ob das Untersuchungsgebiet (die Schweiz) vollständig enthalten ist. http://www.vividsolutions.com/JTS/JTSHome.htm , zuletzt besucht am 06.12.2011.

Tabelle 5.4: Data Fetcher Aufgaben und Java Bibliotheken

JTS für räumliche Analyse Mit der Bibliothek JTS (*Java Topology Suite*), die dem OGC Standard für *Simple Features Specification for SQL* genügt, können auf einfachste Weise Polygon-Objekte (`com.vividsolutions.jts.geom.Geometry`) erzeugt und miteinander verglichen werden (Methoden `contains()`, `intersects()`, `buffer()` etc.)

HDF Reader

Nachdem das HDF Datenfile heruntergeladen wurde, muss es zwecks Weiterverarbeitung in Java Objekte eingelesen werden. Dazu werden die entsprechenden Programmbibliotheken von BEAM verwendet.

- Mit `org.esa.beam.framework.dataio.ProductIO.readProduct()` kann das File eingelesen werden. Dieser Methode kann ein File-Objekt und ein Objekt des Typs `org.esa.beam.framework.dataio.ProductSubsetDef` übergeben werden. Dies ist aus Performance- und Memory-Gründen dringend zu empfehlen, denn damit können diejenigen Kanäle definiert werden, welche aus dem Produktfile ausgelesen werden sollen. Im Falle von MOD02 ist dies durchaus sinnvoll, wo man von 36 Kanälen nur deren 3 benötigt.
- Die obengenannte Methode gibt ein Objekt des Typs `org.esa.beam.framework.datamodel.Product` zurück. Dies ist eine zentrale Klasse von BEAM, die viele Operationen auf dem Produkt erlaubt.

Reprojector

BEAM verlässt sich für die geometrischen Operationen seit der Version 4.7. auf GeoTools⁴. Dies ist eine Open Source-Java-Bibliothek, welche standardkonforme Methoden für die Bearbeitung von räumlichen Daten zur Verfügung stellt [1].

Die Klasse `org.esa.beam.framework.datamodel.Product` besitzt eine Methode `createProjectedProduct()`. Dieser muss ein Objekt `org.esa.beam.framework.datamodel.CRSGeoCoding` übergeben werden. Dieses wiederum wird initialisiert mit einem Ziel-Koordinatensystem vom Typ `org.opengis.referencing.crs.CoordinateReferenceSystem`. Im Kapitel B ist exemplarischer Java Code angeführt, welcher eine Reprojektion durchführt.

SLD Generator

Bei der Untersuchung der Fähigkeiten von GeoServer bezüglich der Rasterbild-Verbesserungen hat sich gezeigt, dass Kontrastverbesserungen und Farbverlaufs-Definitionen einfach umsetzbar sind (Kapitel 5.2.1). In der Folge wird für jedes der 6 MODIS Produkte untersucht, welches die Anforderungen an den SLD sind, und wie dies technisch umgesetzt werden kann.

- **MOD02 RGB** und **MOD02 Falschfarbenbild**: Für diese beiden Produkte kann einmal ein SLD erzeugt werden, das immer gültig bleibt. Man muss, wie in Listing 5.5 gezeigt, die Bänder im GeoTIFF File den richtigen Farben zuweisen, sowie für jedes Band eine Kontrastverbesserung mittels Histogrammausgleich definieren. Wenn ein SLD für RGB-Bilder einmal auf

⁴ <http://docs.geotools.org/>, zuletzt besucht am 07.12.2011.

dem GeoServer hinterlegt ist, kann jedes neue MOD02-RGB-Produkt dieses als "Style" referenzieren. Der SLD Generator muss daher nicht jedes mal ein neues XML File erzeugen.

- **MOD13 NDVI:** Wie in Kapitel 4.3.4 beschrieben, bewegen sich die Messwerte dieses Produktes immer zwischen -1 und 1 und es gibt eine für das Produkt gültige Zuweisung von Messwerten zu Vegetationstypen. Darum kann auch für dieses Produkt ein einziges SLD auf dem GeoServer hinterlegt werden. Dieses muss eine Farbrampe wie in Kapitel 4.3.4 erwähnt definieren, und für die Legende müssen die „Labels“ beschriftet werden.
- **MOD04 Aerosolfracht:** Die Skala der möglichen Aerosolfracht reicht von 0 bis 1000 mal $10^{-6}g/m^2$. Jedoch wird sehr oft nur ein ganz kleiner Teil dieses Spektrums belegt. Insofern macht eine fixe Skala von 0 bis 1000 keinen Sinn. Es empfiehlt sich, von den Messwerten das Minimum und das Maximum auszulesen, und eine Skala, die zwischen den beiden Werten liegt, im SLD festzulegen. Dazu müssen die Daten von der Software analysiert werden. In der Bibliothek von BEAM steht dafür die Klasse `org.esa.beam.util.jai.JAIUtils` zur Verfügung, welche Bildanalysen und Operationen zulässt. Die Methode `getExtrema()` liefert Minimum und Maximumwerte zurück. Jedes einzelne Bild wird daher ein eigenes SLD benötigen.
- **MOD06 Wolkenoberflächentemperatur:** Auch diese Messwerte der Verhältnisskala $^{\circ}K$ werden vermutlich je nach Bewölkungsart sehr unterschiedliche Bereiche der Skala einnehmen, und es lohnt sich, den in Kapitel 4.3.4 vorgeschlagenen Farbverlauf innerhalb des Minimal- und Maximalwertes der Messungen zu definieren. Der SLD Generator muss demnach für jedes Bild ein SLD mit angepasstem Farbverlauf erzeugen. Die Abstände zwischen den Farbwechseln sind gleichmässig zwischen Minimum und Maximum zu verteilen.
- **MOD35 Wolkenmaske/Verlässlichkeit:** Für die Ordinalskala (sicher wolkig → vermutlich wolkig → vermutlich klar → sicher klar) kann einmalig ein Farbschema definiert und als SLD auf dem GeoServer hinterlegt werden.

SLDs sind XML Strukturen. Zusätzlich zur Bildanalyse muss der SLD Generator also XML erzeugen können. Da sich die SLDs für verschiedene Bilder nur minimal unterscheiden, bietet sich eine Template Engine an, also ein Werkzeug, mit dem man für jeden SLD Typ eine Vorlage definieren kann, in welche die fehlenden Werte eingesetzt werden. Es gibt eine Menge solcher Tools in der Open Source Welt⁵, wobei viele dieser Bibliotheken viel zu mächtig sind für den hier vorgeschlagenen Gebrauch. Eine einfache Bibliothek ist z. B. Jtpl: Simple template engine for Java⁶.

GeoTIFF Writer

In GeoTools gibt es die Klasse `org.geotools.gce.geotiff.GeoTiffWriter`. Der Methode `write()` kann ein `org.geotools.coverage.grid.GridCoverage2D` übergeben werden. Dieses Objekt wird dann in die Datei des Typs GeoTIFF geschrieben, welches man dem Konstruktor von `GeoTiffWriter` übergeben hat. Das BEAM API hat ebenfalls ein Paket namens `org.esa.beam.util.geotiff`, welches

⁵ <http://java-source.net/open-source/template-engines>, zuletzt besucht am 08.12.2011.

⁶ <http://jtpl.sourceforge.net/>, zuletzt besucht am 08.12.2011.

Klassen für das Lesen und Schreiben von GeoTIFF Files enthält. Im Kapitel B ist exemplarischer Java Code angeführt, welcher ein GeoTIFF File schreibt.

Publisher

Der Publisher hat die Aufgabe, die fertig prozessierten Datensätze mittels der *RESTful Configuration API* auf den GeoServer zu spielen. Es handelt sich dabei um Stildefinitionen (SLD) im XML Format und um Bilddateien im GeoTIFF Format. Der Publisher muss demnach einige HTTP Requests zum GeoServer gemäss den Beschreibungen in Kapitel 5.2.1 absetzen. Ebenfalls muss er die Antworten von GeoServer interpretieren, um zu entscheiden, ob die Aktion erfolgreich war. Er kann dazu den HTTP Response Code auswerten. Im Erfolgsfall kann er auf der Datenbank, in der Tabelle MODISFEED (siehe Kapitel 5.2.2) den Status des entsprechenden Datensatzes anpassen, um der Nebelkarte Webapplikation mitzuteilen, dass der neue Datensatz verfügbar ist. Er schreibt ebenfalls das Feld WMS_LAYER_NAME in der DB-Tabelle. Diese Information benötigt der Web Client, um den GetMap Request zu machen. Der Publisher braucht demnach eine Datenbankverbindung (`org.postgresql.*`), sowie die Fähigkeit, HTTP Requests und Responses zu verwalten (`java.net.URLConnection` oder die `HttpComponents` von Apache⁷).

5.2.3 Nebelkarte Webapplikation

An der bestehenden Komponente Nebelkarte gibt es einige Integrationsarbeiten zu erledigen, um die MODIS Daten auf die Web Applikation zu bringen. In einem ersten Schritt wird ein Vorschlag gemacht, wie das Web GUI erweitert werden könnte. Danach wird beschrieben, was dafür auf dem Server gemacht werden muss.

GUI Anpassungen

Wie man eine Benutzeroberfläche gestaltet oder erweitert ist ein eigenes Forschungsgebiet, das aber nicht Gegenstand dieser Arbeit ist. Die folgenden Vorschläge sind demnach kurz und pragmatisch gehalten und sollen lediglich ein Ausgangspunkt, bzw. eine Diskussionsgrundlage für weitere gestalterische Schritte sein. Die Anforderungen [REQ 1] bis [REQ 7] sowie [REQ 23] betreffen die öffentliche Benutzeroberfläche und werden der Vollständigkeit halber hier nochmals aufgeführt (Tabelle 5.5).

Folgende Designvorschläge können aus den Anforderungen, sowie aus den Erkenntnissen dieser Arbeit abgeleitet werden:

- Darstellung des **zusätzlichen MODIS Wolkenmaske Layer im Auswahlmenu** der Karte. Grundsätzlich können mehrere Layer übereinander angezeigt werden. Die Reihenfolge der Layer im Menu von unten nach oben entspricht dann auch der Überlagerungsreihenfolge der Layer in der Karte. d. h. ein im Menu höher liegender Layer wird einen tiefer liegenden Layer überdecken. Der Layer „OpenStreetMap“ wird immer zuunterst liegen. In der Abbildung 5.3 ist gemäss der Vorgabe „Freizeitwetter“ nur der Layer „Wolkenmaske“ eingetragen. ⇒ [REQ 2], [REQ 3]

⁷ <http://hc.apache.org/>, zuletzt besucht am 08.12.2011.

ID	Beschreibung
[REQ 1]	Das System fügt sich in die bestehende Applikation nebelkarte.ch ein, und bereichert diese mit zusätzlichen Informationen. Die bestehende Funktionalität wird dadurch erweitert und nicht eingeschränkt.
[REQ 2]	Das System stellt eine Liste von verfügbaren Informationsschichten, die Wolken betreffen, dar. Der Benutzer kann aus der Liste einen Layer auswählen, den das System danach auf einer Karte darstellt. Die Wolkenlayer sollen zusammen mit der punktuellen Nebelinformation aus nebelkarte.ch dargestellt werden können.
[REQ 3]	Die Informationsebenen werden nach zwei Hauptbenutzerbereichen unterteilt angeboten. Für den Bereich „Freizeitwetter“: - Wolkenmaske Für den Bereich „Profiwetter“: - True Color Wolkenbild - Wolkenbild Kanal 3-6-7 - Wolkenoberflächentemperatur - Aerosolgehalt - NDVI
[REQ 4]	Der genaue Aufnahmezeitpunkt des dargestellten Layers wird dargestellt.
[REQ 5]	Die dargestellten Layers decken zumindest das Untersuchungsgebiet der Nebelkarte, also die ganze Schweiz, ab. Sie dürfen aber auch grössere Gebiete abdecken.
[REQ 6]	Der Benutzer kann im Kartenausschnitt mit dem Wolkenlayer bequem navigieren (pan & zoom).
[REQ 7]	Das System zeigt eine Legende mit dem Informationsgehalt des dargestellten Layers an.
[REQ 23]	Bei Problemen in der Datenlieferkette soll der Grund und die ungefähre Dauer der Verzögerung dem Endbenutzer kommuniziert werden.

Tabelle 5.5: Anforderungen an die öffentliche Benutzeroberfläche

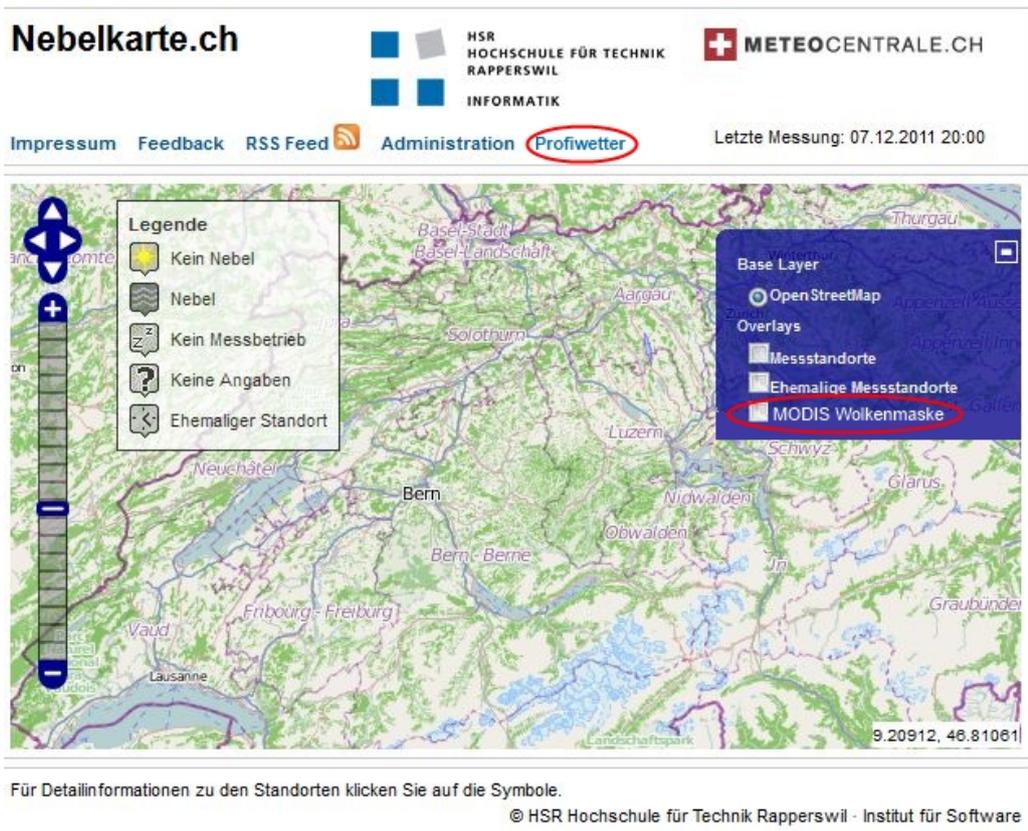


Abbildung 5.3: Erweiterung der Nebelkarte.ch Menus

- Die Unterteilung in die **Bereiche „Freizeitwetter“** und **„Profiwetter“** gemäss [REQ 3] geschieht wie folgt: Im Auswahlmenu erscheint nur die MOD35 Wolkenmaske. Die Informationen aus MOD02, MOD04, MOD06 und MOD13 werden in einer separaten Web Karte, welche im Bereich „Profiwetter“ angesiedelt ist, dargestellt. Entsprechend ist in Abbildung 5.3 oben im Hauptmenu ein Link zu diesem Bereich eingezeichnet.
- Die **Nebel-Piktogramme** sind, sofern der „Messstandorte“-Layer ausgewählt ist, immer sichtbar und werden nie von einem MODIS-Layer überdeckt. ⇒ [REQ 1]
- Ein **Vektorlayer mit den administrativen Grenzen** der Schweiz sollte zusätzlich im Menu angeboten werden. Dieser muss immer über einem MODIS Layer angezeigt werden, damit man sich bei komplett abdeckenden Daten, wie es z. B. die MOD02 Produkte sind, räumlich orientieren kann. Der Layer kann analog zum OpenStreetMap Basislayer zoomstufenabhängig mehr oder weniger Details anzeigen (Landesgrenzen → Kantonsgrenzen → Gemeindegrenzen). Nach Bedarf könnten weitere Informationen, wie z. B. Ortschaften oder Gewässer in diesem Layer angezeigt werden.
- Auf der Hauptseite von Nebelkarte.ch werden immer die **aktuellsten MODIS Datensätze** angezeigt. Das Betrachten von älteren Datensätzen, im Sinne einer historischen Reihe, sollte auf einer separaten Seite geschehen. Dies wird weiter unten erläutert.
- Wenn ein MODIS-Layer eingeblendet ist, so erscheint ein **Informations-Panel**, welches, Analog zum Nebelstandort-Detail, ausgeblendet werden kann. Es zeigt jeweils die Informationen des zuoberst liegenden MODIS-

Layers an. Der Inhalt des Panels wird in Abbildung 5.4 veranschaulicht. Das Panel schiebt sich beim Anwählen eines Layers von unten her in die Karte.
 ⇒ [REQ 4] , [REQ 7]

- Vom Informations-Panel eines Modis Layers führt ein Link auf eine neue Seite, die das **betrachten von historisierten Daten** erlaubt. Eine Karte zeigt den angewählten MODIS-Layer an. Im Menu kann der Layer mittels Radio-Button gewechselt werden, d. h. es wird jeweils nur ein Layer angezeigt. Mittels eines Links- und Rechtspfeiles kann man dann durch die Zeitreihe des aktiven MODIS-Layers „blättern“. Die Informationen zu jedem Bildes werden in einem Panel unterhalb der Karte angezeigt. Die Nebelstandorte stehen auf dieser Seite nicht zur Auswahl (Abbildung 5.5).
- Es wird vorgeschlagen, die Legende mit den Nebel-Piktogrammen nur dann einzublenden, wenn der Layer „Messstandorte“ angewählt ist.
- Die Erfüllung der Anforderung [REQ 5] wird durch den Data Fetcher sichergestellt: Dieser bezieht nur Datensätze, welche die Schweiz komplett abdecken.
- Die Erfüllung der Anforderung [REQ 6] wird durch das bereits in der Nebelkarte im Einsatz stehende Web Mapping Client Framework OpenLayers⁸ sichergestellt. Diese Bibliothek unterstützt auf generische Weise das Einbinden weiterer Datenlayer.
- Die Anforderung [REQ 23] kann nicht erfüllt werden. Zur Zeit gibt es vom NASA EOS System kein System, das Informationen zur Verzögerungen in der Datenlieferkette in Echtzeit anbietet. Zwar werden dem registrierten Benutzer Emails zu geplanten oder bereits passierten Unterbrüchen geschickt, aber diese können kaum automatisiert aufbereitet werden.

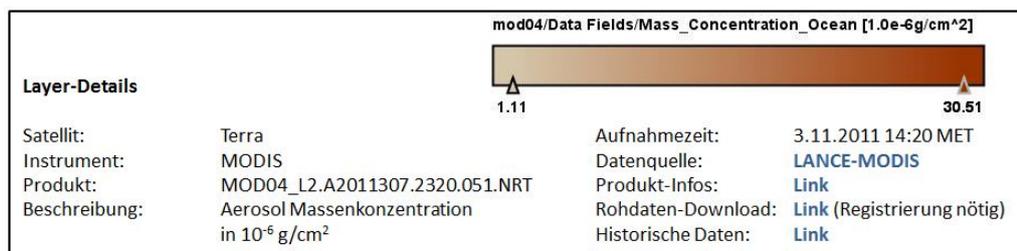


Abbildung 5.4: Informationspanel für einen MODIS Layer

⁸ <http://openlayers.org/>, zuletzt besucht am 08.12.2011.

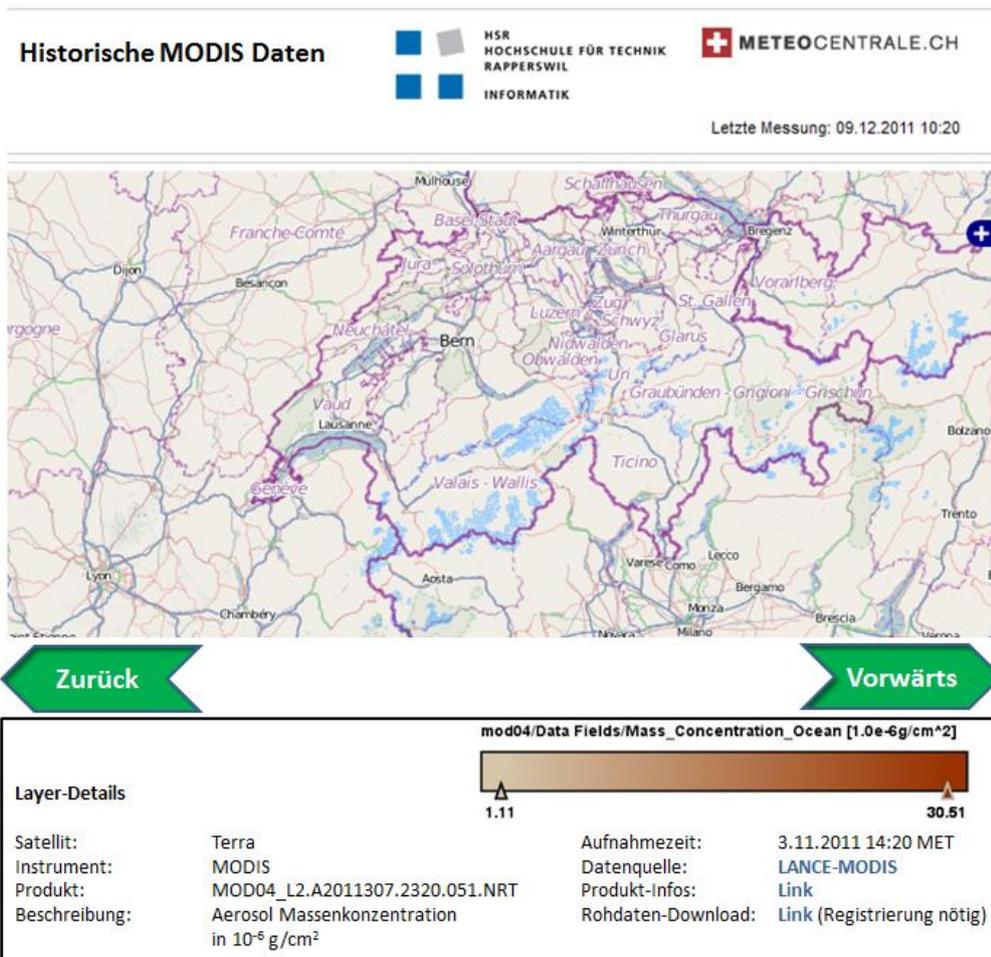


Abbildung 5.5: Designvorschlag für Betrachtung von historisierten Daten

Server Teil

Der Server erzeugt den HTML und Javascript-Code des Client. Er benutzt dazu das Web Application Framework Wicket⁹. Die Server-Software hat die Kontrolle darüber, was am Browser angezeigt wird. Primär muss der Server zusätzlich die DB Tabelle MODISFEED (siehe Kapitel 5.2.2) lesen, um die entsprechenden Elemente im Web Client zu befüllen. Insbesondere, um die GetMap URL auf die richtige Resource im GeoServer zu erzeugen und um das Informations-Panel mit den produktspezifischen Daten zu befüllen. Einige statische Informationen können auch in der Konfiguration abgelegt werden, z. B.:

- URL zum GeoServer.
- Produktspezifische Links zur Dokumentation.
- Statische Texte.

Die Seite für das Betrachten historischer MODIS-Daten muss komplett neu programmiert werden. Dafür können jedoch einige Elemente aus der Hauptseite wiederverwertet werden. Alle Daten, welche für die Umsetzung des Vor- und Rückblätterns benötigt werden, stehen in der DB Tabelle „MODISFEED“ (Siehe Tabelle 5.3). Die Funktion des „blätterns“ durch die Zeitreihe hat folgende Implikation: Alle Bilder einer Zeitreihe sollten mit derselben Methode der Kontrastverbesserung

⁹ <http://wicket.apache.org/>, zuletzt besucht am 07.12.2011.

behandelt worden sein, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Die in Kapitel 5.2.2 gemachten Vorschläge zur „generischen“ Kontrastverbesserung für die Produkte MOD04 (Aerosolfracht) und MOD06 (Wolkenoberflächentemperatur) sind in diesem Zusammenhang zu überdenken. Möglicherweise lässt sich nach der Analyse einer grösseren Anzahl von Produkten ein einheitlicher Messwertbereich ermitteln, innerhalb welchem die Kontrastdehnung für die meisten Bilder befriedigende Resultate liefert.

Kapitel 6

Schlussbemerkungen

Die ursprüngliche Absicht der Macher von Nebelkarte.ch war es, zusätzlich zur Bodennebelinformation weitere atmosphärische Phänomene, namentlich Hochnebel und Wolken, in der Applikation abzubilden. Die vorliegende Arbeit sollte die Machbarkeit eines „Wolkenlayers“ untersuchen. Eine Rahmenbedingung war, wenn immer möglich auf frei verfügbare Datenquellen abzustützen, so wie dies bei der Bodennebelinformation mit den Webcams auch gemacht wird. Damit lag MODIS als Quelle sehr nah, weil es vorzüglich geeignet ist für Wolkendetektion, frei verfügbare Daten hat, und relativ häufig Bilder liefert.

Dieser Letzte Punkt, die Wiederholrate, bzw. die Aktualität der Daten, führte aber schon früh zur Erkenntnis, dass MODIS mit den Webcam-Daten nicht kompatibel ist: Während die Nebelinformation durch die Webcam-Daten tagsüber alle 10 Minuten aktualisiert werden, können die MODIS Daten im besten Fall einmal täglich erneuert werden. Dies ist bedingt durch die polare Umlaufbahn der Satelliten Terra und Aqua. Ein Untersuchungsgebiet wird einfach nicht häufiger überflogen. Diese Erkenntnis führte zum ersten wichtigen Resultat dieser Arbeit: MODIS Wolkendaten sind nur sehr bedingt geeignet für meteorologische Applikationen mit Anspruch auf Echtzeit-Aktualität (sogenanntes *nowcasting*). Dafür sind nach Ansicht des Autors nur Daten von geostationären Wettersatelliten (also Meteosat) geeignet. Die Sensoren dieser Satelliten sind stets über derselben Stelle der Erde und können in hohem Takt Bilder erzeugen. Diese Daten sind daher auch für die Meteorologie unentbehrlich.

Die Stärke des MODIS Systems liegt jedoch in der grossen Vielfalt von wissenschaftlich abgesicherter Information, die regelmässig, in hoher Qualität und räumlicher Auflösung frei verfügbar angeboten wird. Primäres Zielpublikum des Systems sind Wissenschaftler, welche die Daten für ihre Forschung auswerten. Die vorliegende Arbeit hat sich daher das Ziel gesetzt, diese reichhaltige Informationsquelle einem nicht primär wissenschaftlichen Zielpublikum verfügbar zu machen. Die Idee des „Wolkenlayers für die Nebelkarte“ hat sich demnach verändert in die Idee „MODIS Datenprodukte im Internet“. Eine Web Karte, welche in der Schweiz zeitnahe und historisierte MODIS-Daten verschiedenen Inhaltes anzeigt, wurde in dieser Art noch nicht gefunden. Im folgenden Abschnitt wird die Zielerreichung bewertet.

6.1 Zielerreichung

Das Hauptziel, das Erstellen eines Konzeptes zur zeitnahen, vollständig automatischen Publizierung von MODIS Datenprodukten in einer Web Mapping Applikation, wurde erreicht. Die Aufgabe wurde heruntergebrochen in einzelne Teilschritte. Jeder dieser Teilschritte wurde beschrieben, analysiert und validiert. Im Folgenden werden diese Resultate zusammengefasst:

- **Datenbezug:** Die Art und Weise der Verbreitung der MODIS Daten wurde untersucht und beschrieben. Die Herausforderung bestand darin, die aktuellsten, nach Thema gefilterten MODIS Produkte des Untersuchungsgebietes aus der grossen Menge von Daten herauszuholen. Die Lösung ist ein Softwareprogramm, das in regelmässigen Abständen gezielt nach den Daten sucht. Validiert wurde dieser sehr zentrale Teil der Applikation mittels eines Prototyps.
- **Geometrie Prozessierung:** Die zu beziehenden MODIS Daten sind vom Anbieter auf Level 2 oder 3 prozessiert. Dies bedeutet, dass sie in Swath-Geometrie vorliegen, aber georeferenziert sind. Es ist lediglich eine Umprojizierung in ein Ziel-Koordinatensystem nötig. Dieser Schritt konnte mit Original MODIS Daten mittels der Software BEAM verifiziert werden.
- **Bildaufbereitung und Legendenbildung:** Die Herausforderung bestand darin, die Auswahl der Datenprodukte auf ihre Darstellbarkeit und Aussagekraft zu untersuchen und die Möglichkeiten einer automatischen Aufbereitung und Legendenbildung aufzuzeigen. Es konnte gezeigt werden, dass die Software GeoServer, welche die Daten auf dem Internet präsentiert, genügend Möglichkeiten bietet, um die Daten aufzubereiten und auch um Legenden zu erzeugen.
- **Formatierung:** Die MODIS Daten liegen im HDF Format vor, müssen in Java Objekte eingelesen und bearbeitet werden und in einem für den GeoServer verständlichen Format ausgegeben werden. Diese ganze Kette konnte anhand der BEAM Software nachvollzogen werden.

In Kapitel 5 wurde ein technisches Konzept für das Gesamtsystem erstellt, welches als Ausgangspunkt für eine Realisierung des Systems dient. Eine Umsetzungsspezifikation kann daraus mit wenig Aufwand abgeleitet werden. Für jede Aufgabe konnten entsprechende Programmbibliotheken aus der Open Source Welt gefunden werden, welche gewisse Teilaspekte des Problemes lösen können.

In Softwareprojekten tauchen während der Entwicklung auch mit den besten Spezifikationen Fragen und Unklarheiten auf. Erst die konkrete Umsetzung der MODIS Anbindung wird den Beweis erbringen, dass das Konzept funktioniert. Mit dieser Einschränkung muss die vorliegende Arbeit leben.

6.2 Ausblick

Unter der Annahme, dass sich ein Projektteam, ausgestattet mit den nötigen Ressourcen, dem vorliegenden Konzept annehmen wird, werden folgende weiteren Schritte vorgeschlagen:

1. Verfeinern der technischen Spezifikation, inklusive Software Design, DB-Design, Architektur.
2. Umsetzen des Prozesses am Beispiel eines einzelnen MODIS Produktes im Sinne eines Proof-Of-Concept. Der „Durchstich“ von einem Ende der Prozesskette zum andern soll beweisen, dass das Konzept funktioniert.
3. Bei erfolgreichem Proof-Of-Concept: Ausbau der Funktionalität in die Breite.

Es ist ein Augenmerk auf die Performance und die Skalierung des Web Map Servers zu richten, insbesondere, wenn es mehr und mehr Daten sind, die er vorhält. Möglicherweise wird dann die Datenhaltung in einer räumlichen Datenbank (z. B. PostgreSQL/PostGIS¹) effizienter. Ebenfalls sollte man sich frühzeitig mit der Kachelung der Daten für schnelleren Bildaufbau, sowie um das Cacheing kümmern. Dafür existiert die Erweiterung GeoWebCache².

Ist das System technisch korrekt und skalierbar umgesetzt, können weitere Ausbauschritte ins Auge gefasst werden:

- Mehr MODIS Datenprodukte könnten angeboten werden.
- Berücksichtigung der Qualitätsparameter von MODIS Daten. Viele der MODIS Produkte enthalten Qualitätsparameter, welche Aussagen machen über die Zuverlässigkeit der Daten. Diese Information könnte in Zukunft bei der Aufbereitung der Bilder berücksichtigt werden, um gewisse Qualitätsstandards zu erreichen. Daten schlechterer Qualität könnten ausmaskiert oder zumindest entsprechend bezeichnet werden.
- Eine grössere räumliche Abdeckung könnte angestrebt werden, um auch grossräumigere Atmosphärenphänomene abbilden zu können. In diesem Fall müsste wohl noch eine Komponente „Mosaikierung“ in den Prozessfluss eingebaut werden.
- Weitere frei verfügbare Satellitenbilddaten könnten ins System integriert werden.
- Das System könnte die räumlichen Daten in verschiedenen Formaten (inklusive im Rohdatenformat HDF) und gemäss gewünschtem Ausschnitt zum Download anbieten. Dies könnte die Hemmschwelle, MODIS Daten zu beziehen, senken.
- Im Internet kursieren Ideen für eine „Ingestion Engine“ für GeoServer. Dahinter steckt die Idee, eine Erweiterung für GeoServer zu schreiben, welche das einspeisen und konfigurieren von Rohdaten in den Web Map Server vereinfacht. Man könnte nun diese Idee weiterspinnen und eine „MODIS Ingestion Engine“ entwickeln, welche es durch einfache Konfiguration erlaubt, MODIS Daten im GeoServer anzubieten.

¹ <http://postgis.refractions.net/>, zuletzt besucht am 17.12.2011.

² <http://geowebcache.org/>, zuletzt besucht am 08.12.2011.

Literaturverzeichnis

- [1] *About GeoTools*. <http://geotools.org/about.html>, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 07.12.2011
- [2] *GeoServer: Raster Legends Explained*. http://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wms/get_legend_graphic/legendgraphic.html#raster-legends-explained, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 05.12.2011
- [3] *GeoServer: RESTful Configuration*. <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/restconfig/index.html>, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 05.12.2011
- [4] *GeoServer: WMS output formats*. <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wms/outputformats.html#wms-output-formats>, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 05.12.2011
- [5] ACKERMAN, S. ; FREY, R. ; STRABALA, K. ; LIU, Y. ; GUMLEY, L. ; BAUM, B. ; MENZEL, P.: *Discriminating Clear-Sky From Cloud With Modis Algorithm Theoretical Basis Document (Mod35)*. Version 6.1. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin - Madison, 2010
- [6] ASRAR, G. ; DOZIER, J.: *Science strategy for the earth observing system*. Woodbury, NY AIP Press, 1994
- [7] BAHRENBERG, G. ; GIESE, E. ; NIPPER, J.: *Statistische Methoden in der Geographie*. Band 1: Univariate und Bivariate Statistik. Teubner Studienbücher, 1990
- [8] BASS, L. ; CLEMENTS, P. ; KAZMAN, R.: *Software Architecture in Practice*. 1st Edition. Addison-Wesley Professional, 2003
- [9] BROCKMANN_CONSULT_GMBH: *BEAM: Earth Observation Toolbox and Development Platform*. <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>, 10 2011. – Zuletzt besucht am: 12.10.2011
- [10] CHEN, Z. ; ABIDI, B. ; PAGE, D. ; ABIDI, M.: Gray Level Grouping (GLG): An Automatic Method for Optimized Image Contrast Enhancement - Part I: The Basic Method. In: *IEEE Transactions on Image Processing* 15 (2006), Nr. 8, S. 2290 – 2302
- [11] CHEN, Z. ; ABIDI, B. ; PAGE, D. ; ABIDI, M.: Gray Level Grouping (GLG): An Automatic Method for Optimized Image Contrast Enhancement - Part II: The Variations. In: *IEEE Transactions on Image Processing* 15 (2006), Nr. 8, S. 2303 – 2314

- [12] CHUVIECO, E. ; HUETE, A.: *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. CRC Press, 2010
- [13] FRAZIER, S.: *MODIS - Direct Broadcast*. <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/directbrod/index.php>, 9 2011. – Zuletzt besucht am: 28.09.2011
- [14] GERTZ, M. ; RUEDA, C. ; ZHANG, J.: Interoperability and Data Integration in the Geosciences. In: SHOSHANI, A. (Hrsg.) ; ROTEM, D. (Hrsg.): *Scientific Data Management: Challenges, Technology and Deployment*, Chapman & Hall/CRC, 2010, S. 369 – 398
- [15] GOODARD_SPACE_FLIGHT_CENTER: *MODAPS Web Services*. http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/web_services.html, 6 2011. – Zuletzt besucht am: 30.06.2011
- [16] HARROKS, K.: *MODIS NRT vs. Science Quality*. <http://lance.nasa.gov/data-products/modis-products/modis-ntr-vs-science-quality/>, 9 2011. – Zuletzt besucht am: 23.09.2011
- [17] HUBANKS, P. ; RIDGEWAY, B.: *MODIS Atmosphere - Introduction*. <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/index.html>, 7 2011. – Zuletzt besucht am: 13.07.2011
- [18] HUETE, A. ; JUSTICE, C. ; LEEUWEN, W. vn: *Modis Vegetation Index (MOD 13) - Algorithm Theoretical Basis Document*. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf, . – Zuletzt besucht am: 31
- [19] MACCHERONE, B.: *MODIS Web - About MODIS*. <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>, 6 2011. – Zuletzt besucht am: 27.06.2011
- [20] MATHER, P. ; KOCH, M.: *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*. Fourth Edition. Wiley-Blackwell, 2011
- [21] MITCHELL, A.E.: *Earth Observing System (EOS) Clearinghouse (ECHO)*. <http://www.echo.nasa.gov/index.html>, 9 2011. – Zuletzt besucht am: 28.09.2011
- [22] MITCHELL, A.E.: *REVERB The Next Generation Earth Science Discovery Tool*. <http://reverb.echo.nasa.gov/>, 9 2011. – Zuletzt besucht am: 28.09.2011
- [23] MYNENI, R.B. ; HALL, F.G. ; SELLERS, P.J. ; MARSHAK, A.L.: The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes. In: *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing* 33 (1995), S. 481 – 486
- [24] NAIK, S. ; MURTHY, C.: Hue-preserving color image enhancement without gamut problem. In: *IEEE Transactions on Image Processing* 12 (2003), S. 1591 – 1598
- [25] OLBRICH, G. ; QUICK, M. ; SCHWEIKART, J.: *Computerkartographie*. Springer-Verlag, 1994
- [26] OPENGEO: *GeoServer in Production*. <http://opengeo.org/publications/geoserver-production/opengeo-geoserver.pdf>, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 03.12.2011

- [27] OPEN_GEOSPATIAL_CONSORTIUM: *OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification*. <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>, 12 2011. – Zuletzt besucht am: 02.12.2011
- [28] PLATNICK, S. ; KING, M.D. ; ACKERMAN, S.A. ; MENZEL, W.P. ; BAUM, B.A. ; RIÉDI, J.C. ; FREY, R.A.: The MODIS Cloud Products: Algorithms and Examples From Terra. In: *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing* 41 (2003), Nr. 2, S. 459 – 473
- [29] PONS, X. ; SOLÉ-SUGRAÑES, L.: A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. In: *Remote Sensing of Environment* 48 (1994), Nr. 2, S. 191 – 204
- [30] PRZYBORSKI, P.: *NASA's Earth Observing System*. http://eospsso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/description.php, 6 2011. – Zuletzt besucht am: 06.07.2011
- [31] RICHARDSON, L. ; RUBY, S.: *RESTful Web Services*. O'Reilly Media, 2007
- [32] SCHMETZ, J. ; PILI, P. ; TJEMKES, S. ; JUST, D. ; KERKMANN, J. ; ROTA, S. ; RATIER, A.: An Introduction To Meteosat Second Generation (MSG). In: *Bulletin of the American Meteorological Society* (2002), 07
- [33] SHI, Y. ; ZHANG, J. ; REID, J. S. ; HSU, C.: Evaluation of the MODIS Deep Blue aerosol product over the North Africa Regions for aerosol forecasts related applications. In: *AGU Fall Meeting Abstracts* (2010), Dezember, S. A25+
- [34] SOMMERVILLE, I.: *Software Engineering*. International Edition. Pearson Education Inc., 2011
- [35] WEIHER, J. ; HERRING, D.: *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.php, 11 2011. – Zuletzt besucht am: 23.11.2011
- [36] WELCH, B.B. ; JONES, K.: *Practical Programming in Tcl and Tk*. Fourth Edition. Prentice Hall, 2003
- [37] WILDT, M. de Ruyter d.: Improved Methods for Snow-Cloud Separation Using Multi-temporal Meteosat-8 SEVIRI Imagery. In: SCHÄTTLER, U. (Hrsg.) ; MONTANI, A. (Hrsg.) ; MILELLI, M. (Hrsg.): *COSMO Newsletter: Proceedings from the 7th COSMO General Meeting* Bd. No. 6, 2006, S. 11–22
- [38] WOLFE, R.E. ; NISHIHAMA, M. ; FLEIG, A.J. ; KUYPER, J.A. ; ROY, D.P. ; STOREY, J.C. ; PATT, F.S.: Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. In: *Remote Sensing of environment* 83 (2002), S. 31 – 49
- [39] WOLFE, R.E. ; ROY, D.P. ; VERMOTE, E.: MODIS Land Data Storage, Gridding, and Compositing Methodology: Level 2 Grid. In: *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing* 36 (1998), Nr. 4, S. 1324 – 1338
- [40] XIONG, X ; CHIANG, K ; SUN, J. ; BARNERS, W.L. ; GUENTHER, B. ; SALOMONSON, V.V.: NASA EOS Terra and Aqua MODIS on-orbit performance. In: *Advances in Space Research* 43 (2009), S. 413–422

Anhang A

Data Fetcher Tcl Script

Das Script, das Testweise diejenigen Files von LANCE MODIS FTP Verzeichnissen findet, die zeitlichen, räumlichen und thematischen Suchkriterien genügen.

```
4  # Script which fetches data from LANCE MODIS
# It loops over all configured products and looks for matching product files
# matching is:
# - time: the most recent file
# - product: the product which we want
# - spatial: the imagery contains the center point of switzerland

9  package require ftp 2.4.9

# static configuration
set swissCenterLon 8.2
set swissCenterLat 46.8
14 set ftpserver "nrt1.modaps.eosdis.nasa.gov"
set ftpuser "nischmi"
set ftppassword "modis4nischmi"
set satellites [list MOD MYD]
set products [list "02HKM" "04_L2" "35_L2" "06_L2"]
19 # set products [list "06_L2"]

# user defined configuration
set downloadDataDir [file join D:/ nebelkarte data modis-fetches ]

24 ##
# loop over all product's "Recent" directories and check each
# directory for matching files
# param satellites list of satellites to check (MOD - Aqua, MYD - Terra)
proc main {satellites products} {
29     global ftpserver

        foreach prod $products {
            foreach sat $satellites {
                set code "${sat}${prod}"
34                set productsdir "allData/1/${code}/Recent"
                checkDir $ftpserver $productsdir
            }
        }
}
39 ##
```

```

# gets filelist of one specific directory and searches for
# geo-matching dataset
# this proc opens and closes once the ftp session
44 proc checkDir {ftpserver productsdir} {

    if [[catch {
        set handle [prepareFtp $ftpserver $productsdir]
        set url "ftp://{$ftpserver}/$productsdir"
49 puts stdout "checking for files in $url"
        set fileList \
        [lsort -ascii -decr [getFtpListing $handle "met"]]
        foreach fileName $fileList {
            # here, the final script should check (against the db)
54 # if this file has been previously found and processed
            # if yes, write a log and quit the loop
            set filecontent [getMetafile $handle $fileName]
            if {[geoAreaMatches $fileName $filecontent]} {
59 # this is success. We have found the most
                # recent file
                puts stdout "found file: {$url}/$fileName"
                # fetch the data file
                downloadDataFile $handle $fileName
                break
64             }
        }
    } msg]] {
        closeFtpHandle
        puts stderr "Error in checkDir Loop: $msg"
69     }
    closeFtpHandle
}

##
74 # extracts coordinates from file and checks if they cover the area
# of interest. Use very primitive approach: if center point of
# switzerland is inside the outer boundaries of the dataset,
# this means a match. This will need to be refined using a gis
# library where we could check for "is polygon inside other polygon"?
79 proc geoAreaMatches {filename filedata} {
    global swissCenterLon
    global swissCenterLat
    if {[string match "*_L2*" $filename]} {
84 # this is level 2 data: it has different metafile
        # form than Level 1 data
        set hasCoord [extractCoordinatesL2 coordArray $filedata]
    } else {
        set hasCoord [extractCoordinatesL1 coordArray $filedata]
    }
89 if $hasCoord {
        # means, we have coordinates
        set orderedLons [lsort -decr $coordArray(lon)]
        set orderedLats [lsort -decr $coordArray(lat)]
94 set maxLon [lindex $orderedLons 0]
        set minLon [lindex $orderedLons end]
        set maxLat [lindex $orderedLats 0]
        set minLat [lindex $orderedLats end]
        # this is the extremely rudimentary GIS-Part of the script
        if {[expr $minLon < $swissCenterLon] && \
99 [expr $swissCenterLon < $maxLon] && \

```

```

        [expr $minLat < $swissCenterLat] && \
        [expr $swissCenterLat < $maxLat]} {
        return 1
    }
104     }
        return 0
    }

##
109 # extract the coordinates from the file, out of this string bunch
# OBJECT = GRINGPOINTLONGITUDE
# NUM_VAL = 4
# CLASS = "1"
# VALUE = (26.127, 0.7436634, -9.468658, 24.14202)
114 # END_OBJECT = GRINGPOINTLONGITUDE
#
# OBJECT = GRINGPOINTLATITUDE
# NUM_VAL = 4
# CLASS = "1"
119 # VALUE = (36.203941, 32.6048062, 49.32064, 54.50248)
# END_OBJECT = GRINGPOINTLATITUDE
proc extractCoordinatesL1 {vcoordArray metafile} {
    upvar $vcoordArray coordArray
    set lines [split $metafile "\n"]
124     set count 0
    set longflag 1
    set latflag 1
    foreach line $lines {
        # here, we could add more filters to skip the file:
129         # for example, check for the day/night flag
        incr count
        if {[string match "*GRINGPOINTLONGITUDE*" $line] \
            && $longflag} {
            # nearing our line
134             set longitudeLineNr [expr $count + 2]
            set longflag 0
            continue
        }
        if {[string match "*GRINGPOINTLATITUDE*" $line] \
            && $latflag} {
139             # nearing our line
            set latitudeLineNr [expr $count + 2]
            set latflag 0
            continue
        }
144     }
    }
    if {[info exists longitudeLineNr]} {
        set longline [lindex $lines $longitudeLineNr]
        # extract coordinates from the text
149         set first [expr [string first "(" $longline] + 1]
        set last [expr [string first ")" $longline] -1]
        set nrs [string range $longline $first $last]
        set longitudes [join [split $nrs ","]]

154         set latline [lindex $lines $latitudeLineNr]
        # extract coordinates from the text
        set first [expr [string first "(" $latline] + 1]
        set last [expr [string first ")" $latline] -1]
        set nrs [string range $latline $first $last]
    }
}

```

```

159         set latitudes [join [split $nrs ","]]

        array set coordArray [list lon $longitudes lat $latitudes]
        return 1
    } else {
164         # this means we have not found coordinates in the file
        return 0
    }
}

169 ##
# extract the coordinates from the file, out of this string bunch
# OBJECT = EASTBOUNDINGCOORDINATE
## NUM_VAL = 1
## VALUE = 180.0
174 ## END_OBJECT = EASTBOUNDINGCOORDINATE
##
## OBJECT = WESTBOUNDINGCOORDINATE
## NUM_VAL = 1
## VALUE = -180.0
179 ## END_OBJECT = WESTBOUNDINGCOORDINATE
##
## OBJECT = SOUTHBOUNDINGCOORDINATE
## NUM_VAL = 1
## VALUE = 68.5740674456943
184 ## END_OBJECT = SOUTHBOUNDINGCOORDINATE
##
## OBJECT = NORTHBOUNDINGCOORDINATE
## NUM_VAL = 1
## VALUE = 89.9861268174412
189 ## END_OBJECT = NORTHBOUNDINGCOORDINATE
#
proc extractCoordinatesL2 {vcoordArray metafile} {
    upvar $vcoordArray coordArray
    set lines [split $metafile "\n"]
194    set count 0
    set eastflag 1
    set westflag 1
    set nortflag 1
    set soutflag 1
199    foreach line $lines {
        # here, we could add more filters to skip the file:
        # for example, check for the day/night flag
        #puts $line
        incr count
204        if {$eastflag && \
            [string match "*EASTBOUNDINGCOORDINATE*" $line]} {
            # nearing our line
            set eastLineNr [expr $count + 1]
            set eastLine [lindex $lines $eastLineNr]
209            set eastflag 0
            continue
        }
        if {$westflag && \
214        [string match "*WESTBOUNDINGCOORDINATE*" $line]} {
            # nearing our line
            set westLineNr [expr $count + 1]
            set westLine [lindex $lines $westLineNr]
            set westflag 0
        }
    }
}

```

```

                continue
219     }
        if {$soutflag && \
            [string match "*SOUTHBOUNDINGCOORDINATE*" $line]} {
            # nearing our line
            set soutLineNr [expr $count + 1]
224     set soutLine [lindex $lines $soutLineNr]
            set soutflag 0
            continue
        }
        if {$nortflag && \
229     [string match "*NORTHBOUNDINGCOORDINATE*" $line]} {
            # nearing our line
            set nortLineNr [expr $count + 1]
            set nortLine [lindex $lines $nortLineNr]
            set nortflag 0
234     continue
        }
    }
    if {[info exists eastLine]} {
239     regexp {.*= (\-?[0-9]+\.[0-9]+)} $eastLine all east
        regexp {.*= (\-?[0-9]+\.[0-9]+)} $westLine all west
        regexp {.*= (\-?[0-9]+\.[0-9]+)} $soutLine all sout
        regexp {.*= (\-?[0-9]+\.[0-9]+)} $nortLine all nort
        array set coordArray [list lon [list $east $west] \
244     lat [list $sout $nort]]
        #puts stdout "L2 Coords: [array get coordArray]"
        return 1
    }
    # this means we have not found coordinates in the file
    return 0
249 }

##
254 # get a file listing of the given directory
    # and optional file ending pattern
    proc getFtpListing {handle {ending {}}} {
        if {[string length $ending]} {
259     set ending ".*$ending"
        }
        set listing [::ftp::NList $handle $ending]
        return $listing
    }

##
264 # fetch a file: this proc assumes that ftp channel is open
    # and we have changed to the right directory
    # returns 0 if ftp get was not successful
    proc getMetafile {handle filename} {
269     ::ftp::Type $handle ascii
        if [::ftp::Get $handle $filename -variable data] {
            return $data
        } else {
            return 0
274     }
    }
}

```

```

##
# fetch a data file: this proc assumes that ftp channel is
279 # open and we have changed to the right remote directory
# The file is stored locally in a subdirectory of the
# current dir named YYYYMMDD-pid under the same name as
# the remote file
proc downloadDataFile {handle filename} {
284     global downloadDataDir
    if {[string match "*.met" $filename]} {
        # cut off the extension
        set filename [string range $filename 0 \
            [expr [string length $filename] - 5]]
289     }
    set date [clock format [clock seconds] -f "%Y%m%d"]
    set dirname [file join $downloadDataDir "${date}-[pid]"]

    set localfilename [file join $dirname $filename]
294

    puts stdout "fetching data file $filename"
    set ok 0
    set msg "ftp transfer was not successful"

299     catch {
        if {![file exists $dirname]} {
            file mkdir $dirname
        }
        ::ftp::Type $handle binary
304         set ok [::ftp::Get $handle $filename $localfilename]
    } msg

    if $ok {
309         puts stdout "successfully fetched $localfilename"
    } else {
        puts stdout "could not fetch $filename: $msg"
    }
}

314 ##
# Close the ftp connection and cleanup
proc closeFtpHandle {} {
    global f_handle
    if {[info exists f_handle]} {
319         ::ftp::Close $f_handle
        unset f_handle
    }
}

324 ##
# Open an ftp connection and cd to the right directory
# or return an existing connection
proc prepareFtp {ftpserver dir} {
    global f_handle
329     global ftpuser
    global ftppassword
    if {[info exists f_handle]} {
        return $f_handle
    }
334

    set f_handle \

```

```
339     [::ftp::Open $ftpserver $ftpuser $ftppassword -mode passive]
      if {$f_handle eq -1} {
          puts stderr "Could not connect to ftp server $ftpserver"
          exit -1
      }

      ::ftp::Cd $f_handle $dir
      return $f_handle
344 }

main $satellites $products
```

Listing A.1: Data Fetcher Tcl Script

Anhang B

Exemplarischer Java Code für Projektion und GeoTIFF Operationen

Die folgende Java Testklasse kommt aus dem GeoTools Code Repository. Einige Tests wurden entfernt. Sie enthält einige JUnit Tests, welche verschiedene Aspekte beleuchten, die auch für die vorliegende Arbeit von Relevanz sind:

- Zeile 102: Umprojizieren eines Datensatzes in die Google Mercator Projektion
- Zeile 110: Schreiben eines GeoTIFF Files
- Zeilen 159ff: Schreiben GeoTIFF mit Metadaten
- Zeilen 207ff: Schreiben GeoTIFF mit spezieller Parametrisierung (z. B.: BigTIFF)

```
4  /*
   * GeoTools - The Open Source Java GIS Toolkit
   * http://geotools.org
   *
   * (C) 2005-2008, Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)
   *
   * This library is free software; you can redistribute it and/or
   * modify it under the terms of the GNU Lesser General Public
   9  * License as published by the Free Software Foundation;
   * version 2.1 of the License.
   *
   * This library is distributed in the hope that it will be useful,
   * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
  14  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU
   * Lesser General Public License for more details.
   */
package org.geotools.gce.geotiff;

  19  import it.geosolutions.imageio.plugins.tiff.BaselineTIFFTagSet;

import java.awt.geom.AffineTransform;
import java.awt.image.RenderedImage;
import java.io.File;
  24  import java.io.FileInputStream;
```

```

import java.io.IOException;
import java.text.ParseException;
import java.util.logging.Logger;

29 import javax.media.jai.PlanarImage;

import junit.framework.Assert;

import org.geotools.coverage.grid.GridCoverage2D;
34 import org.geotools.coverage.grid.GridGeometry2D;
import org.geotools.coverage.grid.io.AbstractGridFormat;
import org.geotools.coverage.grid.io.imageio.GeoToolsWriteParams;
import org.geotools.coverage.grid.io.imageio.IIOMetadataDumper;
import org.geotools.coverage.grid.io.imageio.geotiff.
    GeoTiffIIOMetadataDecoder;
39 import org.geotools.coverage.grid.io.imageio.geotiff.
    GeoTiffIIOMetadataEncoder.TagSet;
import org.geotools.coverage.processing.CoverageProcessor;
import org.geotools.coverage.processing.Operations;
import org.geotools.factory.Hints;
import org.geotools.geometry.GeneralEnvelope;
44 import org.geotools.image.io.GridCoverageWriterProgressAdapter;
import org.geotools.referencing.CRS;
import org.geotools.referencing.operation.matrix.XAffineTransform;
import org.geotools.test.TestData;
import org.junit.Ignore;
49 import org.junit.Test;
import org.opengis.coverage.grid.GridCoverageReader;
import org.opengis.coverage.grid.GridCoverageWriter;
import org.opengis.coverage.grid.GridEnvelope;
import org.opengis.parameter.GeneralParameterValue;
54 import org.opengis.parameter.ParameterValue;
import org.opengis.parameter.ParameterValueGroup;
import org.opengis.referencing.FactoryException;
import org.opengis.referencing.crs.CoordinateReferenceSystem;
import org.opengis.referencing.datum.PixelInCell;
59 import org.opengis.referencing.operation.MathTransform;
import org.opengis.referencing.operation.TransformException;
import org.opengis.util.InternationalString;
import org.opengis.util.ProgressListener;

64 /**
 * @author Simone Giannecchini
 *
 *
 *
69 * @source $URL$
 */
public class GeoTiffWriterTest extends Assert {
    private static final Logger LOGGER = org.geotools.util.logging.Logging
        .getLogger(GeoTiffWriterTest.class.toString());

74
    @Test
    // @Ignore
    public void testWriteGoogleMercator() throws Exception {
        final String google= "PROJCS[\"WGS84 / Google Mercator\", GEOGCS[\"WGS
            84\", DATUM[\"World Geodetic System 1984\", SPHEROID[\"WGS 84\",
            6378137.0, 298.257223563, AUTHORITY[\"EPSG\", \"7030\"]], AUTHORITY

```

```

        ["EPSG","6326"], PRIMEM["Greenwich", 0.0, AUTHORITY["EPSG
        \",\"8901\""], UNIT["degree", 0.017453292519943295], AUTHORITY
        ["EPSG","4326"], PROJECTION["Mercator (1SP)", AUTHORITY["
        EPSG","9804"], PARAMETER["semi_major", 6378137.0], PARAMETER
        ["semi_minor", 6378137.0], PARAMETER["latitude_of_origin",
        0.0], PARAMETER["central_meridian", 0.0], PARAMETER["
        scale_factor", 1.0], PARAMETER["false_easting", 0.0], PARAMETER
        ["false_northing", 0.0], UNIT["m", 1.0], AUTHORITY["EPSG
        \",\"900913\""]];
79     final CoordinateReferenceSystem googleCRS= CRS.parseWKT(google);

        //
        // world geotiff
        //
84     final File testFile = TestData.file(GeoTiffReaderTest.class, "latlon.
        tiff");
        final AbstractGridFormat format = new GeoTiffFormat();
        assertTrue(format.accepts(testFile));

        // getting a reader
89     GeoTiffReader reader = new GeoTiffReader(testFile);

        // reading the coverage
        GridCoverage2D coverage = (GridCoverage2D) reader.read(null);

94     // check coverage and crs
        assertNotNull(coverage);
        assertNotNull(coverage.getCoordinateReferenceSystem());
        assertEquals(CRS.lookupIdentifier(coverage.
            getCoordinateReferenceSystem(), true),
            "EPSG:4267");
99     reader.dispose();

        // reproject
        coverage=(GridCoverage2D) Operations.DEFAULT.resample(coverage,
            googleCRS);

104

        // get a writer
        final File mercator = new File(TestData.file(GeoTiffReaderTest.class,
            ".","wms_900913.tif"));
        GeoTiffWriter writer = new GeoTiffWriter(mercator);

109     writer.write(coverage,null );
        writer.dispose();

        // getting a reader
        reader = new GeoTiffReader(mercator);
        // reading the coverage
        GridCoverage2D coverageMercator = (GridCoverage2D) reader.read(null);
114 // check coverage and crs
        assertNotNull(coverageMercator);
        assertNotNull(coverageMercator.getCoordinateReferenceSystem());
        assertTrue(CRS.equalsIgnoreMetadata(coverage.
            getCoordinateReferenceSystem(),googleCRS));
        assertTrue(coverage.getEnvelope2D().getFrame().equals(coverageMercator
            .getEnvelope2D().getFrame()));
119

```

```

124     reader.dispose();
        coverage.dispose(true);
        coverage.dispose(true);

129     }

    @Test
    // @Ignore
    public void testWriteWithMetadata() throws Exception {

134         //
        // no crs geotiff
        //
        final File input = TestData.file(GeoTiffReaderTest.class, "geo.tiff");
        final AbstractGridFormat format = new GeoTiffFormat();
139         assertTrue(format.accepts(input));

        // getting a reader
        GeoTiffReader reader = new GeoTiffReader(input);

144         // reading the coverage
        GridCoverage2D coverage = (GridCoverage2D) reader.read(null);

        // check coverage and crs
        assertNotNull(coverage);
149         assertNotNull(coverage.getCoordinateReferenceSystem());
        reader.dispose();

        // get a writer
        final File output = new File(TestData.file(GeoTiffReaderTest.class, ".
            "), "outMetadata.tif");
154         GeoTiffWriter writer = new GeoTiffWriter(output);

        // Setting a COPYRIGHT metadata
        String copyrightInfo = "(C) GEOTOOLS sample writer";
        String software = "GeoTools Coverage Writer test";

159         writer.setMetadataValue(Integer.toString(BaselineTIFFTagSet.
            TAG_COPYRIGHT), copyrightInfo);
        writer.setMetadataValue(TagSet.BASELINE + ":" + Integer.toString(
            BaselineTIFFTagSet.TAG_SOFTWARE), software);

        writer.write(coverage, null);
164         writer.dispose();
        coverage.dispose(true);

        // getting a reader
        reader = new GeoTiffReader(output);

169         GeoTiffIIOMetadataDecoder metadata = reader.getMetadata();
        String readSoftware = metadata.getAsciITIFFTag(Integer.toString(
            BaselineTIFFTagSet.TAG_SOFTWARE));
        assertTrue(software.equalsIgnoreCase(readSoftware));
        String readCopyright = metadata.getAsciITIFFTag(Integer.toString(
            BaselineTIFFTagSet.TAG_COPYRIGHT));
174         assertTrue(copyrightInfo.equalsIgnoreCase(readCopyright));

        reader.dispose();

```

```

    }
179
    @Test
    // @Ignore
    public void testWriteBigTiff() throws Exception {
184
        String files[] = new String[]{"geo.tiff", "no_crs_no_envelope.tif"};

        int i=0;
        for (String file : files){
189
            final File input = TestData.file(GeoTiffReaderTest.class, file);
            final AbstractGridFormat format = new GeoTiffFormat();
            assertTrue(format.accepts(input));

            // getting a reader
            GeoTiffReader reader = new GeoTiffReader(input);
194

            // reading the coverage
            GridCoverage2D coverage = (GridCoverage2D) reader.read(null);

            // check coverage and crs
199
            assertNotNull(coverage);
            assertNotNull(coverage.getCoordinateReferenceSystem());
            reader.dispose();

            // get a writer
204
            final File output = new File(TestData.file(GeoTiffReaderTest.class
                , "."), "bigtiff" + i + ".tif");
            GeoTiffWriter writer = new GeoTiffWriter(output);

            GeoTiffWriteParams params = new GeoTiffWriteParams();
            params.setForceToBigTIFF(true);
209
            ParameterValue<GeoToolsWriteParams> value = GeoTiffFormat.
                GEOTOOLS_WRITE_PARAMS.createValue();
            value.setValue(params);

            writer.write(coverage, new GeneralParameterValue[]{value});
            writer.dispose();
214
            coverage.dispose(true);

            // getting a reader
            reader = new GeoTiffReader(output);
            RenderedImage ri = reader.read(null).getRenderedImage();
219
            assertEquals(ri.getWidth(), i == 0 ? 120 : 12);
            assertEquals(ri.getHeight(), i == 0 ? 120 : 12);
            reader.dispose();

            FileInputStream fis = null;
224
            try {
                fis = new FileInputStream(output);

                byte[] bytes = new byte[6];
                fis.read(bytes);
229
                if (bytes[0] == 77 && bytes[1] == 77){
                    //Big Endian Case
                    assertEquals(bytes[3], 43); //43 is the magic number of
                        BigTiff
                } else {

```

```
234         //Little Endian Case
        assertEquals(bytes[4], 43); //43 is the magic number of
            BigTiff
        }
    } finally {
        if (fis != null){
            try {
239                fis.close();
            } catch (Throwable t){
                }
            }
244        }
        i++;
    }
249 }
```

Listing B.1: GeoTools Testcode für GeoTIFF und Projektion