



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Die Problematik automatisierten Erstellens globaler real-time Cloud Cover Mosaike aus frei verfügbaren Satellitenbilddaten“

verfasst von / submitted by

Reinhard Resch, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2018 / Vienna 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Danksagung

Gemäß und frei angepasst nach dem Konzept der Heldenreise nach Campbell muss ein Held diverse Stationen auf seiner Queste durchlaufen, um am Ende „Herr der zwei Welten“ zu sein und „Freiheit zum Leben“ zu erlangen.

Beginnend ist das Abenteuer mit „dem Ruf des Abenteuers“, in meinem Falle wohl die Entscheidung Kartographie und Geoinformation zu studieren und schlussendlich diese Masterarbeit zu realisieren. Es folgt die Weigerung, der Held zögert, dem Ruf zu folgen, doch durch übernatürliche Hilfe im Form eines Mentors überwindet er die ersten Schwellen. In diesem Sinne gilt dieser erste Dank meinem Betreuer Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl, für die konstruktiven, interessanten und lustigen Gespräche und das Vertrauen über die Jahre hinweg.

Es folgt der „Weg der Prüfungen“, Probleme treten auf die schließlich durch die „Begegnung mit der Göttin“ aufgeklärt werden. Meine „Göttin“ habe ich mittlerweile vor einigen Jahren kennen und lieben gelernt – ohne deine Unterstützung, deine Geduld und Liebe wäre ich vermutlich noch immer bei meiner Bachelorarbeit bei Zeichen 6444 (oder so ;)), mein Dank lässt sich deswegen kaum in Worte fassen.

Schließlich folgt die „Verweigerung der Rückkehr“, der Held zögert in die Welt des Alltags zurückzukehren. Zum Glück erfolgt die Rettung von außen, aber ja, auch eine Masterarbeit muss einmal zu Ende sein!

Weiterer Dank gebührt meinen fleißigen Korrekturlesern und natürlich auch meiner restlichen Familie – Danke für Alles über all die Jahre hinweg!

Abschließend will ich mich bei meinen Kindern Janos und Alva bedanken – weil ihr seid.

Inhalt

Inhalt.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	vi
Tabellenverzeichnis.....	ix
Glossar.....	x
Kurzfassung.....	xiii
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziele und Forschungsfragen:.....	2
1.2 Methodik:.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Geschichtliche Entwicklung der satellitenbasierten Fernerkundung.....	4
2.1 Frühe Anfänge und Pionierjahre.....	4
2.2 Aktuelle (meteorologische) Satelliten.....	7
2.2.1 Europa (ESA/EUMETSAT).....	10
2.2.2 USA (NASA/NOAA/DoD).....	13
2.2.3 China (CAST, NRSCC, NSMC-CMA).....	17
2.2.4 Indien (ISRO).....	20
2.2.5 Japan (JAXA, JMA).....	20
2.2.6 Russland (Roscosmos, RosHydroMet).....	21
2.2.7 Süd Korea (KMA, KARI).....	22
3 Einführung in die satellitengestützte Wolkenerfassung.....	23
3.1 Satellitenorbits.....	23
3.1.1 Geostationäre/Geostationary Orbits (GEO).....	24
3.1.2 Satelliten niederen/Low Earth Orbits (LEO).....	24
3.1.3 Medium Earth Orbits (MEO) und Highly Elliptical Orbit (HEO).....	25
3.2 Technische Einführung, aktive/passive Systeme, Auflösungen.....	25
3.2.1 Passive Messmethoden.....	26

3.2.2	Aktive Messmethoden.....	26
3.3	Spektralbereiche.....	26
3.3.1	VIS-Kanal.....	27
3.3.2	IR-Kanal.....	27
3.3.3	WV-Kanal.....	28
3.3.4	MV-Kanal.....	28
3.4	Invertierungsproblem.....	28
3.5	Von gemessener Strahlung zum Bild.....	29
3.5.1	Satellitenbildprodukte: Bearbeitungsstufen und "Levels"	30
3.6	Artefakte und mögliche Fehler in Satellitenbildern.....	31
3.6.1	Sonne.....	33
3.6.2	Atmosphäre.....	34
3.6.3	Abgebildete Erdoberfläche.....	35
3.6.4	Spektralfilter.....	35
3.6.5	Sensor.....	35
3.6.6	Auslese-Elektronik.....	35
3.6.7	A/D-Wandler.....	36
3.6.8	Datenkompression.....	36
3.6.9	Radiometrische Korrekturen.....	36
3.6.10	Geometrische Korrekturen.....	36
4	Vergleich bestehender real-time Cloud Covers.....	37
4.1	Science On a Sphere (SOS).....	38
4.1.1	Clouds – Real-time.....	39
4.1.2	Earth in True Color (daily) - Real-time.....	40
4.1.3	Satellite Swath – Real-time.....	41
4.2	XPlanet Cloud Map.....	42
4.3	NASA Earth Observations (NEO).....	43
4.3.1	Cloud Fraction.....	44

4.3.2 True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response.....	45
4.3.3 True Color Suomi NPP/VIIRS.....	46
4.4 Naval Research Lab (NRL) Monterey Marine Meteorology Division.....	47
4.4.1 Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night).....	48
4.4.2 Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS.....	49
4.4.3 Multisat Stitched Global IR Bluemarble.....	50
4.4.4 Multisat Stitched Global IR.....	51
4.4.5 Multisat Stitched Global IR 2.....	52
4.5 Zusammenfassung, Vergleich und Fazit.....	53
5 Auswahl der Open Data Quellen.....	58
5.1 Ermittlung des erweiterten Anforderungsprofils.....	58
5.1.1 Aktualisierungsintervall.....	59
5.1.2 Maximal verfügbare Auflösung.....	59
5.1.3 Artefakte.....	60
5.1.4 Datenverfügbarkeitsdauer.....	60
5.1.5 Farbmodus.....	60
5.1.6 Lizenzart/Kosten.....	60
5.1.7 Sonstige Bildstörungen.....	61
5.1.8 Conclusio.....	61
5.2 Verschiedene Open Data Quellen.....	62
5.2.1 COMS-1 - National Meteorological Satellite Center (NMSC).....	62
5.2.2 FengYun-2 (E, F, G) - FENGYUN Satellite Data Center.....	64
5.2.3 GOES - Comprehensive Large Array-Data Stewardship System (CLASS).....	65
5.2.4 INSAT/KALPANA - Meteorological and Oceanographic Satellite Data Archival Centre (MOSDAC).....	66
5.2.5 Meteosat-8,-9,-10,-11; MSG (Meteosat Second Generation) - EUMETSAT Earth Observation Portal (EOP).....	67
5.2.6 Himawari-8 - HimawariCloud Service.....	68

5.2.7 GOES West und East, Meteosat SEVIRI, Meteosat SEVIRI (IODC), Himawari 8 - Dundee Satellite Receiving Station.....	69
5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	71
6 Reprojektion und Mosaikierung.....	72
6.1 Normalized Geostationary Projection (GEOS-Projektion).....	73
6.2 Bibliotheken/Systeme zur Definition und Konvertierung von Kartennetzentwürfen.....	76
6.2.1 EPSG (Codes).....	76
6.2.2 Proj.4.....	77
6.2.3 WKT.....	77
6.2.4 Weitere Formate zur digitalen Repräsentierung von Kartennetzentwürfen.....	78
6.3 Grundlegende Einführung in Raster Resampling.....	78
6.3.1 Nearest Neighbor.....	79
6.3.2 Bilineare Interpolation.....	79
6.3.3 Cubic Convolution.....	80
6.3.4 Majority Resampling.....	81
6.3.5 Elliptical Weighted Averaging (EWA).....	81
6.4 Resampling der Daten mit Python.....	82
6.4.1 GDAL - Geospatial Data Abstraction Library.....	82
6.4.2 Cartopy.....	82
6.4.3 Pyresample.....	83
6.4.4 Geopandas.....	83
6.4.5 PyGeoprocessing.....	83
6.4.6 Pyproj.....	84
6.5 Verschiedene Mosaikierungsverfahren.....	84
6.5.1 Feathering und Center-Weighting.....	84
6.5.2 Gaussian Weighting.....	85
7 Praktische Umsetzung des Resampling und Mosaikierens in Python.....	87
7.1 Auswahl geeigneter Opendata Quellen und deren Akquirierung.....	90

7.2	Registrierung und Reprojektion.....	92
7.3	Mosaikieren.....	95
7.4	Optionale Bearbeitungsschritte.....	98
7.5	Analyse des Endresultats.....	99
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	101
9	Literatur.....	104
	Anhang.....	111

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das erste von Tiros-1 übermittelte Satellitenbild der Erde.....	5
Abb. 2: Direkter Vergleich des MODIS-Sensors mit dem auf SNPP installierten VIIRS.....	16
Abb. 3: Standorte der GOES-Satelliten.....	16
Abb. 4: Positionen der geostationären Feng-Yun 2 und polarumkreisenden Feng-Yun 3 Satelliten.....	19
Abb. 5: Exemplarische Darstellung verschiedener Satellitenorbits.....	24
Abb. 6: Darstellung eines sonnensynchronen Orbits und seiner Orbitparameter.....	25
Abb. 7: Übersicht über das elektromagnetische Spektrum und die jeweils spezifische Bezeichnung nach Wellenlängenbereichen mit exemplarischen Beispielen in der praktischen Verwendung von Satelliten.....	27
Abb. 8: Darstellung des Invertierungsproblems bzgl. der Abweichungen von zu messender und gemessener Strahlung am Satellit.....	29
Abb. 9: Aufnahme eines Zyklons vor der Bildverbesserung (links) und nach der Verbesserung (rechts); klar zu erkennen ist nun die Differenzierung des Zyklon- Auges.....	30
Abb. 10: Beispiele für mögliche auftretende Artefakte anhand Bilder von SPOT- Satelliten: a) A/D-Wandler Probleme, b) Sättigungspfade (Trailing Charges), c) Sensoren-Übersättigung und d) unkorrigierte tote Pixel (dead pixels).....	32
Abb. 11: Sunlint im Mittelmeer oberhalb Nordafrikas.....	34
Abb. 12: Science On a Sphere Installation in Daegu National Science Museum.....	38
Abb. 13: SOS „Clouds – Real-time“ Datensatz auf einem virtuellen Hyperglobus dargestellt.....	39
Abb. 14: SOS „Earth in True Color (daily)“, skaliertes Originaldatensatz.....	40
Abb. 15: Auftretende Artefakte über dem Pazifik bei „Earth in True Color (daily)“ (um 90° im Uhrzeigersinn gedreht).....	40
Abb. 16: SOS „Satellite Swath – Real-time“, skaliertes Originaldatensatz.....	41
Abb. 17: Monochromatisches Bild von XplanetClouds.....	43
Abb. 18: NASA Earth Observations (NEO) Logo.....	43
Abb. 19: NASA Earth Observations "Cloud Fraction", Terra/MODIS.....	44

Abb. 20: Bipolare blau-weiß Colortable des "Cloud Fractions" Datensatzes.....	45
Abb. 21: NEO "True Color (1 day - Terra/MODIS Rapid Response)" Datensatz.....	46
Abb. 22: Neues (links) und altes (rechts) Logo des Naval Research Laboratory.....	47
Abb. 23: "Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)" der Marine Meteorology Division des NRL.....	48
Abb. 24: "Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS" der Marine Meteorology Division des NRL.....	49
Abb. 25: "Multisat Stitched Global IR Bluemarble" der Marine Meteorology Division des NRL.....	50
Abb. 26: "Multisat Stitched Global IR" der Marine Meteorology Division des NRL.....	51
Abb. 27: "Multisat Stitched Global IR 2" der Marine Meteorology Division des NRL	52
Abb. 28: Auswahl der Datensätze im NMSC Datenportal (links) und exemplarisch Level 2 Cloud Detection Produkt (rechts).....	63
Abb. 29: Vergleich Level 2 "Cloud Total Amount" (links) und Level 1 IR-Channel 2 (rechts); beide FY-2G.....	64
Abb. 30: Band 4 (10.7µm) Level 1B GOES-15 Daten; zu beachten sind die Artefakte im unteren Bereich und der eher unübliche Rahmenabstand (zur besseren Sichtbarkeit wurde ein Rahmen um das Bild gelegt).....	65
Abb. 31: Auswahlmaske diverser Parameter zum Datendownload des CLASS-Portals	66
Abb. 32: Aus HDF extrahiertes INSAT-3DR Level 2B Cloud Mask Produkt.....	67
Abb. 33: Überblick des "High Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree" Produkt Inhaltes (90° nach links rotiert).....	68
Abb. 34: Meteorological Satellite Center (MSC) real-time Datenportal.....	69
Abb. 35: Satellitenbild von MSG-1 (IODC), akquiriert über den Server der Dundee Satellite Receiving Station.....	73
Abb. 36: Definition der Variablen des Koordinaten-Gitter der GEOS-Projektion.....	74
Abb. 37: Koordinatengitter für die GEOS-Projektion ("Normalized Geostationary Projection").....	75
Abb. 38: Verzerrung bei MSG Level 1.5 Datensätzen.....	76
Abb. 39: Funktionsweise von Nearest Neighbor Resampling.....	79

Abb. 41: Funktionsweise Bilinearer Interpolation.....	80
Abb. 42: Funktionsweise von Cubic Convolution.....	80
Abb. 43: Funktionsweise von Majority Resampling.....	81
Abb. 44: Funktionsweise von EWA.....	81
Abb. 45: Darstellung der prinzipiellen Funktionsweise von Gaussian Weighting.....	86
Abb. 46: Flussdiagramm des schematischen Programmablaufs.....	89
Abb. 47: Zurechtgeschnittenes MSG-3 Bild, zur besseren Sichtbarmachung wurden manuell Bildränder eingefügt.....	92
Abb. 48: Performance-Verbesserung Pyresamples bei Verwendung mehrerer Prozessorkerne.....	93
Abb. 49: Resamples und global registriertes bzw. georeferenziertes Satellitenbild von MSG-3.....	95
Abb. 50: Weight-Mask basierend auf Berechnung der euklidischen Distanz.....	96
Abb. 51: Globales Cloud Cover vor adaptivem Histogrammausgleich.....	98
Abb. 52: Globales Cloud Cover nach adaptivem Histogrammausgleich (CLAHE).....	98
Abb. 53: Finales Endprodukt: Cloud Cover Mask über Blue Marble.....	99

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über meteorologische Satelliten.....	10
Tab. 2: Übersicht der Attribute des „Clouds – Real-time“ Datensatzes.....	39
Tab. 3: Übersicht der Attribute des „Earth in True Color (daily)“ Datensatzes.....	41
Tab. 4: Übersicht der Attribute des „Satellite Swath – Real-time“ Datensatzes.....	42
Tab. 5: Übersicht der Attribute des „XPlanet Clouds“ Datensatzes.....	43
Tab. 6: Übersicht der Attribute des „2.3 NASA Earth Observations - Cloud Fractions“ Datensatzes.....	45
Tab. 7: Übersicht der Attribute des „2.3 NASA Earth Observations - Cloud Fractions“ Datensatzes.....	46
Tab. 8: Übersicht der Attribute des „True Color Suomi NPP/VIIRS“ Datensatzes.....	47
Tab. 9: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)“.....	49
Tab. 10: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS“.....	50
Tab. 11: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global IR Bluemarble“.....	51
Tab. 12: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched IR“.....	52
Tab. 13: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched IR 2“.....	53
Tab. 14: Übersicht und Versuch einer Quantifizierung der Attribute bestehender globaler Real-Time Cloud Covers mit Legende.....	56
Tab. 15: Auswahl geostationärer Satelliten mit "offenem" Daten-Zugang.....	62
Tab. 16: Vergleich der geostationären Fengyun-2 Daten-Produkte.....	64
Tab. 17: Übersicht über die Parameter der über die Dundee Satellite Receiving Station bereitgestellten Satellitendaten (FDS = Full Disk Scan).....	69
Tab. 18: Übersicht über die Spektralkanäle der Satelliten GOES (West/15 und East/16), MSG (0 degree und Indian Ocean) und Himawari-8.....	71
Tab. 19: Berechnung der Satelliten-Extents, x und y verstehen sich als rechtshändige kartesische Koordinatenachsen.....	94
Tab. 20: Übersicht der Attribute des finalen Cloud Covers.....	100

Glossar

Aliasing: Im Sinne von Bildverarbeitung auftretender Treppeneffekt, wenn z.B. hochauflösende Strukturen durch unzureichende Sensorenauflösung nicht akkurat abgebildet werden können und dann in einem Pixel generalisiert werden [vgl. GON-13].

Array: "Geordnete Folge von gleichartigen Objekten, in der Regel Zahlen" [ERN-16], ein Bild lässt sich also als zwei-dimensionales Array bzw. Matrix beschreiben.

Basemap: Grundkarte bzw. Hintergrundkarte für weitere thematische Bildebenen.

Cloud Cover: Wolkenbedeckung(-sbild).

CSV: "Comma Separated Values", Dateiformat zur Speicherung tabellarischer Daten.

Daemon: Im Hintergrund laufender Prozess.

Destruktive Kompression: Algorithmus zur Verringerung von Dateigrößen, bei dem die Bildqualität reduziert wird.

Dictionary: In Python mutabler (veränderbarer) Datentyp, bestehend aus Schlüssel-Wert-Paaren; entspricht "assoziativen Array" in anderen Programmiersprachen.

Field of View bzw. FOV: "Sichtfeld" bzw. Winkel, aus dem Daten bzw. Strahlung erfasst werden kann. IFOV = „Instantaneous Field of View“.

FOSS: "Free and Open Source Software"; Software, die frei genutzt werden kann und deren Quellcode öffentlich einsehbar ist.

Garbage-Collection: "Müllabfuhr", System zur Entfernung nicht mehr benötigter Datenobjekte und Freigabe deren dazugehörigen Speichers [vgl. ERN-16].

GIS: Geoinformationssystem, (Software-) System zur Bearbeitung (Analyse, Manipulation etc.) und Speicherung raumbezogener Daten.

GEO: "Geostationary Earth Orbit", also geostationäre (Satelliten-) Umlaufbahn.

HDF5: "Hierarchical Data Format", Technologiepaket der HDF-Group spezifisch für wissenschaftliche Zwecke im Fernerkundungsbereich und besteht unter anderem aus einem Datenmodell zum Speichern komplexer Datenobjekte und umfangreicher Metadaten [vgl. HDF-17].

Inklination: Auch Bahnneigung genannt, also der Winkel zwischen der Bahnebene und seiner Referenzebene, bei Satelliten meist der Äquator [vgl. KIN-07].

Iterieren: In Programmiersprachen das mehrfache Wiederholen bzw. Aufrufen eines Programmteils.

JPEG bzw. JPG: "Joint Photographic Experts Group", Bildformat zum Speichern von Bilddaten mittels destruktiver Kompression

LEO: "Low Earth Orbit", also Satellitenbahn im niederen Erdbereich.

List: In Python mutabler (veränderbarer) Datentyp.

NetCDF: "Network Common Data Form", ähnliches Technologiepaket wie HDF5 mit ähnlichem Einsatzzweck für wissenschaftliche (array-orientierte) Daten [vgl. UNI-18].

PNG: "Portable Network Graphics", Bildformat zur verlustfreien Speicherung von Bilddaten.

Real-Time: "Echtzeit" im Sinne von geringer zeitlicher Verzögerung.

Resampling: Im kartographischen Kontext der Prozess der Bild-Transformation von einem Koordinatensystem (bzw. Projektion) in ein anderes, wobei jene durch die Abbildungsfunktion der räumlichen Transformation miteinander verknüpft sind. [vgl. DIE-17]

SAR : Synthetic Aperture Radar

Schwadbreite: Aus dem engl. "Swath", definiert die Breite des Aufnahmestreifens eines Satelliten.

Source Code: Quellcode bzw. Programmcode einer Applikation.

sRGB: Standardisierter RGB (Rot-, Grün, Blau)-Farbraum.

Subsatellitenpunkt: Jener Punkt, den ein Satellit im Nadir bzw. in der Schnittlinie vom Satelliten zum Erdmittelpunkt mit der Erdoberfläche einnimmt. [vgl. KIN-07]

Taktiler Hyperglobus: „Darstellung des digitalen Abbildes auf einem materiellen (berührungssensitiven) Globenkörper im realen Raum“ [RIE-00].

TIFF bzw. TIF: "Tagged Image File Format", (Bild-) Format zur wahlweisen verlustfreien oder verlustbehafteten Speicherung von Bild- und Metadaten.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Problematik des automatisierten Erstellens globaler real-time Cloud Cover Mosaike für die exemplarische Nutzung am taktilen Hyperglobus und deren technischen Realisierung mittels Open Data Quellen in der Programmiersprache Python. Dazu wird nach kurzen Einführungen in die geschichtliche Entwicklung der satellitengestützten (meteorologischen) Fernerkundung und Wolkenerfassung ein Überblick und abschließender Vergleich über die bis dato bestehenden real-time Cloud Covers gewährt werden, um darauf aufbauend einen umfassenden Anforderungskatalog für die Realisierung eines eigenen, optimalen real-time Cloud Cover zusammenstellen zu können.

Anhand dieser Grundlage findet eine Recherche über bestehende Open Data Quellen und schlussendliche Auswahl einer Datengrundlage statt. Im Folgenden findet eine intensive Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten von Reprojektion und Mosaikierung von Rasterdaten statt, um schlussendlich in der Realisierung einer Python Applikation zur automatisierten Generierung eines globalen near-real-time Cloud Covers zu münden.

Abstract

The present master thesis deals with the problem of automatic creation of global real-time cloud cover mosaics for the exemplaric use on a tactile hyperglobe and its technical realisation by means of open data sources in the programming language Python. After short introductions into the historic evolution of satellite-based remote sensing and cloud remote sensing, an overview about existing real-time cloud covers will be given. Based on that a comprehensive request-catalog for the creation of an own, optimal real-time cloud cover will be created.

On this basis research about existing open data sources is made, from which one will be selected. In the following an extensive discussion about the means of reprojection and mosaicing for raster data is made to finally lead to the realization of a Python application for the automatic generation of a global near-real-time cloud cover.

1 Einleitung

Seit jeher stellen Wolken für den Menschen ein Faszinosum dar, sind Projektionsfläche für Phantasie und Träume. Aber auch in der Wissenschaft findet eine intensive Beschäftigung mit ihnen statt, stellen sie doch einen maßgeblichen Faktor für Klima, Wetter und Witterung dar. Gerade im Rahmen der Klimaforschung sind sie ein wichtiger Parameter, da sie unter anderem durch ihr spezifisches Reflexions- und Absorptionsverhalten terrestrischer und solarer Strahlung exzeptionell zur Strahlungsbilanz und dadurch Temperatur beitragen – sie haben bzw. hätten also einen großen Einflussfaktor bei der Berechnung globaler Klimamodelle [vgl. RAL-70]. Am populärsten hingegen sind gewiss die klassischen „Wolken- bzw. Satellitenbilder“, die in den gängigen Wetterberichten Entwicklung und Zustand des Wetters visuell verständlich präsentieren. Sie sind ein gutes Beispiel dafür, wie eine komplexe Thematik durch eine optisch anspruchsvolle Präsentation einem breitem, auch fachfernem Publikum relativ leicht transportiert werden kann.

In diese Bresche schlägt auch der taktile Hyperglobus, der die Vorteile traditioneller Globen – wie die "vorzügliche Eignung in der geographischen Didaktik zur Vermittlung globaler Sachverhalte und Wechselwirkungen" ([RIE-00], S.23) – mit jener digitaler Globen vereint, indem er die Darstellung multi-temporalen, multimedialer Thematiken ermöglicht. Daten, die auf dem Hyperglobus also Präsentation finden sollen, weisen einen mehr-parametrischen Anforderungskatalog auf (siehe [RIE-00], S.176), von dem vor allem die globale Verfügbarkeit der Daten inhärent wichtig ist.

In diesem Sinne scheint es eine logische Konsequenz die Darstellung der Wolkensituation der Erde in einem globalen Maßstab abzubilden, um sie so exemplarisch mittels Präsentation des taktilen Hyperglobus' einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Aber auch weitere kartenverwandte Präsentationsformen oder (semi-) wissenschaftliche Analysen und Untersuchungen könnten von einem derart generierten Datensatz profitieren, der aber als frei verfügbares, globales "Wolkenbild" nur unter sehr begrenzten Parametern bis dato existiert. So gibt es überhaupt erst seit 2013 von der NOAA im Rahmen ihres "Science on a Sphere" Programms eine globale real-time (im Sinne von zeitlicher Aktualität bzw. geringer Verzögerung) Darstellung der Wolkensituation in einer für den taktilen Hyperglobus adäquaten Auflösung als quadratische Platte. Andere Anbieter (z.B. Xplanet) weisen bei der Präsentation ihrer Daten entweder zu geringe Auflösungen (<2024x1028) auf, sind zeitlich nicht aktuell bzw. nur mit größerer Verzögerung abrufbar und/oder sind nur kommerziell erwerbbar.

Als Datengrundlage sollen dabei frei verfügbare Satellitenbilddaten – also aus Open Data Quellen – dienen, um im Sinne des Open Data Handbook den Anspruch der freien Nutzung und Weiterverwendung gewährleisten zu können: "Open data is data that can be freely used, re-used and redistributed by anyone – subject only, at most, to the requirement to attribute and share alike." [OPE-16]

Nach der World Meteorological Organisation sind gegenwärtig bis 2036 167 neue (meteorologische) Erdbeobachtungssatelliten geplant, darunter 129 innerhalb der nächsten fünf Jahre, wovon für Cloud Covers relevant 16 geostationäre und 87 sonnensynchrone Satelliten sind [vgl. WMO-17]. Diese Masterarbeit soll also das daraus entstehende Potential noch hochauflösenderer, aktuellerer globaler real-time Cloud Covers erschließen, indem es

Wege, Mittel, aber auch potentiell auftretende Probleme, aufzeigt, um aus einzelnen Datenbeständen verschiedener Satelliten globale Mosaike zu erzeugen.

1.1 Ziele und Forschungsfragen:

Diese Masterarbeit setzt sich das Ziel, basierend auf den Stärken und Schwächen bereits bestehender globaler Cloud Covers aus frei verfügbaren Daten via eines Algorithmus ein zeitlich aktuelles globales Cloud Cover Mosaik zu generieren. Um dies zu erreichen, soll folgende Forschungsfrage den Rumpf der Masterarbeit bilden:

"Welche Anforderungen sind an ein automatisiert erstelltes, zeitlich aktuelles, globales und visuell homogenes Cloud Cover aus Open Data Quellen zu stellen?"

Arbeitsfragen:

Worin bestehen die Stärken und Schwächen bereits bestehender globaler Cloud Covers?

Welche Parameter muss ein für den taktilen Hyperglobus geeignetes globales Cloud Cover Produkt erfüllen?

Welche Open-Data-Quellen für globale Cloud Covers gibt es, was sind ihre qualitativen und quantitativen Attribute?

Welcher Mosaikierungsalgorithmus liefert ein den ermittelten Parametern entsprechendes Bild und wie lässt sich der Prozess vom Laden der Rohdaten bis zur Bereitstellung des Endbildes automatisieren?

1.2 Methodik

Basierend auf den Forschungs- und Arbeitsfragen sollen in einem ersten Schritt zuerst bereits verfügbare globale Cloud Covers per Onlinesuche recherchiert und auf ihre Stärken und Schwächen hin analysiert werden, um auf dieser Grundlage einen, exemplarisch auf die Anwendung des taktilen Hyperglobus' fokussierten, Parameter-Katalog für ein eigenes Produkt zu schaffen. Als weiteren Schritt gilt es darauf aufbauend dafür geeignete Open-Data Quellen zu identifizieren - die oft in verschiedenen Qualitätsstufen verfügbar sind - und in kurzem Vergleich zu setzen, um eine für das gewünschte Ziel bestmögliche Datengrundlage zu sichern. Als nächsten Punkt soll ein geeigneter Mosaikierungsalgorithmus gefunden und in einer möglichst plattformunabhängigen Applikation implementiert werden, um die so akquirierten Daten als homogenes Bild ohne störende Artefakte wie z.B. Kacheln abbilden zu können. Abschließend soll dieses Produkt in Form der generierenden Applikation und dem daraus resultierendem globalen Cloud Cover einer kritischen Betrachtung unterzogen werden, um potentielle Weiterentwicklungen oder Verbesserungen einfacher möglich machen zu können.

Abgrenzung des Themas und Forschungsstand:

Arbeiten, die sich spezifisch mit der gewählten Aufgabe auseinandersetzen, wurden nicht gefunden, allerdings gibt es mehrere Forschungsarbeiten, die sich (teilweise) mit gewissen Aspekten der gewählten Problematik beschäftigen. So untersucht z.B. [SER-13] verschiedene Algorithmen und Verfahren zur Mosaikierung von Satellitendaten des DLR (Deutschen Luft-

und Raumfahrtzentrum), um aufgrund dieser einen eigenen Algorithmus zu entwickeln und in einer Applikation zu integrieren. Andere Arbeiten beschäftigen sich mit globaler Wolkenbedeckung und deren Auswirkungen auf das Klima oder der automatischen Bewertung globaler Wolkenbedeckungen [siehe STU-13]. Bezüglich Mosaikierungs- und Resamplingalgorithmen gibt es eine ganze Fülle an Forschungsarbeiten, z.B. [SZE-06].

Diese Masterarbeit soll sich dezidiert nicht mit der Entwicklung eines eigenen Mosaikierungsalgorithmus' oder der automatischen Bewertung von Cloud Covers auseinandersetzen, sondern soll sich auf das Anforderungsprofil eines multimedial-tauglichen globalen Cloud Covers und dessen praktischer Umsetzung fokussieren.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach einer Einleitung, Darlegung der Problematik und kurzen Einführung in die Geschichte und den gegenwärtigen Stand (meteorologischer) Erdbeobachtungssatelliten sowie einer technischen Einführung, sollen bereits vorhandene Globale Cloud Covers bezüglich ihrer qualitativen und quantitativen Attribute hinsichtlich ihrer multimedialen Eignung für den taktilen Hyperglobus untersucht und in Vergleich gesetzt werden. Darauf basierend sollen aufgrund des Anforderungsprofils zur Globennutzung zuvor recherchierte, in Frage kommende Open-Data Quellen einer kurzen Betrachtung unterzogen werden, um aus dieser bereits vor-gefilterten Auswahl sich für eine Datengrundlage zu entscheiden, die im Automatisierungs-Algorithmus implementiert werden soll. Im nächsten Kapitel, das einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit bildet, sollen Mosaikierungsalgorithmen behandelt und in ihrem spezifischen Nutzen für das gestellte Problem untersucht werden, wodurch ein Algorithmus ausgewählt werden soll. Abschließend soll das entstandene, selbst generierte globale Cloud Cover bezüglich seiner Stärken und Schwächen untersucht werden, um einen Ausblick und mögliche Weiterentwicklungen zu ermöglichen.

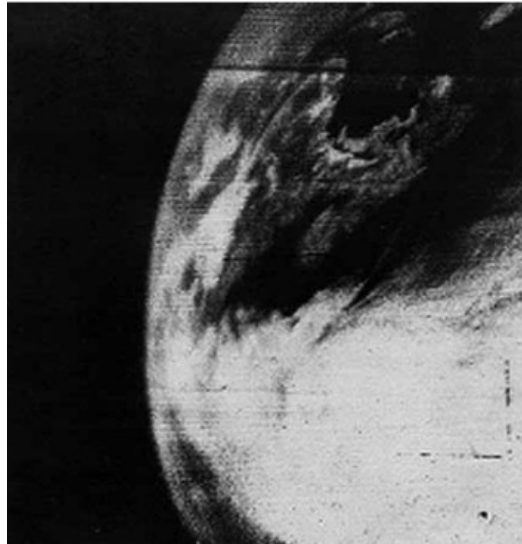
2 Geschichtliche Entwicklung der satellitenbasierten Fernerkundung

In diesem Kapitel soll ein rudimentärer Einblick in die geschichtliche Entwicklung und den heutigen Stand der satellitenbasierten Fernerkundung gegeben werden, wobei der Fokus auf meteorologischen Satelliten liegen soll - Satelliten also, deren Aufgabenbereich in der Detektion und Erfassung meteorologischer Phänomene und ihrer raum-zeitlichen Entwicklung und Ausprägung liegt und die damit Daten für globale Cloud Covers liefern können. Rudimentär insofern, als dass eine detailliertere Aufschlüsselung aller bereits vergangenen und heute existenten Satellitenprogramme und Instrumentensysteme den Umfang dieser Arbeit sprengen würde, weswegen dieses Kapitel keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Es sollen also die herausragenden Meilensteine und wichtige Wegbereiter im Sinne des heutigen Standes herausgearbeitet werden. Im zweiten Unterkapitel soll ein Überblick über die heutzutage bestehenden meteorologischen und sonstigen bildgebenden Satelliten(-systeme) gegeben werden, um dadurch gleichermaßen die potentiellen originären Quellen eines eigenen Cloud Cover Mosaikes besser identifizieren zu können (siehe auch Kapitel 5).

2.1 Frühe Anfänge und Pionierjahre

Der erste Satellit überhaupt war der von der UDSSR gestartete Sputnik-1, der am 4. Oktober 1957 in einen 216km hohen Orbit geschossen wurde und damit die Ära der künstlichen Erdtrabanten einläutete. Der 58cm große Satellit vollzog 1400 Umläufe und hatte Geräte zur Temperaturmessung und Funkverbindung an Bord. Mit ihrer Hilfe wurde das erste wissenschaftliche Experiment im Weltraum vollzogen, das mittels der Variation des Radiosignals während des Sonnenauf- und -untergangs wichtige Erkenntnisse zur Verteilung der Elektronendichte in der Oberseite der Ionosphäre lieferte [vgl. KUZ-15]. Weitere Primärziele der aus Aluminium gefertigten Kugel waren, neben des erfolgreichen Tests zur Machbarkeit einen künstlichen Satellit in den Erdborbit zu transportieren, Informationen über die Dichte der Atmosphäre über die Lebensdauer des Satelliten zu sammeln und Methoden zur optischen und elektromagnetischen Ortung orbitaler Flugkörper zu testen [vgl. NAS-15].

Dieser Durchbruch fungierte als eine Art Weckruf für die USA, die eine Dominanz des Konfliktpartners fürchteten, und brachte somit den "Kalten Krieg" damit gewissermaßen auch in den Weltraum [vgl. FER-14]. Als Reaktion drauf schossen die USA Anfang 1958 Explorer-1 in den Orbit und gründeten die NASA, die National Aeronautics and Space Administration. Explorer-6 war schließlich der erste Satellit, der meteorologische Instrumente mit sich führte. Der erste rein meteorologische Satellit war der 1960 von der NASA gestartete Tiros-1, der in einer Höhe von 700km für 78 Tage aktiv war und am 1. April 1960 das erste Satellitenbild überhaupt (siehe Abb. 1) übermittelte. [vgl. KÖP-12]



Quelle: [KÖP-12]

Abb. 1: Das erste von Tiros-1 übermittelte Satellitenbild der Erde

Dies ermöglichte genauere Wettervorhersagen, z.B. für die Früherkennung der Entstehung von Wirbelstürmen über Seen- bzw. Meeresgebieten, von denen es bis dato ohne Bodenradar nur sehr mangelnde Daten gab [vgl. KÖP-12].

Die ersten meteorologischen Wettersatelliten waren aufgrund der damals geringen Raketenleistung bzw. den damit verbundenen hohen Kosten in der Folge erdnahe, meist polarumlaufende Satelliten - aber auch eine Reihe verschiedener geostationärer (GEOS = Geostationary Earth Orbit Satellite) bzw. Forschungssatelliten konnten erfolgreich ihren operationellen Betrieb aufnehmen. So startete 1964 mit Nimbus-1 der erste einer Reihe experimenteller Atmosphärenforschungssatelliten der USA mit sonnensynchroner Bahn, der zum Test meteorologischer Messinstrumente und der Erfassung langfristiger Klimaänderungen diente und unter anderem bereits "real-time cloud cover pictures" aufnahm [vgl. NAS-17a]. [vgl. KÖP-12]

1966 nahmen schließlich die ersten polumlaufenden Wettersatelliten ihren Betrieb auf: die "zivilen" ESSA-Satelliten (Environmental Science Service Administration) und militärischen DMSP-Satelliten (Defense Meteorological Satellite Program), von denen unter anderem auch der Deutsche Wetterdienst Daten beziehen konnte. [vgl. KÖP-12]

Gleichzeitig wurde 1966 der erste von sechs geostationären ATS-Satelliten (Applications Technology Satellite, die ab ATS-3 sogar farbige Bilder aufnehmen konnten) gestartet, die im Gegensatz zu polumlaufenden bzw. Satelliten niedriger Flugbahn (LEOS = Low Earth Orbit Satellite) größere Bildausschnitte mit höheren Aktualisierungsintervallen aufweisen - aus diesem Grund wurde die "Idee eines globalen Beobachtungssystems geostationärer Satelliten" [KÖP-12, S. 346] geboren. ATS-1 konnte dazu am 22. Dezember 1966 das erste gemeinsame Bild von Erde und Mond aufnehmen [vgl. NAS-17b]. 1969 schoss die UdSSR mit Meteor-1 den ersten einer langen Reihe operationeller polumlaufender Wettersatelliten in den Orbit. Im gleichen Jahr nahm Nimbus-3 erste Temperaturprofile der Erde auf, 1970 erfolgten mit Nimbus-4 erste Ozonprofile. [vgl. KÖP-12]

1970 begann das ITOS-Satellitenprogramm (Improved Tiros Observational System), auch Tiros-M genannt, das die ESSA-Satelliten ablöste. Nach ITOS-1 erfolgte die Umbenennung

in NOAA-1 bis NOAA-5, wobei ihnen allen eigen ist, dass es sich auch hier um LEO's handelt. In 1972 startete die NASA den Earth Resources Technology Satellite (ERTS), der später als Landsat 1 bekannt wurde und auf sonnensynchronem Orbit die Aufgabe hatte, über den Kontinenten bzw. Küstennähe Daten für verschiedene Anwendungen wie Hydrologie, Klimawandel etc. zu liefern [NRC-12]. 1974 begann der Betrieb der geostationären semi-operationellen SMS-Satelliten (Satellite Meteorological Service), die die Vorläufer der heutigen GOES-Satelliten (Geostationary Observational and Environmental Satellite) bildeten, wobei 1975 das erste GOES-Satelliten Paar operationellen Betrieb aufnehmen konnte. GOES-E verharrte auf einem Subsatellitenpunkt (SSP, Details siehe Kapitel 3) von 75° West, während GOES-W einen SSP von 135° hatte, wodurch diese beiden Satelliten eine komplette Abdeckung Amerikas und der angrenzenden Ozeane erreichten. 1977 nahmen dann mit GMS-1 (Geostationary Meteorological Satellite), der erste Wettersatellit Japans über 140° Ost, und der erste Meteo-Sat Satellit (Meteosat-1) der ESA, dessen SSP über dem Nullmeridian lag den Betrieb auf. Im Jahr darauf begann das Tiros-N Programm (fortgeführt als NOAA-6, 7 und 12), die das weiterentwickelte, hochauflösende Radiometer AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) mit einer räumlichen Auflösung von 1,1 x 1,1 km pro Pixel an Bord hatten. Das System bestand aus einem Paar von Satelliten, die innerhalb von zwölf Stunden jeden Teil der Erde zumindest zwei mal beobachteten [vgl. NAS-12]. Ebenfalls 1978 startete Seasat, dessen Aufgabe die Beobachtung der Weltmeere war und erstmals ein abbildendes SAR (Synthetic Aperture Radar) mit sich führte. Obwohl nur drei Monate nach dem Start der Datentransfer versagte, galt Seasat somit als erster erfolgreicher Rest eines SAR in Satelliten. [vgl. KÖP-12]

1982 startete INSAT-1A (Indian National Satellite), der geostationär einen SSP von 74° Ost einnahm, das Engagement Indiens bezüglich meteorologischer Satelliten - ein Mehrzweck-Satellit, der Fernseh-Broadcasting, Telekommunikation und meteorologische Aufnahmen in sich vereinte [vgl. RAJ-82]. 1984 nahm ERBS (Earth Radiation Budgeted Satellite), der mittels Breitbandsensoren erstmals die solare Einstrahlung sowie das Ausstrahlungssystem der Erde erfassen konnte und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Ermittlung der globalen Strahlungsbilanz leistete. 1987 begannen die NASDA (National Space Development Agency) und JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) Japans mit MOS-1 und MOS-1B ihr Programm zur Erforschung weiterer Klimaparameter. 1988 begann schließlich auch die Volksrepublik China mit FY-1A (FengYun) ihr meteorologisches Satellitenprogramm, um unter anderem die Wassertemperatur und -farbe zu erfassen und erste Wolkenbilder im Fernsehen zeigen zu können [vgl. SHI-00 und DEL-99], während die indische ISRO (Indian Space Research Organisation) den ersten der sieben IRS-Satelliten (Indian Remote Sensing) in den Orbit schoss, die teils heute noch im Einsatz sind, und primär der kartographischen, ozeanographischen, natürlichen Ressourcen und natürlich klimatischen und atmosphärischen Anwendung dienen [KAL-99]. [vgl. KÖP-12]

1991 begann die ESA ihr ERS-Satellitenprogramm (European Remote Sensing), das der Akquirierung von Umwelt- und Klimadaten via SAR diente - ERS-1 war bis 2000 operationell. 1994 nahm der geostationäre GOMS-Satellit (Geostationary Operational Meteorological Satellite) Russlands über 76° Ost seinen Betrieb auf, während ab 1995 der europäische ERS-2 anstatt der fünf geplanten Jahre bis 2011 mittels Mikrowellenradar Daten zur Höhe und Struktur der Oberflächen von Meer, Eis und Meeresboden, der Meeresoberflächentemperatur und des atmosphärischen Wasserdampfgehalts sammelte. Dadurch konnten ERS-1 und ERS-2 neun Monate lang im Tandemmodus mittels Interferometrie für damalige Verhältnisse recht genaue Geländemodelle von 10m erstellen

[vgl. DUC-95]. 1997 folgte dann Chinas FY-2A (FengYun) als geostationärer Satellit über einem SSP von 105° Ost, der mittels eines VISSR (Visible and Infrared Spin Scanning Radiometer) einen kompletten 20°x20° der "Erdscheibe" alle 30min vollziehen konnte [vgl. LIU-11]. [vgl. KÖP-12]

2.2 Aktuelle (meteorologische) Satelliten

Die World Meteorological Organisation (WMO) führt auf ihrer Homepage eine eigene Liste von meteorologischen bzw. erdbeobachtenden Satelliten, die zu WIGOS (WMO Integrated Global Observing System) beitragen, dem Framework für alle WMO "Beobachtungssysteme", das helfen soll Interoperabilität (auch bezüglich Daten-Kompatibilität) der Satelliten- bzw. Erdobservierungsprogramme der verschiedenen WMO Mitglieder herzustellen [vgl. WMO-15]. Insgesamt werden dort derzeit (Stand April 2017) 103 einzelne Satelliten aufgeführt, wobei einige (zumindest temporär) aber auch semi-operationell sind, indem sie z.B. auf "Stand-by" stehen [vgl. WMO-17].

Nach dem Data Explorer des Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) hingegen befinden sich 131 verschiedene funktionsfähige Erdbeobachtungssatelliten im Orbit der Erde, wobei davon immer noch 84 ihre Daten mehr oder weniger offen, teils durch "Access Points" o.ä. geschützt sind. Wirklich freien Zugang haben laut CEOS lediglich 35 Satelliten, wovon aber mehrere in den gleichen Serien integriert sind (also z.B. GOES 13, GOES 14, GOES 15). [vgl. CEO-17]

Zieht man das "CEOS EO Handbook", das eine Übersicht aller dort geführten Satelliten-Missionen gewährt, zu Rate, zeigt sich eine Anzahl von 137 unterschiedlichen, operationellen Satelliten(-missionen), womit sich eine gewisse Diskrepanz zeigt [vgl. CEO-17].

Im Folgenden soll deswegen auf die wichtigsten (optional nicht-kommerziellen) Erdbeobachtungsprogramme bzw. -satelliten der jeweiligen Länder bzw. internationalen Kooperationen konzentriert werden, wobei auch hier aus Komplexitätsgründen nur ein knapper Einblick gemacht werden kann und kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden soll. Detailliertere Informationen zu Satelliten und deren Datenportalen, die spezifischen Nutzen für die Erstellung eines globalen Cloud Covers haben, sollen erst in Kapitel 5 vorgestellt werden, während Tab. 1 einen Überblick über die hier angeführten Satelliten gewährt. Die geometrische Auflösung definiert die räumliche Größe eines Pixels, die zeitliche Auflösung bei geostationären Satelliten die Zeitdauer bis zur erneuten Aufnahme eines Full Disc Scans beschreibt, während diese bei LEO-Satelliten die Dauer bis zur Erfassung einer globalen Aufnahme meint. Bei der Spalte Datenzugriff erfolgt eine Differenzierung zwischen freiem Zugang (offen), Zugang nach Registrierung (offen SR), kommerziell (die Daten sind nur kommerziell erwerbbar), eingeschränkt (Daten nur unter Restriktionen erhältlich) und geschlossen (nicht öffentlicher Zugriff). Bezüglich der Orbits findet nur eine einfache Differenzierung zwischen LEO (Low Earth Orbit) und GEO (Geostationary Earth Orbit) statt.

Land	Name	Betreiber	Orbit	Auflösung		Datenzugriff	GEO-Längengrad
				geometrisch	zeitlich		
Europa	SMOS	ESA, CDTI, CNES	LEO	50km	23 Tage	offen SR	
	CryoSat-2	ESA	LEO	15km (IFOV), 250m (SAR)	1 Monat (arktisches Seeis), 1 Jahr (Landeis)	offen SR	
	Swarm (-A, -B, -C)	ESA, CNES, CSA	LEO				
	Sentinel-1	ESA, COM	LEO	4 – 80m (SAR-C)	12 Tage	offen SR	
	Sentinel-2	ESA, COM	LEO	10m (VIS, NIR), 20 - 60m (IRI)	10 Tage	offen SR	
	Sentinel-3	ESA, EUMETSAT, COM	LEO	0.5km (VIS, NIR, SWIR), 1km (MWIR, TIR)	1 Tag (MWIR, TIR), 2 Tage (VIS, NIR, SWIR)	offen SR	
	Meteosat (-8, -9, -10, -11)	EUMETSAT, ESA	GEO	1km (VIS), 3km (IR)	15min	offen SR	41.5° E (8), 9.5° E (9), 0° (10), 3.4° W (11)
	MetOp	EUMETSAT, NOAA, CNES, ESA	LEO	1.1km	1 Tag (VIS), 12h (IR)	offen SR	
USA	Aqua	NASA, JAXA, INPE	LEO	250m (VIS), 500m (VIS, IR), 1km (VIS, IR)	12h (langwellige Kanäle), 1 Tag (kurzwellige Kanäle)	offen	
	Landsat 8	USGS, NASA	LEO	15m (PAN VIS), 30m (VIS, IR)	16 Tage	offen	
	Terra	NASA, METI, CSA	LEO	250m (VIS), 500m (VIS, IR), 1km (VIS, IR)	12h (langwellige Kanäle), 1 Tag (kurzwellige Kanäle)	offen	
	SMAP	NASA, CSA	LEO	3km (SAR)	1.5 Tage	offen	
	SAGE III-ISS	NASA	LEO	1km (vertikal), 300km (horizontal)		offen	
	CALIPSO	NASA, CNES	LEO	1km (IR)	16 Tage	offen SR	
	CloudSat	NASA, DoD (USA), CSA	LEO	1.4 x 3.5km (horizontal), 500m (horizontal)	16 Tage	offen SR	
	Suomi NPP	NASA, NOAA	LEO	375m (VIS, IR), 750m (VIS, IR)	12h (IR, Tag/Nacht VIS/NIR), 1 Tag (VIS)		
	GOES (-13, -14, -15)	NOAA	GEO	1km (VIS), 4km (IR)	30min	offen SR	75° W (13), 105° W (14), 135° W (15)
	GOES -16	NOAA	GEO	0.5km (VIS), 1 – 2km (IR)	15min	offen SR	75.2° W

Land	Name	Betreiber	Orbit	Auflösung		Datenzugriff	GEO-Längengrad
				geometrisch	zeitlich		
	POES	NOAA	LEO	1.1km (IFOV)	12h (IR, Tag/Nacht VIS/NIR), 1 Tag (VIS)	offen SR	
	DMSP	NOAA, USAF	LEO	0.56km (VIS, TIR)	12h (IR, Tag/Nacht VIS/NIR), 1 Tag (VIS)	eingeschränkt	
China	Huang Jing 1A	CRESDA, CAST	LEO	30m (VIS, NIR), 100m (VNIR)	4 Tage	offen SR	
	Huang Jing 1B	CRESDA, CAST	LEO	30m (VIS, NIR), 150m (NIR, SWIR MWIR), 300m (TIR)	4 Tage	offen SR	
	Zi Yuan-3	CRESDA, CAST	LEO	5.8m (VIS/NIR)	59 Tage	offen SR	
	Hai Yang 2 (A, B)	NSOAS, CAST	LEO	1.2m (MV)	1 Tag	geschlossen	
	Tian Hui-1	PLA, CAST	LEO	5m (PAN VIS), 10m (VIS)	45 Tage	geschlossen	
	Shijian 9	CRESDA, CAST	LEO	2.5m (PAN VIS), 10m (VIS, NIR)	3 Monate	geschlossen	
	SuperView	SpacEyes, CAST	LEO	0.5m (PAN VIS), 2m (VIS)	bis zu 3 Tage	kommerziell	
	Feng-Yun 2 (E, F, G)	CMA, NRSCC	GEO	1.25km (VIS), 5km (IR)	30min	offen SR	86.5° E (E), 112° E (F), 105° E (G)
	Feng-Yun 3	CMA, NRSCC	LEO	250 – 1km (VIS, IR)	12h (MWIR, TIR), 1 Tag (VIS, NIR, SWIR)	offen SR	
	Feng-Yun 4A	CMA, NRSCC	GEO	0.5km (VIS), 4km (IR)	15min	offen SR	104.7° E
Indien	OceanSat	ISRO	LEO	360 x 236m (VIS, NIR)	2 Tage	offen SR, kommerziell	
	INSAT-3D	ISRO	GEO	1km (VIS, SWIR), 4km (IR), 8km (WV)	30min	offen SR	
	Kalpana-1	ISRO	GEO	2km (VIS), 8km (IR)	30min	offen SR	74° E
Japan	GOSAT-1	JAXA, MOE	LEO	0.5km (IFOV VNIR), 1.5km (SWIR)	3 Tage	offen SR	
	Himawari-7	JMA, JCAB	GEO	1km (VIS), 4km (IR)	30min	derzeit im Stand-by Modus	
	Himawari-8 & -9	JMA	GEO	0.5km (VIS), 2km (IR)	10min	eingeschränkt (beschränkt auf meteorologische Institute/Agenturen)	140.89° bzw. 140.73° E
Russland	Meteor-M N2	ROSKOSMOS, ROSHYDROMET	LEO	1km (IFOV VIS-IR), 60 – 120m (IFOV VIS-NIR)	12h (IR 1km), 1 Tag (1km VIS), 3 Tage (60 – 120m)	eingeschränkt	

Land	Name	Betreiber	Orbit	Auflösung		Datenzugriff	GEO-Längengrad
				geometrisch	zeitlich		
	Electro-L N2	RosHydro Met, Roscosmos	GEO	1km (VIS), 4km (IR)	15 – 30min	offen	76.1° E
	Resurs-P (2, 3)	ROSKOSM OS, ROSHYDROMET	LEO	1m (PAN VIS), 4m (VIS, NIR), 12m (PAN VIS), 24m (VIS-NIR)	60 Tage (1m, 4m), 25 Tage (12m, 24m)	offen SR, eingeschränkt	
	Kanopus-V-IK-1	ROSKOSM OS, ROSHYDROMET	LEO	2.5m (PAN VIS), 12m (VIS, NIR), 200m (MWIR, TIR)	4 Monate (2.5m, 12m), <1 Tag (MWIR, TIR)	geschlossen	
	Kanopus-V1	ROSKOSM OS, ROSHYDROMET	LEO	2.5m (PAN VIS), 12m (VIS, NIR), 25m (PAN VIS)	4 Monate (2.5m, 12m), 14 Tage (25m)	offen SR, eingeschränkt	
Süd Korea	KOMPSAT-2	KARI, ASTRIUM	LEO	1m (PAN VIS-NIR), 4m (VIS, NIR)	5 Monate	kommerziell	
	KOMPSAT-3	KARI	LEO	0.7m (PAN VIS-NIR), 2.8m (VIS, NIR)	3 Tage – 6 Monate	kommerziell	
	KOMPSAT-3A	KARI	LEO	0.5m (PAN VIS-NIR), 2m (VIS, NIR), 5.5m (MWIR)	3 Tage – 6 Monate	kommerziell	
	COMS-1	KARI, ASTRIUM, KMA, KORDI	GEO	1km (VIS), 4km (IR)	27min	offen	128.2° E

Quelle: [WMO-17], eigene Bearbeitung

Tab. 1: Übersicht über meteorologische Satelliten

2.2.1 Europa (ESA/EUMETSAT)

Die ESA führt derzeit zwei größere Erdbeobachtungsprogramme durch ("The Living Planet" und Copernicus), in denen verschiedene Missionen vereint sind, sowie einige "stand-alone" Missionen.

Das "The Living Planet" Programm der ESA soll helfen, ein tieferes Verständnis des "System Erde" und seiner Prozesse und Mechanismen zu finden - gerade im Kontext globalen Wandels. Dies soll unter anderem helfen, die Folgen des Klimawandels in physiogeographischer und dadurch auch sozioökonomischer Form besser vorhersagen und entsprechende Strategien entwickeln zu können. Um diese Ziele zu erreichen, kombiniert das Programm die wissenschaftliche und Forschungskomponente der "Earth Explorer" Missionen mit "Earth Watch", das helfen soll die Daten für den operationellen Gebrauch aufzubereiten. [vgl. ESA-17]

Earth Explorer besteht aus jeweils vier Kern- ("Core") und Gelegenheitsmissionen ("Opportunity") und konzentriert sich auf die Atmo-, Kryo-, Bio- und Hydrosphäre sowie das Innere der Erde, deren jeweilige Interaktionen miteinander und den Einfluss des Menschen auf diese. Core-Missionen behandeln Thematiken, die direkt das öffentliche Interesse betreffen und werden nach weitläufiger Beratung innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft ausgewählt. Opportunity-Missionen sind im kleineren finanziellen und planungstechnischen Rahmen, dadurch aber schneller zu realisieren und adressieren unmittelbare ökologische Interessensgebiete. Zu beachten ist, dass bis auf GOCE (Gravity

field and steady-state Ocean Circulation Explorer), dessen Mission von 2009 bis 2013 andauerte, die restlichen Core-Missions sich erst in der Planungs- bzw. Vorbereitungsphase befinden. [vgl. ESA-17]

Opportunity-Missions:

- SMOS

Die November 2009 gestartete "Soil Moisture and Ocean Salinity" Mission soll in einem sonnensynchronen Orbit Daten zur Feuchtigkeit im Boden und Salzgehalt der Ozeane liefern, um dadurch die Kenntnisse über die Wasserkreisläufe der Erde zu vertiefen. Dabei erreicht der Satellit einen Revisit-Zyklus von 23 Tagen. [vgl. ESA-17]

- CryoSat

Der eigentlich korrekt zu titulierende CryoSat-2 (nachdem Cryosat-1 2005 bereits beim Start zerstört wurde) befindet sich seit April 2010 ebenfalls in sonnensynchronem Orbit und soll vor allem mittels "SIRAL" (Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter) die Dicke des polaren Seees sowie die Änderungen der Eisdecke der Antarktis und Grönlands erfassen. [vgl. ESA-17]

- Swarm

Die aus drei polarumlaufenden Satelliten bestehende Mission soll seit November 2013 neue Erkenntnisse zum Magnetfeld der Erde liefern, indem genaue Messungen der magnetischen Signale des Erdkerns, -mantels und -kruste, der Ozeane und der Iono- und Magnetosphäre neue Daten liefern sollen. Diese sollen unter anderem helfen, das schwächer werden des Erdmagnetfelds, Weltraumwetter und mögliche Strahlungsgefahren aus dem All besser zu verstehen. [vgl. ESA-17]

Copernicus hingegen ist das "bis dato ambitionierteste Erdbeobachtungsprogramm" [vgl. ESA-17] und der neue Name des GMES-Programms (Global Monitoring for Environment and Security programme), eine Kooperation der ESA mit der Europäischen Kommission. Es soll Daten mit hoher räumlicher und temporaler Auflösung leicht zugänglich machen und dadurch helfen, die Verwaltung der Umwelt zu verbessern, die Effekte und Auswirkungen des Klimawandels besser zu verstehen und zivile Sicherheit sicherstellen. [vgl. ESA-17]

Diese Ziele sollen mithilfe der neuartigen polarumlaufenden, sonnensynchronen Sentinel-Satelliten erreicht werden, insgesamt sechs (bzw. sieben, zählt man Sentinel-5 Precursor dazu) Satellitenmissionen, von denen bis dato (Stand April 2017) aber lediglich die ersten drei gestartet sind. Jede Sentinel-Mission besteht aus zwei Satelliten, um so größere Erfassungsbreiten bzw. raschere Überflugszyklen zu ermöglichen und dadurch eine solide Datenbasis zu schaffen. [vgl. ESA-17]

- Sentinel-1

Die erste Sentinel Mission, deren Satelliten Sentinel-1A April 2014 und Sentinel-1B April 2016 in den Orbit geschossen wurden, haben die Aufgabe mithilfe eines 12m langen SAR (Synthetic Aperture Radar) verschiedene Daten der Erdoberfläche wie z.B. das Ausmaß des arktischen Seees, der maritimen Umwelt, gravitative Massenbewegungen, etc. zu sammeln, aber auch Kartierungen für die Verwaltung von Wäldern, Wasser- und Bodenressourcen zu erstellen, sowie im Falle humanitärer Katastrophen Hilfe und Unterstützung leisten zu können. Für eine komplette Erfassung der Erdoberfläche benötigen die beiden Satelliten sechs Tage. [vgl. ESA-17]

- Sentinel-2

Der im Juni 2015 gestartete Sentinel-2A und März 2017 gestartete Sentinel-2B haben als Primäraufgabe Landwirtschaft, Wälder, Änderungen der Landnutzung und -bedeckung sowie Küsten- und Inlandgewässer zu überwachen, dazu verschiedene biophysikalischer Variablen wie den Anteil von Chlorophyll in Blättern zu kartieren und Daten für Gefahren- und Katastrophenkartierung zu liefern. Sie erfassen Daten zwischen 56° Süd (Kap Horn, Süd Afrika, etc.) und 83° Nord (oberhalb von Grönland). [vgl. ESA-17]

- Sentinel-3

Sentinel-3A wurde Februar 2016 gestartet und soll mithilfe seines für 2017 geplanten Zwillingsatelliten Sentinel-3B Messdaten bezüglich der Ozeane, Land- und Eismassen, sowie Atmosphäre der Erde liefern, um so ein besseres Verständnis globaler Zusammenhänge erlangen zu können. Durch eine Schwadbreite von 1270km benötigt das "Ocean and Land Colour Instrument" (OLCI) zwei Tage und das Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) 1.9 Tage zur globalen Erfassung bei einem Satellit und 0.9 Tage bei zwei. [vgl. ESA-17]

- Sentinel-4/-5/-6

Die restlichen Sentinel Missionen befinden sich noch in der Planungs- bzw. Vorbereitungsphase, wobei Sentinel-4 und -5 die Aufgabe haben sollen, Informationen bezüglich verschiedener atmosphärischer Variablen wie Luftqualität, stratosphärisches Ozon und solare Strahlung zu erfassen. Geplant wurden die Starts der Missionen, die auf von Eumetsat betriebenen meteorologischen Satelliten laufen sollen, für 2017 (Sentinel-4 auf den geostationären Meteosat-Third-Generation-Imager Satelliten) bzw. 2019 (Sentinel-4 auf dem MTG-Sounder-Satelliten) und 2021 (Sentinel-5). Um das Datenloch von Envisat (dessen Mission 2012 endete) bis zum Start Sentinel-5s zu verringern, wurde 2017 noch eine Vorläufer Mission (Sentinel-5P für "Precursor") gestartet. [vgl. ESA-17]

Sentinel-6 soll ab 2020, mit einem Radaraltimeter ausgerüstet, hochauflösende Daten der Meeres-Topographie liefern, die dabei helfen sollen, Änderungen des Meeresspiegels zu verfolgen, der als wichtiger Indikator für Klimaänderungen gilt. Innerhalb von 10 Tagen sollen so 95% des eisfreien Meeres erfasst und weitere Informationen bezüglich Meeresströmungen, Windgeschwindigkeiten und Wellenhöhe geliefert werden, um die Sicherheit im Seeverkehr und der Küstenregionen zu erhöhen. Die Mission baut auf Daten der Jason-Satelliten und der CyroSat Mission der ESA auf und soll weitere Daten, die von Sentinel-3 geliefert werden sollen, integrieren. [vgl. ESA-17]

Abrufbar sind Sentineldaten über das ESA Portal sentinels.copernicus.eu, bei dem sich (Stand November 2016) über 53000 Benutzer registriert haben und über 1 Million Sentinel-Produkte abrufbar sind, sowie jedes Quartal ebenfalls 1 Million neue Produkte generiert werden sollen. Gegenwärtig gliedern sich die Daten in "CORE" und "ADDitinal" Datensammlungen, wobei erstere vordefinierte, große Sammlungen für spezifische Anwendungen wie Sea Ice Monitoring sind und zweitere flexiblere on-demand Daten beinhalten, um z.B. bei Vulkanausbrüchen oder sonstigen Katastrophen rasch brauchbare Daten für Entscheidungsträger und Helfer zur Verfügung stellen zu können. [vgl. ESA-17]

Weitere wichtige meteorologische Satelliten(-missionen) der ESA, gerade bezüglich einer potentiellen Verwendung als Lieferant für Daten eines globalen Cloud-Covers, sind:

- MSG

Die nach acht Jahren initialer ESA-Nutzung von der Betreiberorganisation EUMETSAT (**E**uropean **O**rganisation for the **E**xploitation of **M**eteorological **S**atellites) übernommenen geostationären Meteosat Satelliten; sind mittlerweile in ihrer zweiten Generation angelangt (MSG = MeteoSat Second Generation) und liefern alle 15 Minuten detaillierte Aufnahmen (bzw. alle fünf Minuten einen "rapid scan") Europas, Afrikas und Teilen des atlantischen bzw. indischen Ozeans. Das System besteht aus zwei aktiven (derzeit Meteosat-9 bzw. MSG-2 und Meteosat-10 bzw. MSG-3) und einem Backup-Satelliten (Meteosat-8 bzw. MSG-1), die redundante Daten liefern. Der Grund hierfür liegt in der Bewahrung der Daten-Kontinuität im Falle eines Satellitenausfalles. Der letzte bisher 2015 gestartete MSG-Satellit ist Meteosat-11, der im Falle eines Ausfalles eines Satelliten dessen Platz einnehmen soll und einen problemlosen Übergang zu dem für 2021 angesetzten Beginn des Meteosat Third Generation (MTG) Programms sicherstellen soll. [vgl. ESA-17]

- MetOp

Das "**M**eteorological **O**perational" Satelliten Programm wird ebenfalls von EUMETSAT betrieben und besteht aus derzeit zwei LEO-Satelliten auf sonnensynchronem, polarem Orbit. Ihre Aufgabe besteht in der Bereitstellung detaillierter Daten über Atmosphäre, Ozeane und Kontinente um so unter anderem zu helfen, das Klima zu überwachen und detailliertere Wettervorhersagen zu entwickeln [vgl. EUM-17]. Sie gehören zum "Eumetsat Polar System" (EPS) und sind dadurch Teil einer Kooperation mit der NOAA, um freien Zugang zu meteorologischen Daten aus polaren Orbits zu liefern. Dadurch ist es möglich, innerhalb von 2 Stunden und 15 Minuten nach der Aufnahme aktuelle Daten der jeweiligen Region zu generieren. [vgl. ESA-17]

2.2.2 USA (NASA/NOAA/DoD)

Auch in den USA gibt es eine Reihe von Erdbeobachtungsprogrammen und meteorologischer Satelliten, die hier aber nicht rein zivil (in diesem Fall vonseiten der NASA und/oder der NOAA), sondern auch militärisch durch das Department of Defense (DoD) und dessen untergeordneten Einrichtungen betreut und forciert werden. Natürlich finden auch Kooperationen zwischen diesen Institutionen statt, wie im Falle des Defense Meteorological Satellite Program (DMSP).

Gegenwärtig unterhält die NASA mehrere Erdbeobachtungsmissionen, wobei die wichtigsten das Earth Observing System (EOS), Earth Systematic Missions (ESM), Earth System Science Program (ESSP) und der A-Train (nach "Afternoon Constellation") sind, wobei letzterer im engeren Sinn nicht eine spezifische Mission ist, sondern eine internationale Kooperation der NASA mit der französischen Raumfahrtagentur CNES (Centre national d'études spatiales), bei der sich mehrere Satelliten die selbe orbitale "Spur" teilen [vgl. NAS-17].

Das Earth Observing System (EOS) wurde in den 80ern konzipiert und nahm in der Mitte der 90er Gestalt an. Es besteht aus einer Reihe aus polarumlaufenden Satelliten, die helfen sollen besseres Verständnis über Klimaprozesse mithilfe langfristiger Beobachtung zu erlangen. [vgl. NAS-17]

Folgende EOS-Satelliten haben insbesondere Relevanz hinsichtlich der Generierung von Cloud Covers und sollen exemplarisch vorgestellt werden:

- Aqua

Der 705 km hoch fliegende Aqua-Satellit befindet sich bereits seit Mai 2002 im Orbit und hat seine bis Mai 2008 angesteuerte Lebenserwartung schon deutlich überschritten. Er führt sechs verschiedene Erdbeobachtungsinstrumente mit sich und liefert mit ca. 80 Gigabyte pro Tag ein beachtliches Datenvolumen an Informationen über fast alles Wasser in den verschiedenen Zustandsformen im Wasserkreislauf der Erde, wie z.B. Verdunstung der Ozeane, Wasserdampf in der Atmosphäre, Wolken, Niederschlag, etc. [vgl. NAS-17]

- Landsat 8

Im Juli 2012 wurde das 40-jährige Jubiläum des später in Landsat 1 umbenannten ERTS-1 gefeiert und auch nach dieser Zeit leisten dessen Nachfolger wichtige Beiträge zur Erdbeobachtung. Landsat 8 befindet sich seit 2013 im Einsatz und entstammt der Kooperation aus NASA und U.S. Geological Survey (USGS). Er führt zwei Instrumente mit sich, den Operational Land Imager (OLI) und den Thermal Infrared Sensor (TIRS).

- Terra

Seit 1999 befindet sich dieser Satellit im Orbit, der von der NASA als "Flaggschiff der Earth Observing Systems Mission" bezeichnet [vgl. NAS-17]. Er war der erste Satellit dieser Mission und liefert globale Daten über den Zustand von Atmosphäre, Landmassen und Ozeanen, sowie deren Interaktion untereinander und mit solarer Strahlung. [vgl. NAS-17]

Folgende Satelliten sind ebenso Bestandteil der EOS-Mission:

- Aura
- Landsat 7
- Ocean Surface Topography Mission/Jason-2 (OSTM/Jason-2)
- Quick Scatterometer (QuikSCAT)
- Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE)
- Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III on ISS (SAGE III-ISS)

Von der Earth Systematic Mission (ESM), die als Nachfolger von EOS geplant ist, befinden sich derzeit erst zwei von insgesamt 21 Satelliten funktionell im Orbit. Auch sie soll helfen, besseres Verständnis des Klimasystems und des Klimawandels zu erlangen.

- Soil Moisture Active-Passive (SMAP)

Dieser erste, seit Anfang 2015 im niedrigen Erdorbit befindliche Satellit soll mithilfe der Kombination eines hochauflösenden Radars mit einem kombinierten Radiometers die Oberflächenbodenfeuchte und den Frost-Tau Zustand des Bodens messen, um dadurch das Verständnis bezüglich der regionalen Wasserzyklen, der Produktivität des Ökosystems und der Prozesse, die die Wasser-, Energie- und Kohlenstoffzyklen miteinander verbinden, zu erhöhen. [vgl. NAS-17]

- Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III on ISS (SAGE III-ISS)

Genau genommen handelt es sich hierbei nicht um einen eigenständigen Satelliten, sondern um ein Instrument, das auf der Internationalen Raumstation (ISS) montiert ist. Es soll helfen, die Änderungen des Ozongehalts in der Ozonschicht der Atmosphäre zu messen, aber auch prinzipiell die Zusammensetzung der Atmosphäre, Klimavariabilität und -wechsel um dadurch die Frage beantworten zu können, inwiefern sich das globale Erdsystem verändert. [vgl. NAS-17]

Das Earth System Science Program (ESSP) soll sich laut NASA durch "innovatives Design und rasche Implementation" auszeichnen [vgl. NAS-17]. Seine Missionen sollen wichtige Komponenten und physikalische Prozesse innerhalb des Klimasystems untersuchen, darunter z.B. die Verteilung von CO₂ in der Atmosphäre, aber auch die vertikale Struktur von Wolken und Aerosolen. [vgl. NAS-17]

Es besteht aus zurzeit fünf operationellen Satelliten, wobei folgende näherer Betrachtung im Sinne des Aufgabenstellung dieser Masterarbeit unterzogen werden sollen:

- Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO)

CALIPSO ist eine weitere Kooperation der NASA mit der französischen CNES und soll mithilfe seiner passiven (Imaging Infrared Imager und Wide-Field Camera) und aktiven Systeme (Lidar) verbessertes Verständnis der Rolle von Aerosolen und Wolken bezüglich des Klimas und deren gegenseitigen Interaktion liefern. [vgl. NAS-17]

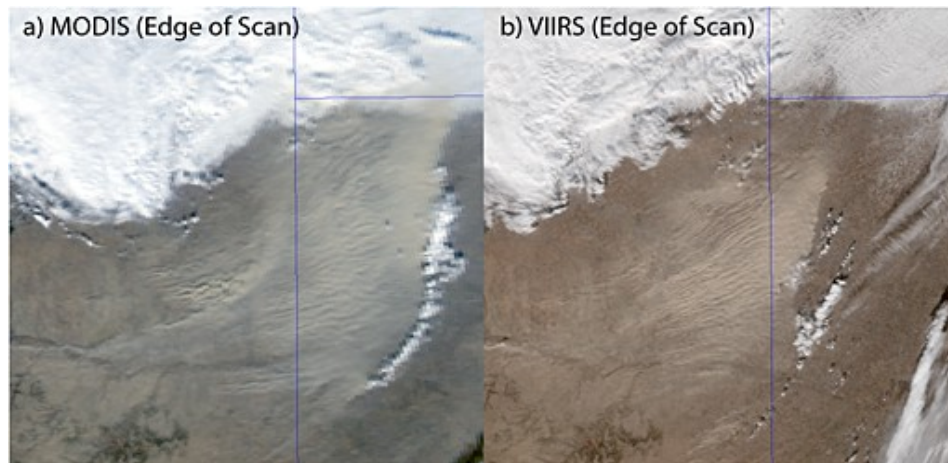
- CloudSat

Dieser Satellit widmet sich, wie der Name schon impliziert, der Beobachtung und Erforschung von Wolken und deren Einfluss auf das Klima. Dabei stützt er sich auf die globale Erfassung der vertikalen Struktur und die Überlappung verschiedener Wolkensysteme. Die daraus gewonnenen Daten sollen helfen, verbesserte atmosphärische Modelle zu konstruieren, um dadurch genauere Wetter- und Klimavorhersagen treffen zu können. [vgl. NAS-17]

Weitere funktionale Satelliten des ESSP sind:

- Cyclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS)
- Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)
- Orbiting Carbon Observatory 2 (OCO-2)

Eine Kooperation der NASA mit der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) betrifft die Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP bzw. SNPP), die eine Brücke zwischen den EOS Missionen Terra und Aqua, sowie den neuen Satelliten des Joint Polar Satellite System (JPSS) bildet, dessen erster Satellit 2017 gestartet werden sollte [vgl. NAS-17]. SNPP (und weiterführend JPSS) liefert in einer polaren Umlaufbahn zwei mal täglich hochauflösende Aufnahmen der Erde und hat unter anderem als Kernaufgaben die Beobachtung von Klimawandel, Dicke der Ozonschicht messen, Wettervorhersagen, etc. [vgl. JPS-17]. Ein wichtiger Vorteil SNPPs ist dabei das VIIRS-Instrument (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), das im Gegensatz zu dem von Terra und Aqua verwendeten MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) einerseits eine höhere Schwadbreite (~3000km im Vergleich zu ~2300km) und eine höhere räumliche Auflösung vorzuweisen hat (~1.5km im VIIRS M-Band verglichen zu ~5km an den Aufnahmerändern und 750m und 1km im Nadir - siehe auch Abb. 2) [vgl. HIL-14].



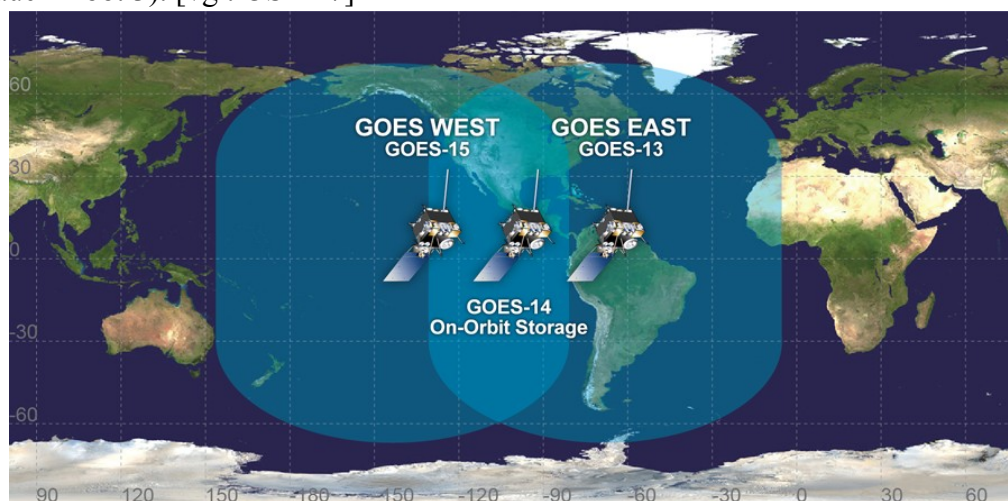
Quelle: [HIL-14]

Abb. 2: Direkter Vergleich des MODIS-Sensors mit dem auf SNPP installierten VIIRS

Auch die NOAA selbst unterhält eine Reihe von Satellitenprogrammen, ebenfalls meist in Kooperation mit anderen Agenturen.

- GOES

Eines der wichtigsten bezüglich dieser Masterarbeit sind die in Kooperation mit der NASA betriebenen Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), also geostationäre Umweltsatelliten in einem Orbit von knapp 35800 km, die eine kontinuierliche Erdbeobachtung ermöglichen. Dadurch ermöglichen sie die rechtzeitige Warnung vor bzw. raumzeitliche Beobachtung von schwerwiegenden Wetterzuständen wie Tornados, Hurrikanen oder Springfluten. Derzeit befinden sich drei GOES funktionell im Orbit (GOES-13 bzw. -N, GOES-14 bzw. -O und GOES-15 bzw. -P), wobei GOES-13 sich bei 75° westlicher Länge aufhält, GOES-15 bei 135° und GOES-14 zwischen diesen beiden bei 105° im Bereitschaftsmodus, um bei einer Störung eines der beiden anderen dessen Platz einzunehmen (siehe auch Abb. 3). [vgl. OSP-17]



Quelle: [OSP-17]

Abb. 3: Standorte der GOES-Satelliten

Der neusten Generation (GOES 3rd generation) entspringt GOES-16 bzw. GOES-R, der Ende 2016 in den Orbit gebracht wurde und der erste von drei weiteren für 2017, 2019 und 2024 geplanten Wettersatelliten ist. Seit 18. Dezember 2017 hat GOES-16 den Platz von GOES East eingenommen. Mithilfe höherer räumlicher Auflösungen und rascheren Aktualisierungszyklen sollen genauere Vorhersagen, real-time Kartierung und verbesserte Beobachtung von Sonnenaktivität möglich werden. [vgl. GOE-17]

- POES

Ein weiteres Programm der NOAA ist Polar Operational Environmental Satellites (POES), das täglich globale Erfassung garantieren soll. Es ist eine Kooperation mit der europäischen Satellitenbetreibergesellschaft EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), bei der ständig ein POES (NOAA-N) mit einem MetOp zusammenarbeitet. Zurzeit gibt es drei aktive POES-Satellite, die alle einen sonnensynchronen Orbit haben; NOAA-15 (auch NOAA-N), NOAA-18 und NOAA-19. Ersterer ist Teil der Vormittagsformation, während die beiden anderen die Nachmittagsformation bilden (Details hierzu siehe auch Kapitel 3). [vgl. OSP-17]

- DMSP

Das wichtigste (öffentlich zugängliche) Programm des amerikanischen Department of Defense (DoD) ist das Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Dieses in Kooperation mit der NOAA betriebene Programm besteht aus einer Flotte aus vier sonnensynchronen militärischen Satelliten (DMSP-F15, -F16, -F17, -F18) mit einer Umlaufzeit von 101 Minuten mit einer Schwadbreite von 3000km. Dadurch ist es möglich, zwei mal täglich eine komplette globale Erfassung garantieren und mittels Kombination der Daten von Tag/Nacht und Morgen/Abend Satelliten alle sechs Stunden aktualisierte Information bezüglich z.B. Wolken zu gewährleisten. Ebenfalls noch im Orbit befindet sich DMSP-F19, der aber seit einem Schaden im März 2016 nicht mehr von der Bodenkontrolle aus gesteuert werden kann, aber zur Zeit immer noch Bilder überträgt.[vgl. EOG-17]

2.2.3 China (CAST, NRSCC, NSMC-CMA)

In China sind die Chinese Academy of Space Technology (CAST), The National Remote Sensing Center of China (NRSCC), das China Center for Resources Satellite Data and Application (CRESDA), die China National Space Administration (CNSA) und das National Satellite Meteorological Centre - China Meteorological Administration (NSMC-CMA) für die zivilen Satellitenprogramme Chinas verantwortlich, wobei die meisten dieser Programme in Kooperation der Agenturen durchgeführt werden.

Die CAST hat eine Reihe an Satellitenprogrammen in ihrem Portfolio, dabei sind einige auch internationale Kooperationen, wie z.B. CBERS mit der brasilianischen INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), dem China-Brazil Earth Resource Satellite, dessen 2014 gestarteter vierter Satellit CBERS-4 in sonnensynchronem Orbit zur meteorologischen Landbeobachtung eingesetzt wird [vgl. WMO-17].

- Huang Jing 1

Ein weiteres Programm der CAST in Kooperation mit der CRESA ist Huan Jing 1, das derzeit drei Satelliten im sonnensynchronen Orbit hat (HJ-1A, HJ-1B und HJ-1C). "Huan Jing" bedeutet "Umwelt", was gleichermaßen den Einsatzzweck dieser

Satelliten beschreibt: Landbeobachtung, um unter anderem Daten zur Katastrophenüberwachung beizutragen. [vgl. WMO-17]

- Zi Yuan

Zi Yuan ("Ressource") ist ein CAST-CNSA-CRESDA Kooperationsprogramm, das aus drei sonnensynchronen Satelliten besteht (ZY-1-2C, ZY-3-01 und ZY-3-02). ZY-1-2C ist die erste hochauflösende Erdbeobachtungsmission und war ursprünglich der dritte der CBERS-2 Serie, wurde allerdings ohne Beteiligung Brasiliens von China allein entwickelt [vgl. EOP-17]. Der auf sonnensynchronem Orbit fliegende Satellit vermag mittels seiner beiden Hyper Resolution Cameras (HR Kamera) eine räumliche Auflösung von 2,36m zu liefern, während seine Panchromatic/Multi-Spectral Band Kamera (PMS) im panchromatischen Band eine Auflösung von 5m und im multispektralem Band noch eine 10m Auflösung leistet [vgl. WAN-12]. Die 2012 und 2016 gestarteten ZY-3-01 und ZY-3-02 sind Chinas erste zivile stereoskopische Erdkartierungssatelliten mit der Primäraufgabe, eine neue Datengrundlage für Karten im Maßstab 1:50000 und größer zu erstellen. Ihre Instrumente erreichen im Nadir eine Auflösung von 2,1m (Three-line Array Camera) bzw. im Multispektralbereich 5,8m (Multispectral Camera). [vgl. EOP-17]

- Hai Yang

Das Hai Yang ("Ozean") Programm besteht zur Zeit aus zwei Sub-Programmen, Hai Yang 1 und dessen Nachfolger Hai Yang 2, die ihrerseits aus fünf (HY-1) bzw. vier Satelliten (HY-2) bestehen. Dieses Programm wird von der CAST mit Unterstützung der State Ocean Administration (SOA), die gewissermaßen das chinesische Äquivalent zur amerikanischen NOAA darstellt, realisiert und soll zur Beobachtung der Meere beitragen, indem bei HY-1 Temperatur und Farbe überwacht werden und bei HY-2 zudem Höhe des Meeresspiegels, Meereis und Windvektoren, aber generell auch Wetterbeobachtungen zur genaueren Vorhersage. [vgl. EOP-17 und LIN-08]

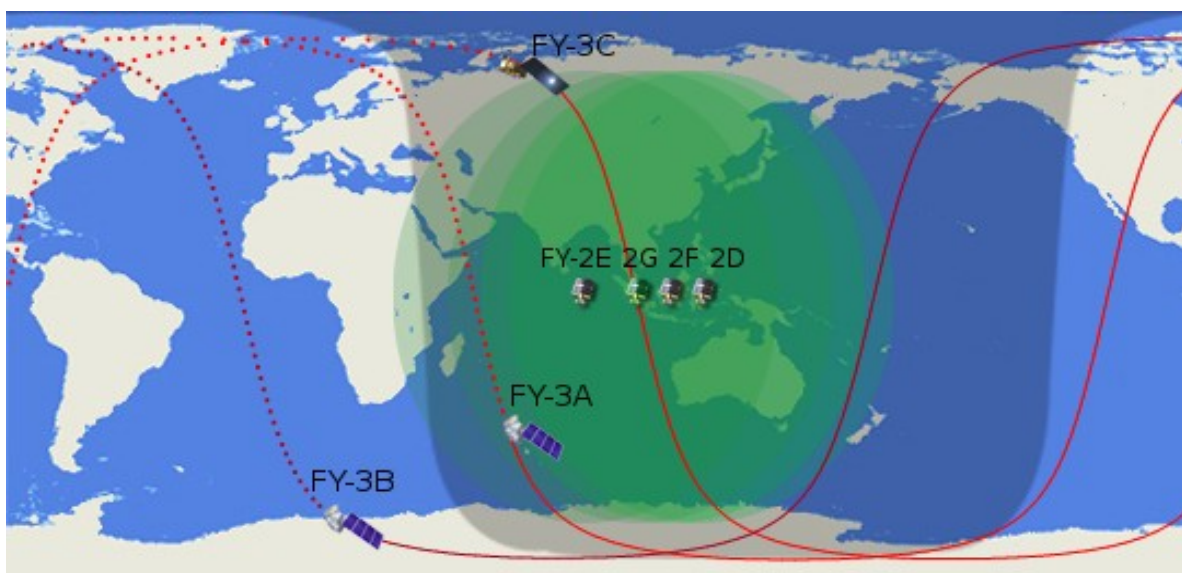
Weitere Programme der CAST sind:

- Tian Hui - 1: Dieses militärisch-zivile Programm (Tian Hui = "Himmelszeichnung") stellt eine Kooperation der CAST mit der People Liberations Army (PLA) dar und dient ähnlich wie ZY-3 in einem sonnensynchronem Orbit primär zur Kartierung mittels stereoskopischer Aufnahmeverfahren. [vgl. BAR-12]
- Shijian 9: Diese Kooperation mit der CRESDA besteht aus zwei sonnensynchronen Satelliten, die seit 2012 hochauflösende Bilder zur Landbeobachtung liefern [vgl. WMO-17].
- Superview: Dieses auch als GaoJing bekannte Programm besteht aus vier modernen Satelliten, die seit 2016 (Superview-1 und -2) bzw. 2017 (Superview-3 und -4) und stellt eine öffentlich-private Kooperation der CAST mit der chinesischen Technikfirma SpaceView dar. Diese Satelliten liefern mittels eines sonnensynchronen Orbits eine räumliche Auflösung von 0.5m im panchromatischen und 2m im multispektralen Bereich mit einer Revisit-Time von zwei Tagen. [vgl. SPA-17]

Die CMA führt eine weitere Reihe meteorologischer Erdbeobachtungsmissionen, die wichtigste davon Feng-Yun (= "Wind und Wolken"). Das Feng-Yun Programm besteht insgesamt aus vier Sub-Programmen (FY-1, FY-2, FY-3 und FY-4), wobei FY-1 bereits seit 2012 als beendet gilt. [vgl. WMO-17]

- Feng-Yun

Feng-Yun 2 bestand aus insgesamt acht operationellen geostationären Satelliten, wobei derzeit noch vier aktiv sind (FY-2D, FY-2E, FY-2F und FY-2G) [vgl. CEO-17]. Die gegenwärtigen FY-2 Satelliten weisen im sichtbaren Licht eine räumliche Auflösung von 1.25km und im Infrarot-Bereich immerhin noch 5km auf [vgl. LIA-17]. Ihre Daten sind stündlich abrufbar und frei verfügbar (als nicht kommerzielle Lizenz). Ihre Lage ist für FY-2D 123.5° Ost, FY-2F 112° O, FY-2G 105° O und für FY-2E 86.5° O. Abbildung 4 zeigt ihre Position, zusammen mit den Feng-Yun 3 Satelliten.



Quelle: [NSM-17], eigene Bearbeitung

Abb. 4: Positionen der geostationären Feng-Yun 2 und polarumkreisenden Feng-Yun 3 Satelliten

Feng-Yun 3 ist im Gegensatz dazu eine Flotte, bestehend aus gegenwärtig drei aktiven polarumkreisenden meteorologischen Satelliten (FY-3A, FY-3B und FY-3C) und hat das 2012 beendete Feng-Yun 1 Programm abgelöst [vgl. CEO-17]. Ihre Primäraufgabe ist das globale Sammeln von Wolken- und Oberflächencharakteristikdaten, um dadurch auf Parameter von Atmosphäre, Land- und Meeresoberflächen zu schließen. Dementsprechend dienen die FY-3 Satelliten vor allem zu vier unterschiedlichen Zwecken:

- a) Sammeln globaler meteorologischer Daten, um verbesserte Wettervorhersagen treffen zu können
- b) Sammeln unterschiedlicher meteorologischer und geophysikalischer Daten für Studien zum globalen Wandel, inklusive Klimawandel und -Klimavariationen
- c) Beobachten großräumiger Naturkatastrophen und der ökologischen Umwelt
- d) Bereitstellung globaler Wetterinformation für spezielle Zwecke wie Luftfahrt, Schifffahrt und nationaler Verteidigung

Um diese Ziele erreichen zu können, sind die FY-3 Satelliten unter anderem mit einem VIIR (Visible and Infrared Red Radiometer) ausgerüstet, das im Nadir eine räumliche Auflösung von 1.1km möglich macht und einem MERSI (Medium Resolution Spectral Imager), der eine Auflösung 250m bis 1km ermöglicht, womit dank einer Schwadbreite von 2800km die komplette Erde zwei mal täglich erfasst werden kann. [vgl. NSM-10 & EOP-17]

Feng-Yun 4 ist die zweite Generation geostationärer Erdbeobachtungssatelliten und soll im Lauf der nächsten Jahre Feng-Yun 2 ablösen. Bisher befindet sich nur ein Satellit im Orbit, FY-4A, der Ende 2016 gestartet wurde. Von dieser Serie sind zwei verschiedene Varianten geplant, eine mit optischen und eine mit Mikrowellen Sensoren, wobei je nach Instrument eine räumliche Auflösung von 0.5 bis 4km möglich sein soll und bis zu alle 15 Minuten eine Aufnahme getätigt werden soll. [vgl. CMA-17]

2.2.4 Indien (ISRO)

Die indische Raumfahrtagentur ISRO (Indian Space Research Organisation) hat zwei meteorologisch relevante Raumfahrtprogramme in ihrem Portfolio. Das erste ist "Satellite for the Ocean", oder kurz OceanSat, das eine Serie operationeller Satelliten zur Beobachtung der Meere ist. Derzeit ist OceanSat-2 im Einsatz, der auf sonnensynchronem Orbit Daten zu Temperatur- und Zirkulation der Meere sowie Feuchtigkeit der Atmosphäre sammelt. [vgl. WMO-17]

- INSAT

Das zweite Programm, in Hinsicht der Aufgabenstellung dieser Masterarbeit relevantere, lautet INSAT (Indian National Satellite), bei dem es sich um eine Serie geostationärer Mehrzwecksatelliten handelt. Derzeit aktiv ist INSAT-3, das seinerseits aus sechs operationellen Satelliten besteht, wovon aber lediglich drei mit meteorologischen Instrumenten bestückt sind [vgl. CGM-14].

Diese sind INSAT-3A (93.5° östlicher Länge), INSAT-3D (82° Ost) und der unter anderem Namen, aber funktionell zu INSAT gerechnete, Kalpana-1 (74° Ost). Interessant hinsichtlich der Detektion von Wolken ist besonders das mitgeführte VHRR/2 (Very high Resolution Radiometer) und die CCD-Kamera, die eine räumliche Auflösung von 2km (VHRR/2) bzw. 1km (CCD) aufweisen und ca. alle 33min eine Aufnahme erstellen können. [vgl. CGM-14]

Seit Ende 2016 befindet sich auch INSAT-3DR im Orbit auf 74° Ost, der im Tandemmodus mit INSAT-3D arbeitet und ebenfalls Bilder von bis zu 1km Auflösung liefert, während INSAT-3A in den „Ruhestand“ versetzt wurde. [vgl. EOP-17]

2.2.5 Japan (JAXA, JMA)

In Japan liefern die Raumfahrtagentur JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) und die Meteorologie Behörde JMA (Japan Meteorological Agency) ihrerseits Daten zur meteorologischen Erdbeobachtung. Die diesbezüglich relevantesten Programme sind GOSAT (Greenhouse Gas Observing Satellite) und MTSAT (Multifunction Transport Satellite) [vgl. KÖP-12]. GOSAT ist ein sonnensynchroner Satellit, der alle drei Tage die Konzentration von CO₂ (Kohlendioxid) und CH₄ (Methan) in der Atmosphäre global erfasst [vgl. JAX-17].

- MTSAT

MTSAT ist die Abkürzung für das Himawari ("Sonnenblume") Geostationary Meteorological Satellite Programm. Zur Zeit befindet sich dieses in der dritten Generation (Himawari 3rd generation mit Himawari-8 und Himawari-9), wobei vom Vorgänger Himawari 2nd generation (Multifunction Transport Satellite) immer noch ein Satellit (Himawari-7 bzw. MTSAT-2) aktiv ist. MTSAT-2 befindet sich auf 145° östlicher Länge, während Himawari-8 und 9 auf 140° Ost weilen. MTSAT-2 liefert räumliche Auflösungen von 1km (VNIR) bis 4km (IR), während Himawari-8 und 9 zwischen 0.5km (VIS) bis 2km (IR) alle 10min liefern. [vgl. EOP-17 & KIM-13]

2.2.6 Russland (Roscosmos, RosHydroMet)

Russlands Raumfahrtbehörde Roscosmos führt - oft in Kooperation mit RosHydroMet, der Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, die in gewisser Weise das russische Pendant zur NOAA ist - mehrere Satellitenprogramme durch, das wichtigste in meteorologischer Sicht ist aber sicherlich neben KANOPUS Vulkan, Resurs und Electro vor allem Meteor [vgl. KÖP-12 & WMO-17]

- Meteor

Bei Meteor handelt es sich um Russlands generischen Namen für sein Low-Earth-Orbit (LEO) Satellitenprogramm. Das derzeitige Programm heißt Meteor-3M und besteht insgesamt aus einer Serie neun operationeller meteorologischer Satelliten. Derzeit aktiv sind davon zwei Satelliten, der 2009 gestartete Meteor-M N1 und der 2014 gestartete Meteor-M N2. Beide bewegen sich auf einem sonnensynchronen Orbit um die Erde und liefern je nach Instrument Aufnahmen mit einer räumlichen Auflösung von 50m bis 1km [vgl. EOP-17]

- Electro

Ein weiteres interessantes Programm ist Electro, bei dem es sich um geostationäre Satelliten primär zur Wetterbeobachtung handelt: Electro-L N1 auf 29.6° West und Electro-L N2 auf 76.1° Ost. [vgl. WMO-17]. Bei nahezu Echtzeit-Verfügbarkeit der Daten alle 15 bis 30min liefern diese für Cloud Covers eine räumliche Auflösung von 1km [vgl. EOP-17].

- Resurs

Beim Resurs Programm handelt es sich um eine Serie Satelliten auf sonnensynchronem (Resurs-P1 und Resurs-P2) bzw. elliptischem semi-polarem Orbit (Resurs-DK1) mit der Aufgabe, Daten für Landbeobachtung, Astrophysik und Wetter zu sammeln [vgl. WMO-17]. Sie stellen hochauflösende Daten in einer räumlichen Auflösung von 1m (panchromatisches Band) bis 4m (multispektrales Band) zur Verfügung [vgl. PES-14].

- KANOPUS

KANOPUS Vulkan schließlich ist eine geplante Serie aus zwei Mini-Satelliten (450kg im Vergleich zu z.B. 2500kg von Meteor-3M-1) zur Erdbeobachtung, wobei bis dato der erste (KANOPUS-V1) im sonnensynchronen Orbit operationell ist. Dabei sollen Daten speziell für anthropogen und natürlich entstandene Katastrophen, Kartierung, Landnutzung etc. gesammelt werden. Die dafür erreichte räumliche Auflösung von 2.5m geht dabei einher mit einer eher geringen Schwadbreite von 20km, welche den Nutzen für globale Cloud Covers stark restringiert. [vgl. EOP-17]

2.2.7 Südkorea (KMA, KARI)

Die Korea Meteorological Administration (KMA) und das Korea Aerospace Research Institute (KARI) führen drei meteorologisch relevante Satellitenprogramme durch: KOMPSAT (Korea Multi-Purpose Satellite) und COMS (Communication, Oceanography and Meteorology Satellite) [vgl. WMO-17].

- KOMPSAT

KOMPSAT steht für Korea Multi-Purpose Satellite (originaler Name "Arirang", ein koreanisches Volkslied) und besteht aus einer Serie von fünf sonnensynchronen Satelliten, wobei noch vier aktiv operationell sind (KOMPSAT-2, KOMPSAT-3, KOMPSAT-3A und KOMPSAT-5) [vgl. WMO-17]. Die Primärziele der ersten KOMPSATs sind Liefern hochauflösender Bilder der koreanischen Halbinsel, Sammeln multispektraler Aufnahmen der Ozeane und Küstengebiete sowie Erfassung von Daten bezüglich der Plasmaverteilung der Ionosphäre [vgl. KIM-05]. KOMPSAT-2 hingegen liefert hochauflösende Bilder für GIS (Geographische Informationssysteme) Anwendungen und Überwachung großräumiger Katastrophen, wobei eine räumliche Auflösung von 1m bei einer Schwadbreite von 15km erreicht wird [vgl. LEE-01]. KOMPSAT-3 hat bei ähnlicher Aufgabenstellung sogar eine räumliche Auflösung von 0.7m im panchromatischen und 2.8m im multispektralen Band [vgl. LEE-14]. KOMPSAT-3A stellt sogar eine räumliche Auflösung von 0.55 im panchromatischen Band, 2.2m im multispektralen Band und 5.5m im Infrarot-Bereich bei einer Schwadbreite von 13km zur Verfügung [vgl. EOP-17]. KOMPSAT-5 hingegen hat einen etwas breiteren Einsatzzweck, verwendet zur Datenakquisition ein SAR und wird auch als "GOLDEN" Mission bezeichnet: **G**IS, **O**cean & **L**and Management, **D**isaster & **E**Nvironment Monitoring [vgl. LEE-10].

- COMS

COMS ist die Abkürzung für Communication, Oceanography and Meteorology Satellite. Bei diesem Programm handelt es sich um meteorologische, geostationäre Satelliten, wobei aktuell COMS-1 aktiv ist. COMS-1 befindet sich auf einem Orbit bei 128.2° Ost und liefert alle 30min eine Aufnahme der kompletten Erdscheibe bei einer Auflösung von 1km im VIS und 4km im IR. [vgl. EOP-17].

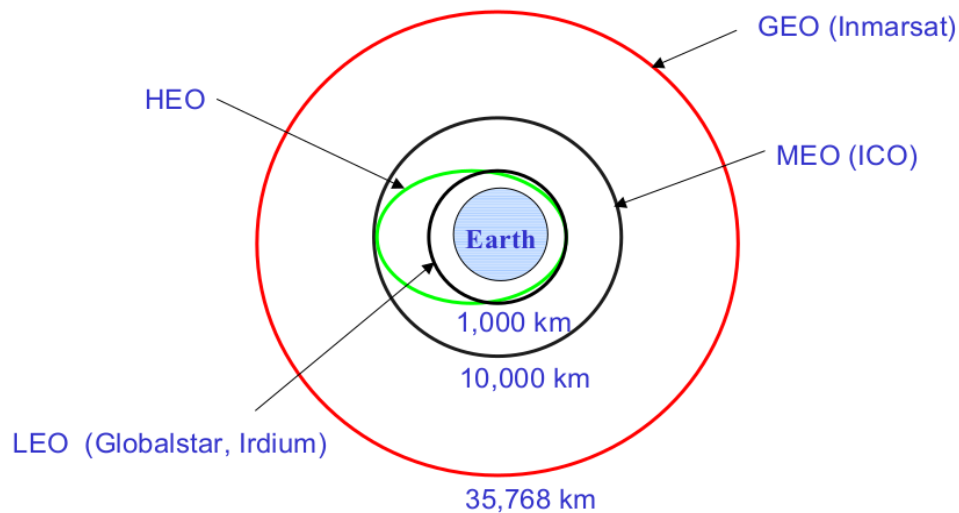
3 Einführung in die satellitengestützte Wolkenerfassung

In diesem Kapitel soll eine kurze Einführung in die satellitengestützte Wolkenerfassung gegeben werden, um so Einblick in die tiefgründige Materie der Fernerkundung zu gewinnen und dadurch die Grundlagen, die für die Generierung eines globalen real-time Cloud Covers notwendig sind, besser verstehen zu können. Dies ist insofern relevant, als dass durch die Parameter der Quelldaten erst die des finalen Produkts näher bestimmt werden können. So bestehen eklatante Unterschiede in Auflösung und Aktualisierungsintervallen der jeweiligen Satelliten- und Instrumententypen, aber auch grundlegende Probleme und Schwierigkeiten der satellitengestützten Fernerkundung sollen hier Erwähnung finden, da sich dadurch Restriktionen auf die zu generierenden Daten ergeben.

Der große Vorteil satellitengestützter Fernerkundung gegenüber terrestrischen Methoden ist der Fakt, dass das zu messende bzw. beobachtende Objekt nicht direkt zugänglich sein muss und sich aufgrund seiner räumlichen Größe Zusammenhänge aus großer Entfernung besser ersichtlich zeigen. Gerade im globalen Maßstab zeigt sich dieser Vorteil, da terrestrische Messnetze primär nur in Industriestaaten dicht ausgebaut sind, aber zwei Drittel der Erde von Ozeanen, Wüsten und polaren Gebieten bedeckt sind. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die zeitliche Überwachung von Phänomenen durch Satelliten, da, abhängig von der Flugbahn, diese im Abstand von fünf Minuten bis einigen Tagen ihre Messungen vornehmen und dadurch die genaue raum-zeitliche Entwicklung von z.B. Wolkenfeldern ersichtlich machen, aber auch langfristige Phänomene wie die Entwicklung des Klimas besser beobachtbar und messbar machen. Auch der finanzielle Aspekt darf nicht vernachlässigt werden, denn die finalen Kosten für Einzelmessungen sind im Vergleich zu terrestrischen Messmethoden für einen längeren Zeitraum über ein größeres Gebiet nicht sonderlich hoch. [vgl. KÖP-12]

3.1 Satellitenorbits

Prinzipiell unterscheidet man je nach Höhe und Form verschiedener Satellitenorbits zwischen vier Haupttypen (GEO, LEO, HEO, MEO; siehe auch Abb. 5), die ihre jeweiligen Vor- und Nachteile haben und im Folgenden vorgestellt werden, wobei für Erdbeobachtungssatelliten bis dato meist nur GEO und LEO typisch sind. Zur weiteren Differenzierung der Orbits dienen diverse Parameter wie Inklination (auch Bahnneigung genannt, also der Winkel zwischen der Bahnebene und seiner Referenzebene, bei Satelliten meist der Äquator), Höhe, Umlaufzeit (also wie rasch ein Satellit für eine gesamte Umrundung der Erde benötigt) und Subsatellitenpunkt (SSP). Letzterer definiert jenen Punkt, den der Satellit im Nadir bzw. auf der Schnittpunktlinie vom Satelliten zum Erdmittelpunkt mit der Erdoberfläche einnimmt [vgl. KIN-07]. Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Schwadbreite, die die Aufnahmebreite während des Überflugs beschreibt. Eine hohe Schwadbreite kann also zur schnelleren Abtastung eines Gebietes bzw. globalen Erfassung führen, wobei hier auch die Umlaufzeit und natürlich Orbitart eine wichtige Rolle spielen [vgl. KÖP-12].



Quelle: [AGR-02]

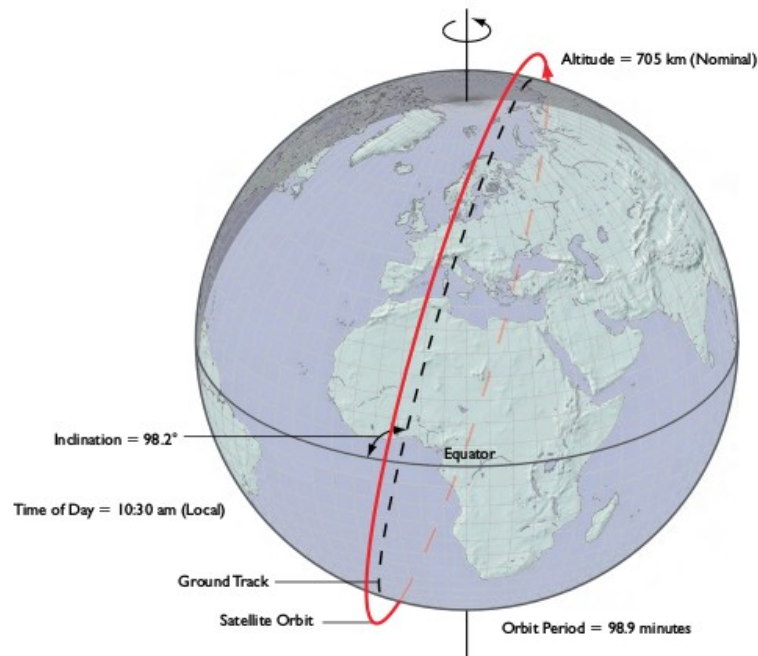
Abb. 5: Exemplarische Darstellung verschiedener Satellitenorbits

3.1.1 Geostationäre/Geostationary Orbits (GEO)

Geostationäre Satelliten befinden sich in einem Orbit von 35 768 km über der Erde und sind dadurch, dass ihre Umlaufgeschwindigkeit äquivalent zur Rotationsgeschwindigkeit der Erde (3.07km/s) ist, quasi "stationär" über einem Punkt am Äquator stehend - sie haben also einen fixen Subsatellitenpunkt [vgl. KIN-07]. Der große Vorteil gegenüber anderen Satellitenbahnen besteht darin, dass so fast durchgehend Aufnahmen von der Region 60°N bis 60°S der Erde getätigt werden können, was gerade bzgl. "real-time" Cloud Covers von großem Vorteil ist. Dieser Vorteil kommt aber mit dem entsprechenden Nachteil der großen Aufnahmehöhe einher, wodurch geostationäre Satelliten gegenüber Satelliten niedriger Umlaufbahn für gewöhnlich niedrigere (räumliche) Auflösungen aufweisen und keine polare Regionen abdecken können (siehe auch den Vergleich diverser Satelliten in Kapitel 2). Einen Sonderfall stellen geosynchrone Orbits da, die sich nicht auf der Äquatorebene befinden und dadurch jeweils einen Tag für eine Umrundung der Erde benötigen [vgl. KEL-07].

3.1.2 Satelliten niederen/Low Earth Orbits (LEO)

Dieser Orbit ist neben geostationären Orbits der bei (meteorologischen) Erdbeobachtungssatelliten häufigste Typ. Die Orbithöhe beträgt 500 bis 1500 km wodurch sich meist auch die Umlaufgeschwindigkeit definiert [vgl. AGR-02]. Innerhalb der Klasse der LEOs kann noch zwischen polarumlaufenden und tropischen Orbits (z.B. die "Tropical Rainfall Measuring Mission" TRMM) differenziert werden, wobei bei es bei ersterem noch den Spezialfall der sonnensynchronen Orbits gibt, die die der Sonne zugewandten Seite des Äquator stets zur gleichen Zeit passieren (also z.B. 10:30) und dadurch den Vorteil haben, Aufnahmen stets mit den selben Belichtungsverhältnissen der Sonne zu liefern, wobei es eine grobe Unterteilung zwischen Vormittags- und Nachmittagsorbits (im englischen Sprachgebrauch "AM" und "PM") gibt. Dabei geht der Orbit nicht direkt über die Pole, sondern weist eine Inklination von ca. 100° bei einer Höhe von 700-1000km auf (siehe auch Abb. 6). Um diesen Orbit beizubehalten, sind gelegentliche Kurskorrekturen notwendig. [vgl. KEL-07]



Quelle: [KIN-07]

Abb. 6: Darstellung eines sonnensynchronen Orbits und seiner Orbitparameter

3.1.3 Medium Earth Orbits (MEO) und Highly Elliptical Orbit (HEO)

Medium Earth Orbits, manchmal auch "Intermedium Circular Orbit" (ICO) genannt, haben eine Höhe zwischen 6000 bis 20 000 km und dienen primär für Navigationssatelliten wie Galileo, GPS oder GLONASS [vgl. AGR-02]. Interessanter bezüglich Erdbeobachtung sind hingegen Highly Elliptical Orbits oder auch Molniya Orbit (nach den ersten Satelliten, die diesen Orbit praktisch benutzt haben), die zwar bis dato eher eine Randerscheinung sind, aber durch ihre Erfassung polarer Regionen von zukünftigem großen Interesse sind. So planen die russischen Roscosmos und RosHydroMet ab 2019 über die nächsten Jahre hinweg fünf meteorologische Erdbeobachtungssatelliten mit diesem Orbit einzusetzen.

3.2 Technische Einführung, aktive/passive Systeme, Auflösungen

Grundsätzlich funktioniert die satellitengestützte Wolkenerfassung durch das Empfangen und Messen elektromagnetischer Strahlung am Satellit, wobei Licht im Besonderen von Wolken, Bodenstrukturen und diversen Gasen der Atmosphäre nach oben gestreut und reflektiert wird [vgl. KER-07]. Dabei treten verschiedene Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Boden mit dieser Strahlung auf, die auch wellenlängen- und richtungsabhängig sind, weswegen durch die Kombination variabler Messdaten auch unterschiedliche meteorologische Messdaten ermittelt werden können. [vgl. KÖP-12]

Um dies zu erreichen, gibt es eine Vielzahl verschiedener Sensoren- bzw. Satellitensysteme, die verschiedene Attribute aufweisen wie gemessener Spektralbereich, Polarisation, Umlaufbahn der Satelliten, Beobachtungsgeometrien sowie eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen aktiven und passiven Methoden. [vgl. KÖP-12]

Auflösungen werden nach vier verschiedenen Parametern klassifiziert:

- Räumlich: Die räumliche Auflösung definiert, welche Fläche ein Pixel auf der Erdoberfläche aufweist, also z.B. 1km x 1km.
- Temporal: Die temporale bzw. zeitliche Auflösung legt fest, in welchen Abständen Aufnahmen von ein und demselben Gebiet getätigt werden können.
- Spektral: Die spektrale Auflösung definiert die Anzahl der Spektralkanäle auf einem Satelliten und welche Spektralbereiche diese abdecken.
- Radiometrisch: Die radiometrische Auflösung legt fest, wie viel Graustufen pro Kanal verfügbar sind; üblich sind 8bit, aber auch 11, 12 oder 16bit sind gebräuchlich.

3.2.1 Passive Messmethoden

Bei passiven Methoden wird lediglich - wie der Name schon impliziert - am Satellit Strahlung empfangen, die vom Boden und Atmosphäre reflektiert (z.B. Sonnenlicht), emittiert (z.B. Grundstrahlung der Erde) oder gestreut wird (z.B. Sonnenlicht an Wolken). Diese Strahlung wird zusätzlich beeinflusst, je nachdem von welchem Körper sie reflektiert/emittiert bzw. durchläuft. Durch diese Eigenschaft ist es möglich, spezifische Sensorsysteme zu designen, die Informationen zwischen diesen Körpern differenzieren können. [vgl. KÖP-12]

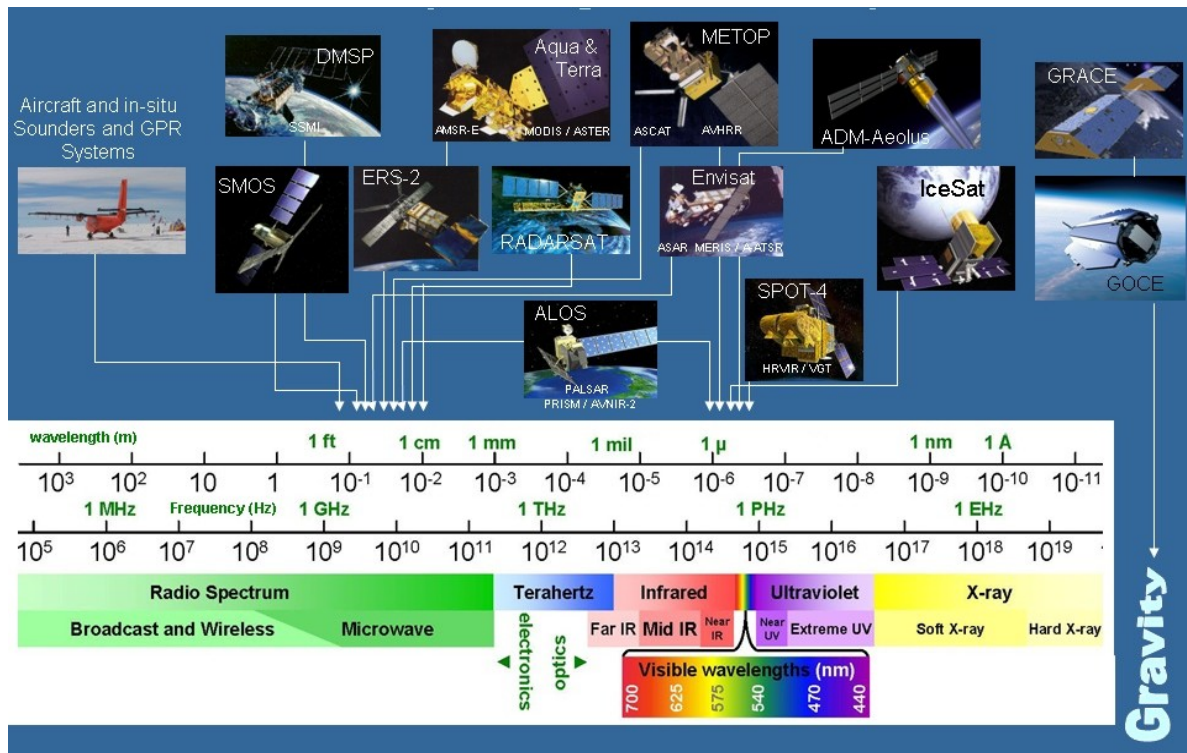
3.2.2 Aktive Messmethoden

Bei aktiven Methoden wird elektromagnetische Strahlung aktiv ausgesendet, und dann am Satellit wieder empfangen. Beispiele dafür sind SAR (Synthetic Aperture Radar) oder LIDAR (Light Detection And Ranging), die durch die gemessene Laufzeit Entfernungen ermitteln und dadurch hochauflösend messen können. Nach Köpke [KÖP-12] sind derartige Systeme aber noch seltener, da sie unter anderem durch die beschränkte Lebensdauer der Strahlungsquelle restringiert sind. [vgl. KÖP-12]

3.3 Spektralbereiche

Bei Instrumenten wird meist von einer Differenzierung verschiedener Kanäle gesprochen, womit gemeint ist, dass pro Kanal verschiedene Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums abgedeckt werden. Diese Kanäle werden dann meist mit dem Namen bezeichnet, der die generelle Lage in diesem Spektrum abdeckt. So bezeichnet nach Kelkar der Kanal VIS (für "visible") Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichts von ca. 0.38 bis 0.78 μm [vgl. KEL-07], darüber hinaus und besonders für die (wolkenbasierte) Fernerkundung relevant IR (Infrarot) mit einer Wellenlänge von ca. 0.78 bis 1000 μm , wobei innerhalb dieses Spektrums nach Taylor [vgl. TAY-00] zwischen NR für Near IR bzw. Nahes Infrarot (0.78 bis 1.4 μm), MIR für Mid IR bzw. Mittlerem Infrarot (1.4 bis 3 μm) und FIR für Far IR bzw. Fernem Infrarot (3 bis 1000 μm , siehe auch Abb. 7) unterschieden wird. Kaňák führt aus, dass es drei verschiedene Unterteilungen des Infrarotspektrums gibt (CIE, ISO 20473 und astronomisch), man grundsätzlich aber NIR bei 0.75 bis 1.4 μm ansetzt, eine weitere Unterteilung für Short IR (SIR) bzw. Kurzes IR von 1.4 bis 3 μm , MIR von 3 bis 8 μm , Long IR bzw. Langes IR (LIR) von 8 - 15 μm (dieser Bereich wird manchmal auch als "Thermal Infrared" bzw. TIR im Bereich des atmosphärischen Fensters bezeichnet) und FIR von 15 bis 1000 μm tätig. Eine weitere, für die Meteorologie wichtige Wellenlänge wird

durch den Ausdruck WV für Water Vapor bzw. Wasserdampf gekennzeichnet, der seine Hauptabsorptionsbande bei ca. 6.7 bis 7.3 μm hat [vgl. KAN-11]. Mikrowellen (MV für Microwave) beginnen schließlich bei einer Wellenlänge von 1mm (mm-Band) und erstrecken sich bis 30cm (L-Band) [vgl. KEL-07].



Quelle: [EAR-08], eigene Bearbeitung

Abb. 7: Übersicht über das elektromagnetische Spektrum und die jeweils spezifische Bezeichnung nach Wellenlängenbereichen mit exemplarischen Beispielen in der praktischen Verwendung von Satelliten

3.3.1 VIS-Kanal

Wolken erscheinen im VIS-Kanal dann hell, wenn sie eine hohe Albedo aufgrund von großer Wolkendicke, hohem Eis/Wasser Anteil und kleinen Wolkentropfen aufweisen. Im Gegensatz dazu erscheinen sie dunkler bei geringer Dicke, geringem Eis/Wasser Anteil und großen Wolkentropfen. So sind dicke Cumulonimbus gut sichtbar, während dünne Cirrus schwerer sichtbar sind. [vgl. KEL-07]

3.3.2 IR-Kanal

Der große Vorteil von IR gegenüber VIS ist die Unabhängigkeit von sichtbarem Licht und damit dem Tag/Nacht Rhythmus, womit durchgehende Beobachtungen möglich werden [vgl. KEL-07]. Bei Infrarot Kanälen bestimmt primär die Temperatur des jeweiligen Körpers die Signalstärke. So sind hohe, kalte Wolken im IR dunkel und warmer Boden im Vergleich dazu hell. Um also das für Menschen gewohnte Darstellungsbild "weißer Wolken" zu erhalten, werden IR-Bilder für gewöhnlich noch invertiert. Durch die Kombination von Informationen aus VIS und IR Kanälen kann man den Bedeckungsgrad verschiedener Wolkentypen ableiten,

da höhere Wolken meist kälter sind als niedrigere und die Bedeckung durch den VIS Kanal grundsätzlich schon vorgegeben wird. Gleichzeitig wird durch die Kombination mit Informationen aus dem WV Kanal mögliche Gewitterbildung sichtbar gemacht, da Wasserdampf meist tieferliegende Wolken überdeckt - zeigen sich also plötzlich Wolken, kann davon ausgegangen werden, dass hier Gewitterwolken bzw. Cumulonimbus gebildet werden, die oft mit Gewittern einhergehen. [vgl. KÖP-12]

Der Nachteil IRs liegt darin, dass die bei VIS oft deutlich modellierten Texturen an Wolkenoberflächen nicht sichtbar sind, was manche Auswertungen bzw. Wolkenklassifikationen erschweren kann. Des Weiteren kann nicht zwischen niedrigen Wolken und Wasseroberflächen bzw. Nebel und Landmassen unterschieden werden, da sich keine nennenswerten Temperaturunterschiede ergeben und dadurch nicht eindeutig differenziert werden kann. [vgl. KEL-07]

3.3.3 WV-Kanal

Wie auch IR ist WV unabhängig vom Tageslicht, erzeugt seine Bilder aber aus der Absorption von Wasserdampf im Bereich von $6.7\mu\text{m}$. Auch hier gilt das gleiche wie bei "gewöhnlichen" IR-Bildern: dort, wo viel Strahlung (also hell) auf den Satellitensensor trifft, ist die Absorption von Wasserdampf gering, dort wo wenig Strahlung auf den Sensor trifft, da sie von Wasserdampf absorbiert wird, ist sie dunkel. Auch hier wird (generell wie bei IR-Bildern), um dem Empfinden des menschlichen Sehens nachzukommen, die ursprüngliche Information invertiert, sodass hell viel Wasserdampf bedeutet und dunkel wenig [vgl. KÖP-12]. Grundsätzlich gilt, dass mit der Höhe die Feuchtigkeit der Atmosphäre generell abnimmt, sodass der primäre Strahlungsbeitrag aus der niederen und mittleren Troposphäre stammt - die helleren Regionen eines WV-Bildes weisen also hohe Feuchtigkeit in der oberen Troposphäre auf, während bei dunkleren von einer trockenen oberen Troposphäre ausgegangen werden kann [vgl. KEL-07].

3.3.4 MV-Kanal

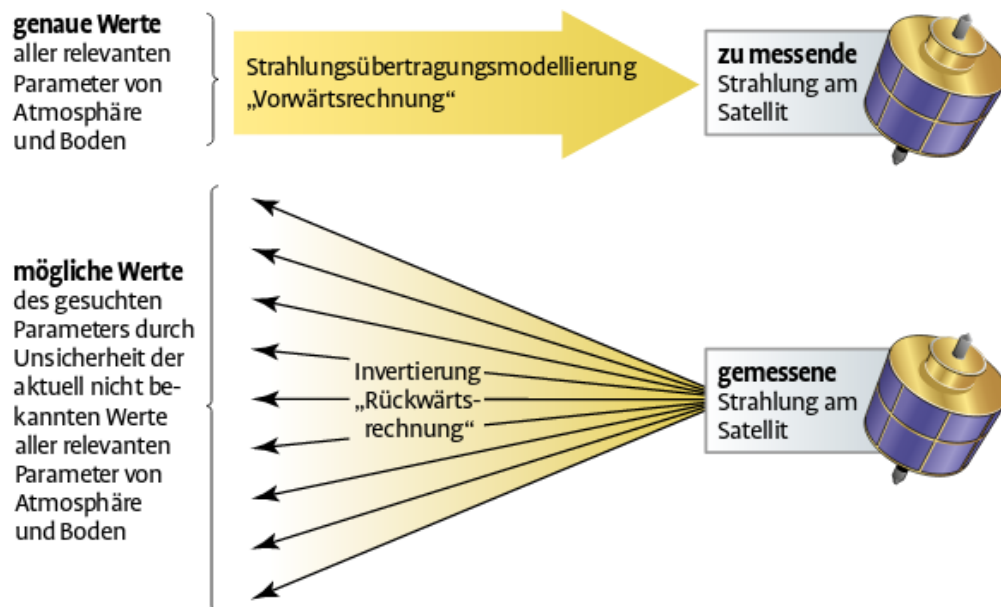
Einer der Haupteinsatzzwecke von Mikrowellen-Aufnahmen in der Meteorologie ist die Beobachtung der Augen tropischer Wirbelstürmen (Zyklone, Hurrikane und Taifune), da diese im VIS- und IR-Kanal meist von Cirruswolken verdeckt werden [vgl. KEL-07].

3.4 Invertierungsproblem

Ein grundlegendes Problem der satellitengestützten Wolkenerfassung (bzw. generell Fernerkundung) ist die sogenannte Invertierungsproblematik. Diese handelt davon, dass am Satelliten immer nur die Strahlung der Parameter von Boden und Atmosphäre gemessen wird, die aber grundsätzlich erst in die gesuchte Größe "invertiert" werden muss (siehe Abb. 8), da man nicht weiß, wovon die Strahlung ursprünglich stammt. Man unterscheidet deswegen zwischen der "Vorwärtsrechnung" (zu messende Strahlung) und der Invertierung bzw. "Rückwärtsrechnung" (gemessene Strahlung). So sind z.B. Wolken (weiß, hellgrau) über dem Ozean (dunkel) im sichtbaren Spektrum leicht zu erkennen, Wolken über Schnee aber ungleich schwieriger. Ein weiteres Problem ergibt sich, wenn Wolken so klein sind, dass sie potentiell nur einen Teil des Pixels ausfüllen, wodurch es ungleich schwieriger wird, zu

ermitteln, was dieser ursprünglich überhaupt erfasst hat. In diesem Fall helfen Zusatzinformationen von Pixeln mit eindeutiger Information. [vgl. KÖP-12]

Um diese Problematiken zu lösen, gibt es komplexe "Retrieval" Algorithmen, die anhand von Sensitivitätsstudien ermitteln, ob und wie stark die Strahlung von unterschiedlichen Parametern beeinflusst wird um dadurch besser auf die ursprüngliche Größe zu schließen. [vgl. KÖP-12]



Quelle: [KÖP-12]

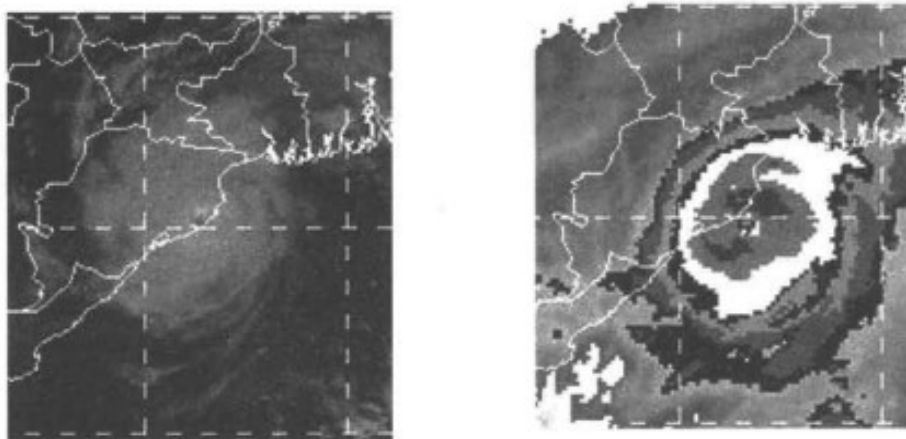
Abb. 8: Darstellung des Invertierungsproblems bzgl. der Abweichungen von zu messender und gemessener Strahlung am Satellit

3.5 Von gemessener Strahlung zum Bild

Grundsätzlich werden die von den jeweiligen Instrumenten gemessenen Informationen innerhalb eines Radiometerkanals nur in einer simplen Signalstärke gemessen, wobei schwarz keine gemessene Strahlung ausdrückt und weiß maximale Strahlung. Jedes Bild eines Kanals ist also ursprünglich ein schwarz/weiß Bild bzw. Helligkeitsstufen bei gegebener Farbe. Frühere Satellitenbilder wie von Meteosat wurden deswegen für die Präsentation im Fernsehen oft mit einer Basemap hinterlegt, um Zuschauern ein "gewohntes" Bild liefern zu können. [vgl. KÖP-12]

Die Kanäle der ersten Meteosat Generation hatten relativ breite Spektralbereiche im VIS-Bereich, bei $6.7\mu\text{m}$ für WV und bei $10\mu\text{m}$ IR im Bereich des atmosphärischen Fensters. Das Problem eines breiten Kanals jedoch ist, dass relativ viel Information auf einen einzelnen Helligkeitswert reduziert wird, wodurch sich dementsprechend schwierig die Invertierung auf die ursprüngliche Information gestaltet. Unter anderem aus diesem Grund hatte der Nachfolger Meteosats, Meteosat Second Generation (MSG), auch in jedem dieser Bereiche mehr und engere Kanäle, wodurch die Information viel expliziter wurde. Hier zeigt sich auch der Vorteil von Satelliten mit mehreren Sensoren an Bord, da diese eine Verbesserung der Zusatzinformation und dadurch auch eine bessere Invertierung ermöglichen. [vgl. KÖP-12]

Die Helligkeit von Informationen eines Kanals wurde dabei früher für gewöhnlich panchromatisch in Graustufen mit 8-bit kodiert, was Werte zwischen 0 und 255 ermöglicht [vgl. KEL-07]. Neuere Modelle hingegen stellen auch mehr Bit pro Kanal zur Verfügung wie z.B. der 2008 gestartete GeoEye mit 11-bit oder der 2013 gestartete LANDSAT-8 mit 16-bit (65536 verschiedene Helligkeitsstufen) [vgl. LOY-13]. In der Kombination mehrerer Kanäle z.B. im Spektrum von Rot, Grün und Blau lassen sich mit 8-bit pro Kanal True Color Bilder mit 24-bit erzeugen. "Echtfarben" sind hingegen selten, meist handelt es sich um Falschfarben-Darstellungen mit der Kombination verschiedener Kanäle, wobei die Farben für gewöhnlich so gewählt werden, um gewohnte Beobachtungserfahrungen, also weiße Wolken z.B., widerzuspiegeln [vgl. KÖP-12]. Um die Lesbarkeit verschiedener Phänomene zu erhöhen, werden für Endprodukte auch diverse Verfahren wie Histogramm-Anpassungen oder Lookup-Tables angewandt (z.B. um den Kontrast zu erhöhen etc. oder gesuchte Größen direkt zu invertieren; dabei handelt es sich um Nachschlagetabellen, die zu den Messwerten eines Satelliten die jeweiligen Werte der jeweiligen meteorologischen Größe angeben, Beispiel siehe Abb. 9), aber auch die Kombination der Bilder aus verschiedenen Sensoren ist möglich, wenn also z.B. Bilder niedriger räumlicher Auflösung aus dem VIS-Bereich mit Aufnahmen hoher Auflösung aus dem IR-Bereich kombiniert werden, um so farbige Bilder höherer Auflösung zu erzeugen (dieses Verfahren heißt auch "Pan Sharpening") [vgl. LOY-13].



Quelle: [KEL-07]

Abb. 9: Aufnahme eines Zyklons vor der Bildverbesserung (links) und nach der Verbesserung (rechts); klar zu erkennen ist nun die Differenzierung des Zyklon-Auges

3.5.1 Satellitenbildprodukte: Bearbeitungsstufen und "Levels"

Satellitendaten bzw. "Satellitenbildprodukte" werden in verschiedenen Bearbeitungsstufen bzw. "Levels" veröffentlicht, wobei niedrige Levels meist noch Rohdaten beinhalten und höhere Stufen quasi fertige Präsentationen in gängigen Bildformaten darstellen. Der große Vorteil dieser hierarchischen Unterteilung liegt einerseits in der schnelleren Verfügbarkeit der simpleren Produkte, sowie bei der Verbesserung von Algorithmen und daraus auch bereits ausgewertete Daten in bessere Endprodukte invertieren zu können [vgl. KÖP-12].

- Level 0: Bei diesen Produkten handelt es sich um unbearbeitete Rohdaten, eine "am Satelliten gemessene Strahldichte von einem Kanal, einem Ort und einer Richtung in Form einer Signalspannung als digitaler Wert" [KÖP-12]. Diese Rohdaten können als

Graustufen-Darstellung interpretierbar gemacht werden, wobei laut [KÖP-12] heutige Satellitendaten mit 10 Bit, also 1024 unterschiedliche Graustufen, pro Kanal digitalisiert werden [vgl. KÖP-12].

- Level 1: Diese Daten beschreiben bereits in Graustufen übergeführte Strahldichten bzw. -intensitäten, wobei bereits eine Kalibrierung bezüglich Sensorparameter stattgefunden hat, Ausfälle überprüft und eine geographische Projektionstransformation stattgefunden hat. Es gilt aber festzuhalten, dass nicht alle Organisationen ihre Level 1 Daten äquivalent definieren und z.B. auch Zwischenstufen wie 1.5 oder 1a und 1b stattfinden. Grundlegende Artefakte, basierend auf z.B. Sensorenfehlern, werden bei diesem Level eliminiert. [vgl. KÖP-12]

Laut [SOK-13] handelt es sich bei der NASA bei Level 1A Daten um rekonstruierte, unverarbeitete Instrumentendaten mit voller, ursprünglicher Auflösung, die allerdings zeitlich referenziert und mit Anmerkungen (aber nicht angewandten) bezüglich geometrischen und radiometrischen Kalibrierungsinformationen und angehängten Georeferenzierungsparametern, die allerdings noch nicht auf die Level 0 Daten angewandt wurden.

Bei 1B Daten handelt es sich um Daten, bei denen noch keine geometrische Korrektur von Fehlern aufgrund der Bewegung des Satelliten relativ zur Erdbewegung stattgefunden hat [vgl. SOK-13].

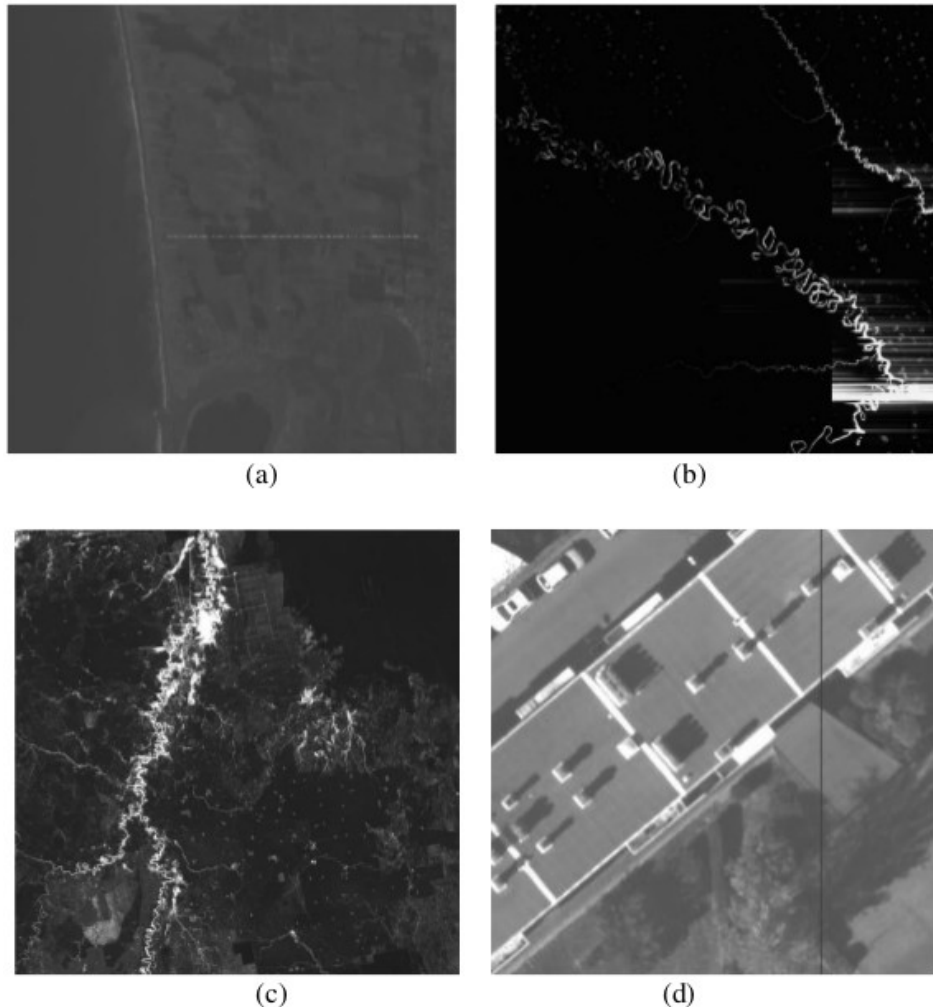
- Level 2: Dies sind Daten, die diverse abgeleitete geophysikalische Variablen inkludieren [vgl. SOK-13], also "meteorologische oder geophysikalische Parameter als Funktion des Ortes und der Zeit" [KÖP-12]. Sie weisen also eine (zumindest grundlegende) Georeferenzierung auf und wurden vom Großteil möglicher Bildartefakte bereinigt. Zum Beispiel wird bei diesen Daten bei der Temperatur eines Körpers die Länge des Strahlungsweges in der Atmosphäre oder der Sonnenstand zum Zeitpunkt der Messung berücksichtigt - es werden also bereits Invertierungsalgorithmen angewandt, die die Zusammenhänge zwischen diversen geophysikalischen Größen wiedergeben. [vgl. KÖP-12]
- Level 3: Bei diesen Daten handelt es sich um Produkte die aus weiteren Bearbeitungsschritten entstehen [vgl. KÖP-12] und meist Konsistenz und Vollständigkeit aufweisen [vgl. SOK-13]. Diese Daten wurden also bereits mittels eines digitalen Höhenmodells orthoreferenziert und sind gut geeignet, um die Daten eines größeren Gebietes zu mosaikieren.

3.6 Artefakte und mögliche Fehler in Satellitenbildern

Es wurde nun bereits mehrmals der Begriff "Artefakt" erwähnt, um anzuführen, dass damit mögliche Bildstörungen gemeint sind. In diesem Kapitel soll dieser Begriff präzisiert und einheitlich definiert und eine grundlegende Einführung in mögliche Bildartefakte und deren Ursache gegeben werden.

Grundsätzlich werden mit dem Begriff Artefakt alle künstlichen Strukturen und unerwünschte Störungen in Bildern (bzw. Daten) definiert. Dabei können diese Störungen in verschiedenen Phasen der Bilderzeugung produziert werden, angefangen beim ursprünglichen Empfangen der Signale, bei der Fehler über instrumentelle Effekte wie Sensoren-Übersättigung oder beim A/D-Wandeln (Analog-Digital) auftreten können. Dazu zählen auch durch physikalische Effekte wie Sunlint (die vom Sensor empfangene Reflexion der Sonne über

großen Wasserflächen) bedingte Störungen. Des Weiteren können Aliasingeffekte (also Treppeneffekte) auftreten, wenn z.B. hochauflösende Strukturen durch unzureichende Sensorenauflösung nicht akkurat abgebildet werden können und dann in einem Pixel generalisiert werden. Eine weitere Fehlerquelle ist abschließend die Datenverarbeitung (Data-Processing), bei der z.B. durch (destruktive) Kompressionsalgorithmen weitere Artefakte erzeugt werden können (z.B. 8x8 Pixel Kachelung bei JPGs). Das Entstehen bzw. die Quelle von Artefakten ist entweder bekannt oder unbekannt, manchmal vorhersagbar, andere sind durch mathematische Modelle zu beschreiben (und dadurch relativ leicht zu eliminieren), während andere durch zufällige Störungen auftreten können. Abb. 10 zeigt beispielhaft einige auftretende Artefakte bei SPOT-Satelliten. [vgl. GON-13 und LUN-91]



Quelle: [GON-13]

Abb. 10: Beispiele für mögliche auftretende Artefakte anhand Bilder von SPOT-Satelliten: a) A/D-Wandler Probleme, b) Sättigungspfade (Trailing Charges), c) Sensoren-Übersättigung und d) unkorrigierte tote Pixel (dead pixels)

Gliedert man die Artefakte nach dem Grund ihres Entstehens, zeigt sich folgende Auflistung [nach GON-13]:

- Sonne
- Atmosphäre
- Abgebildete Erdoberfläche

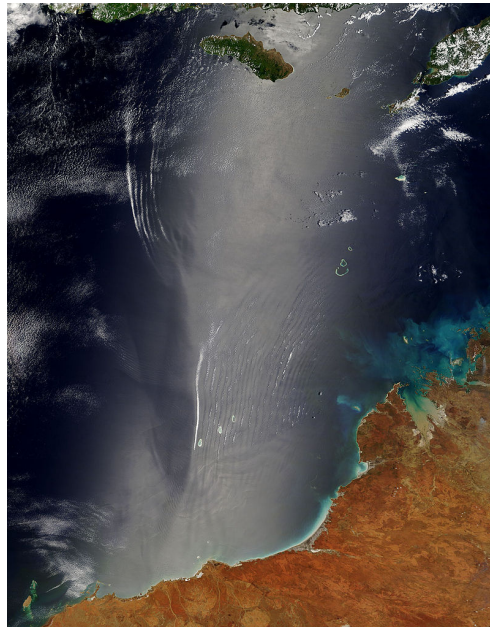
- Spektralfilter
- Sensor
- Auslese-Elektronik
- A/D-Wandler
- Datenkompression
- Radiometrische Korrekturen
- Geometrische Korrekturen

Im Folgenden soll in aller Kürze auf die dadurch entstehenden Artefakte und mögliche Lösungen eingegangen werden (für Details sei auf die Fachliteratur verwiesen, z.B. [LUN-91] und [GON-13]). Prinzipiell werden aber die meisten Artefakte bei der Verarbeitung von Level-0 auf Level-1 eliminiert (zumindest jene Artefakte, die nicht erst durch weitere Bearbeitungsschritte, destruktive Kompressionen etc. entstehen).

3.6.1 Sonne

Durch die Sonne können folgende Artefakte erzeugt werden:

- Schrotrauschen (Photon Noise): Dies entsteht durch die diskrete Natur der Lichtpakete (Photonen), indem der Photonenstrom fluktuiert, er also nicht gleichmäßig von einer Strahlungsquelle emittiert wird und dadurch bei Quellen schwacher Strahlung (also z.B. Dunkelheit) punktuelle Helligkeitsunterschiede entstehen. Eine mögliche Korrektur ist das Überlagern mehrerer, gleicher Bilder, um das Rauschen auszugleichen. [vgl. GON-13]
- Sonnenstand: Durch den Sonnenstand wird bestimmt, wie viel Strahlung auf die Erdoberfläche trifft, dementsprechend ändert sich auch die Reflexion und damit Strahlungsintensität, die auf den Satellitensensor trifft. Gleichmaßen sorgt der Sonnenstand für eine Aufheizung der Erdoberfläche, wodurch sich im IR-Bereich ebenfalls die Intensität der emittierten Strahlung ändert. Zur Eliminierung bieten sich relativ einfache trigonometrische Formeln an, soweit die benötigten Parameter aus den Metadaten des Bildes bekannt sind. Ein weiteres, bereits erwähntes Artefakt ist der sogenannte Sunlint, ("Sonnen-Glitzern"), wenn die Reflexion der Sonnenstrahlen auf größeren Wasseroberflächen im gleichen Winkel auf den Satellitensensor trifft, wie dieser die Strahlung empfängt (siehe Abb. 11). [vgl. GON-13]



Quelle: [SCH-06]

Abb. 11: Sunglint im Mittelmeer oberhalb Nordafrikas

- Entfernung Sonne-Erde: Durch die Entfernung Sonne-Erde kann sich die Helligkeit der Bilder ändern, da je nachdem unterschiedlich viel Strahlung auf der Erdoberfläche auftrifft. Dieser Effekt kann aber relativ einfach durch eine Korrekturformel behoben werden. [vgl. GON-13]

3.6.2 Atmosphäre

Wie bereits in Kapitel 3.6.1 dargelegt, kann durch die Atmosphäre Strahlung z.B. unterschiedlich gebrochen werden; im Detail können folgende Artefakte auftreten:

- Absorption: Die Atmosphäre absorbiert einen gewissen Anteil an Photonen bestimmter Wellenlängen; Variablen des Ausmaßes der Absorption können spezifischer Spektralbereich, Luftdruck, Temperatur und Spurengase wie Wasserdampf und Aerosol-Anteil sein. Zur Korrektur schlägt [GON-13] qualitativ hochwertige Modelle der Absorptionsparameter vor, wobei angeführt wird, dass diese (noch) nicht zur Nivellierung des Effektes genügen. [vgl. GON-13]
- Streuung: Ein weiteres physikalisches Phänomen ist die Streuung von Strahlung an der Atmosphäre; insgesamt gleich der Effekt bzw. die dadurch auftretenden Artefakte und empfohlene Korrekturmaßnahmen jenen der Absorption. [vgl. GON-13]
- Wolken und deren Schatten: Wolken verhindern die Aufnahme der darunter liegenden Erdoberfläche und Schatten, wobei es eine Reihe an Algorithmen und Methoden gibt, um diese "Artefakte" zu beheben (aus vielleicht naheliegenden Gründen wird im Zuge dieser Masterarbeit nicht weiters auf die Eliminierung von Wolken eingegangen). [vgl. GON-13]
- Dunst: Dunst bzw. Nebel kann den Bildkontrast senken und Details zerstören. Um dem gegenzusteuern kann man (histogrammbasierte) Kontrastverbesserungen

anwenden, allerdings können dadurch auch neue Artefakte auftreten (z.B. entlang Bild- bzw. Datenkanten). [vgl. GON-13]

- Aerosole: Ähnlich wie Dunst können auch Aerosole (gerade in gewissen Spektralbereichen) den Bildkontrast senken, dementsprechend bietet sich hier die gleiche Möglichkeit mittels Kontrastverbesserungen an. [vgl. GON-13]

3.6.3 Abgebildete Erdoberfläche

- Absorption: Auch an der Oberfläche können Absorptionseffekte auftreten - zum einen bei zu reflektierender Sonnenstrahlung, aber auch bei aktiven Sensorsystemen (z.B. Radar) - wodurch die Helligkeit mancher Oberflächen reduziert werden kann, wobei die Albedo einen großen Einfluss hat. Eine Korrektur ist nach [GON-13] prinzipiell nicht vorgesehen, da sie wichtig für die Interpretation der Bilder ist. [vgl. GON-13]
- Streuung: Grundsätzlich gleicht die Streuung an der Oberfläche der Problematik durch Absorption, wobei hier der Kontrast vermindert werden kann. [vgl. GON-13]
- Schatten: Diese können eine korrekte Klassifikation der Oberfläche verhindern (bei VIS-Spektralbereichen). [vgl. GON-13]

3.6.4 Spektralfilter

Spektralfilter dienen dazu, alle unerwünschten Spektralbereiche zu eliminieren. Einige Filter können jedoch "Lecke" aufweisen, wodurch dennoch Strahlung dieser unerwünschten Spektralbereiche das Bild "kontaminieren" kann und auch mehrfache Reflexionen auftreten können. [vgl. GON-13]

3.6.5 Sensor

Der Sensor bzw. genauer spezifiziert der Detektor desselben ist naturgemäß die potentielle Quelle einer Vielzahl an Artefakten, wobei je nach Sensortyp auch unterschiedliche Artefakte auftreten können. Die gängigsten davon sind thermisches Rauschen (weißes Rauschen durch thermische Bewegung der Ladungsträger), Geisterbilder (leicht versetzte Kopien eines Bildes bzw. Bildausschnittes), Blooming (heller Fleck um eine lokale Überbelichtung) und Verschiebungen des Farbbandes (durch geometrische Verschiebungen zwischen Farbsensoren). Die meisten davon können durch exakte Kalibrierung bzw. Nachkalibrierung, Interpolation einzelner fehlerhafter Pixel und die richtigen Methoden für den Umgang mit thermischem Rauschen eliminiert werden. [vgl. GON-13]

3.6.6 Auslese-Elektronik

Auch die Auslese-Elektronik ist eine potentielle Fehlerquelle für Artefakte, wodurch Tiefpass-Effekte (also Signale unterhalb eines gewissen Schwellenwertes werden ungehindert weitergegeben, während Signale oberhalb desselben gemindert werden), Rauschen und ähnliches auftreten können. Die Korrektur von Rauschen ist prinzipiell eher schwer, da dieses meistens nicht systematisch auftritt, wohingegen Tiefpass-Effekte durch Kalibrierung eliminiert werden können. [vgl. GON-13]

3.6.7 A/D-Wandler

Artefakte durch den A/D-Wandler treten durch Fehler bei der Umwandlung auf, dies beinhaltet z.B. Stuck Bits, also Bits die sich einen längeren Zeitraum über nicht mehr ändern (obwohl theoretisch anderer Input stattfände). Durch entsprechende Kalibrierung sind auch Fehler durch den A/D-Wandler meist gut zu kompensieren. [vgl. GON-13]

3.6.8 Datenkompression

Datenkompression findet bereits im Satellit vor dem Senden zur Ground Station ("Erdfunkstelle") selbst statt, um das zu transferierende Datenvolumen zu minimieren, wodurch Kompressionseffekte wie "Blocking" auftreten können. Um dem entgegenzutreten existieren zwar einige Methoden um Blocking-Effekte zu reduzieren, wodurch aber neuerliche Probleme wie reduzierte Bilddetails auftreten können. [vgl. GON-13]

3.6.9 Radiometrische Korrekturen

Die Werte eines Pixels beinhalten nicht nur die tatsächlich von der Oberfläche eines Objektes emittierte bzw. reflektierte Strahlung, sondern auch die durch die bereits erwähnte Streuung und Reflexion der Atmosphäre. Um aber auf die gewünschten Werte zu kommen, finden radiometrische Korrekturen statt. Finden diese Korrekturen nicht statt bzw. ist der dahinter liegende Kalibrierungsalgorithmus fehleranfällig bzw. ungenau, können diese Störungen zu Artefakten führen. [vgl. GON-13]

3.6.10 Geometrische Korrekturen

Bei geometrischen Korrekturen findet die Reprojektion auf eine (gängige) Kartenprojektion bzw. ein Koordinatenreferenzsystem statt, wodurch durch Resampling potentielle Fehler bzw. Artefakte auftreten können (Details siehe Kapitel 6.3). Dies betrifft nur höher-levelige Produkte, da z.B. Level 0 und 1 Produkte selten reprojiziert werden. [vgl. GON-13]

4 Vergleich bestehender real-time Cloud Covers

In diesem Kapitel sollen bereits bestehende globale Cloud Covers einer näheren Betrachtung unterzogen werden, um ihre qualitativen und quantitativen Attribute hinsichtlich ihrer multimedialen Eignung für den taktilen Hyperglobus zu ermitteln und in gegenseitigen Vergleich zu setzen.

Als qualitative und quantitative Attribute sollen folgende Parameter (sofern eruierbar) dienen:

- Aktualisierungsintervall
- Datenverfügbarkeitsdauer
- Verfügbare Auflösungen
- Verfügbare Formate
- Farbmodus
- Artefakte
- Datenquelle Wolken
- Datengrundlage Basemap
- Datenvisualisierung
- Lizenzart/Copyright
- Kosten
- Sonstige "Bildstörungen"

Dadurch soll erreicht werden, die gegenwärtig verfügbaren Cloud Clovers vergleichbar zu machen, um so in einem späteren Arbeitsschritt auf diesen Stärken und Schwächen ein Anforderungsprofil für einen neu zu generierenden Datensatz zu erstellen.

Um für den taktilen Hyperglobe direkt nutzbar zu sein, müssen die finalen Datensätze als quadratische Platkarte in einem 2:1 Format mit einer Auflösung von mindestens 2048x1024 Pixel in einem gängigen Grafikformat vorliegen (z.B. JPG oder PNG).

Der Untersuchungsfokus soll hierbei im Sinne des Themenfokus dieser Arbeit klar auf (quasi) real-time Daten liegen - Prognosen und rein statische, historische Aufnahmen sollen bewusst ausgeklammert werden, weswegen hier nur Daten Beachtung finden sollen, die einem (einigermaßen) aktuellem Aktualisierungszyklus unterliegen. Die ESA führt dabei in ihrem Sentinel-2 User Handbook folgende Differenzierung bzgl. der Aktualität von Daten durch [vgl. ESA-15]:

- Real-Time (RT): Onlineverfügbarkeit nach spätestens 100 Minuten
- Near Real-Time (NRT): Onlineverfügbarkeit von 100 Minuten bis 3 Stunden
- Nominal: Onlineverfügbarkeit von 3 – 24 Stunden nach Erfassung am Satelliten

Diskutabel ist gewiss, dass die Daten einen gewissen Qualitätsstandard (also im Sinne Rohdaten $\Leftrightarrow$ fertiges Produkt) inne haben sollen - Ziel soll aber sein, möglichst fertige Visualisierungen auf dem taktilen Hyperglobus präsentieren zu können, ohne noch groß weitere Bearbeitungen bzw. Bildmanipulationen durchführen zu müssen (diskutabel insofern,

als dass im Gegensatz zu homogenen Darstellungen der globalen Wolkensituation über der physischen Darstellung der Erdoberfläche reine Wolkenlayer den Vorteil haben, als weiterer thematischer Layer auf beliebig vielen Globenvisualisierungen darstellbar zu sein).

4.1 Science On a Sphere (SOS)



Quelle: [SOS-16b]

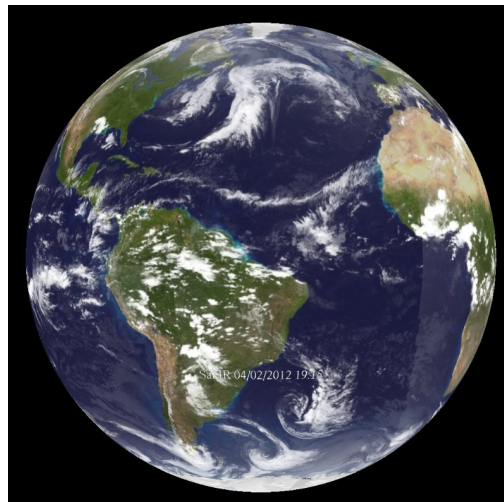
Abb. 12: Science On a Sphere Installation in Daegu National Science Museum

Science On a Sphere (SOS), dargestellt in Abb. 12, ist ein integriertes System aus Videoprojektoren und Hardware, das mittels vier Außenprojektoren (optional animierte) Bilder auf eine Kugeloberfläche aus Kohlenstofffaser projiziert, wobei jeder der Projektoren für den jeweils eigenen Quadranten zuständig ist (vgl. [SOS-16b]). Im Detail handelt es sich damit nach Riedl [RIEb-10a] um einen taktilen Hyperglobus mit äquatorialer Außenprojektion (vgl. [SOS-16b]).

Das Projekt wird von der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), der nationalen Wetter- und Ozeanographiebehörde der Vereinigten Staaten, verwaltet und wurde von deren Leiter Dr. Alexander MacDonald 1995 erfunden. Ein erster Prototyp wurde im selben Jahr entwickelt, der Versuch eines ersten Komplettsystems erfolgte 2000 und 2005 wurde schließlich ein entsprechendes Patent für das finale System vergeben. SOS lässt neben der statischen und animierten Wiedergabe visueller Medieninhalten auch die auditive Unterstützung mittels Musik und/oder Audio-Kommentare zu, wodurch sich das System für die Präsentation „Digital Global Stories“ eignet (Details hierzu siehe [WIN-12]). (vgl. [SOS-16a] und [SOS-16b])

Grundsätzlich unterliegen die digitalen Medien der NOAA (also alle Visualisierungen, Photographien, Video- und Audioaufnahmen) bis auf wenige Ausnahmen keinerlei Copyright Bestimmungen ("public domain" Lizenz), solange bei potentieller Weiterverwendung die Quellenherkunft entsprechend deklariert wird (vgl. [SOS-16b]). Im November 2016 enthielt der Daten-Katalog der SOS 519 Stories, wobei im Folgenden drei dieser Stories bzw. deren Medienmaterialien aufgrund ihrer thematischen Relation zu dieser Arbeit einer näheren Betrachtung unterzogen werden sollen.

4.1.1 Clouds – Real-time



Quelle: [SOS-16b]

Abb. 13: SOS „Clouds – Real-time“ Datensatz auf einem virtuellen Hyperglobus dargestellt

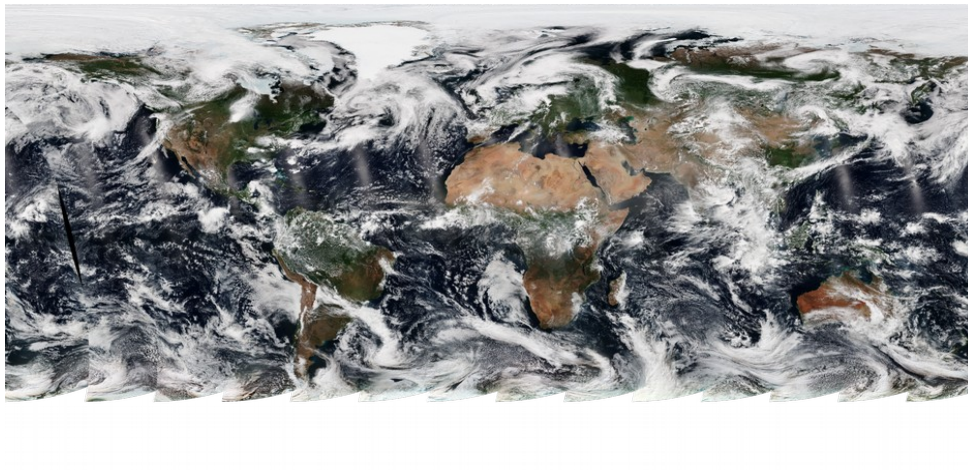
SOS' „Cloud – Real-time“ Datensatz (siehe Abb. 13) existiert seit Jänner 2010 und beinhaltet Daten von MTSAT, GOES und Himwari-8. Die einzelnen Cloud Covers werden durch eine Kombination verschiedener Satellitenbilddaten zusammengesetzt: Geostationary Operational Environmental Satellites (GEOS), Meteosat und MTSat (Details hierzu siehe auch Kapitel 1.4). Die Wolkensituation, auf der „Blue Marble“ (quasi die „Basemap“ der meisten SOS – Themen, primär aus kombinierten MODIS-Terra Daten zusammengestellt) dargestellt, wird mittels verschiedener Graustufen präsentiert, wobei die tiefsten Wolken als helles Grau und die höchsten weiß dargestellt werden. Die Daten sind für einen Zeitraum von 30 Tagen verfügbar, sind allerdings von einem passwortgeschütztem FTP-Server geschützt und deshalb nicht direkt für private Benutzer abrufbar. [vgl. SOS-16b]

Aktualisierungsintervall	Nicht feststellbar
Datenverfügbarkeitsdauer	30 Tage
Verfügbare Auflösungen	Nicht feststellbar
Verfügbare Formate	Nicht feststellbar
Farbmodus	sRGB 24-bit, farbig
Artefakte	Nicht feststellbar
Datenquelle Wolken	GEOS, Meteosat, MTSat
Datengrundlage Basemap	Science On a Sphere „Blue Marble“
Datenvisualisierung	Nicht feststellbar
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information), aber nicht öffentlicher FTP-Server
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	ftp://ftp.sos.noaa.gov/sosrt/rt/noaa/sat/linear/

Quelle: [SOS-16b]

Tab. 2: Übersicht der Attribute des „Clouds – Real-time“ Datensatzes

4.1.2 Earth in True Color (daily) - Real-time

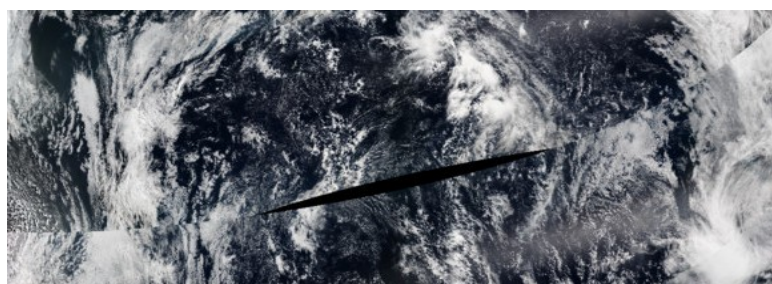


Quelle: [SOS-16b]

Abb. 14: SOS „Earth in True Color (daily)“, skaliertes Originaldatensatz

Ebenfalls von der NOAA im Rahmen ihres Science on a Sphere Programms stammt dieser Datensatz (siehe Abb. 14), der seit August 2015 existiert. Anders als bei „Clouds – Real-time“ stammen die Grundlagen-Daten der Visualisierung „Earth in True Color (daily)“ aber von der „Visible Infrared Imaging Radiometer Suite“ (VIIRS) des Suomi NPP Satelliten (Details siehe Kapitel 1.4). Hierbei wird aus den drei Farbkanälen Rot, Grün und Blau, die den in diesen Wellenlängen besonders empfindlichen Kanälen 5, 4 und 3 der VIIRS entspricht, ein photorealistisches Bild generiert, bei dem sich sogar die saisonalen Änderungen von See-Eis und der Vegetation erkennen lassen. Die VIIRS Bilder weisen eine Auflösung von 750m pro Pixel auf und werden täglich generiert, wobei die Daten jeweils ein Jahr lang verfügbar bleiben. [vgl. SOS-16b]

Die Visualisierung weist helle diagonale Nord-Süd Streifen über den Ozeanen auf, den sogenannten „Sun Glint“, der durch die Reflexion von Sonnenlicht auf größeren Wasserflächen entsteht [vgl. SOS-16b]. Ebenfalls für diesen Datensatz archetypisch sind durch die Mosaikierung der Originaldaten und die spezifische Satellitenflugbahn an der Datumsgrenze über dem Pazifik auftretende Artefakte (siehe Abb. 15). Ebenfalls typisch sind die fehlenden Daten um Arktis bzw. Antarktis zu den jeweiligen Winter-/Sommermonaten.



Quelle: [SOS-16b]

Abb. 15: Auftretende Artefakte über dem Pazifik bei „Earth in True Color (daily)“ (um 90° im Uhrzeigersinn gedreht)

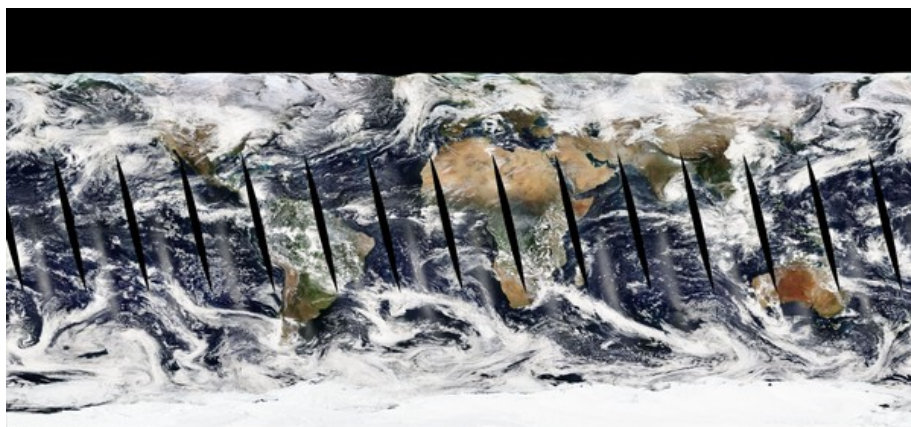
Aktualisierungsintervall	24-Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	14 Monate
Verfügbare Auflösungen	2048 x 1024, 4096 x 2048 Pixel
Verfügbare Formate	PNG
Farbmodus	sRGB 24-bit, farbig
Artefakte	„Sun Glint“, einzelne Missing Data Artefakte bei Datumsgränze, NoData in Polnähe je nach Jahreszeit
Datenquelle Wolken	VIIRS - Suomi NPP Satelliten
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	NOAA Environmental Visualization Laboratory
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	ftp://public.sos.noaa.gov/rt/true_color/

Quelle: [SOS-16b]

Tab. 3: Übersicht der Attribute des „Earth in True Color (daily)“ Datensatzes

4.1.3 Satellite Swath – Real-time

„Satellite Swath – Real-time“ (seit Oktober 2012), entstammt ebenfalls der Datenschmiede der NOAA, anders aber als zum Beispiel „Clouds Real-time“ haben die Daten dieser Visualisierung ihren Ursprung allein in den MODIS Instrumenten des Aqua-Satelliten. Aufgrund dessen spezifischen Field of View bzw. Schwadbreite weist dieser Datensatz deswegen, neben dem typischen „Sun Glint“ über großen Wasserflächen, große Artefakte in Äquatornähe auf (siehe Abb. 16). Daneben existieren, durch die Abhängigkeit zu sichtbarem Licht bedingt, in den jeweiligen Winter- bzw. Sommermonaten an den beiden Polen größere Datenlücken. Die Bilder werden, ähnlich wie bei „Earth in True Color“, durch die drei, sichtbares Licht erfassenden Kanäle, der jeweiligen Längenwellenbereiche Rot, Grün und Blau generiert. Die Bilder werden mit drei Tagen Verzögerung quasi in Echtzeit generiert und stehen danach für jeweils eine Woche zur Verfügung.



Quelle: [SOS-16b]

Abb. 16: SOS „Satellite Swath – Real-time“, skaliertes Originaldatensatz

Aktualisierungsintervall	24-Stunden (zusätzlich 3 Tage Verzögerung)
Datenverfügbarkeitsdauer	7 Tage
Verfügbare Auflösungen	3600 x 1800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit, farbig
Artefakte	„Sun Glint“, NoData in Äquator- und Polnähe je nach Jahreszeit
Datenquelle Wolken	MODIS - Aqua Satellit
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	NASA Earth Observations (NEO)
Lizenart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	ftp://public.sos.noaa.gov/rt/modis/

Quelle: [SOS-16b]

Tab. 4: Übersicht der Attribute des „Satellite Swath – Real-time“ Datensatzes

4.2 XPlanet Cloud Map

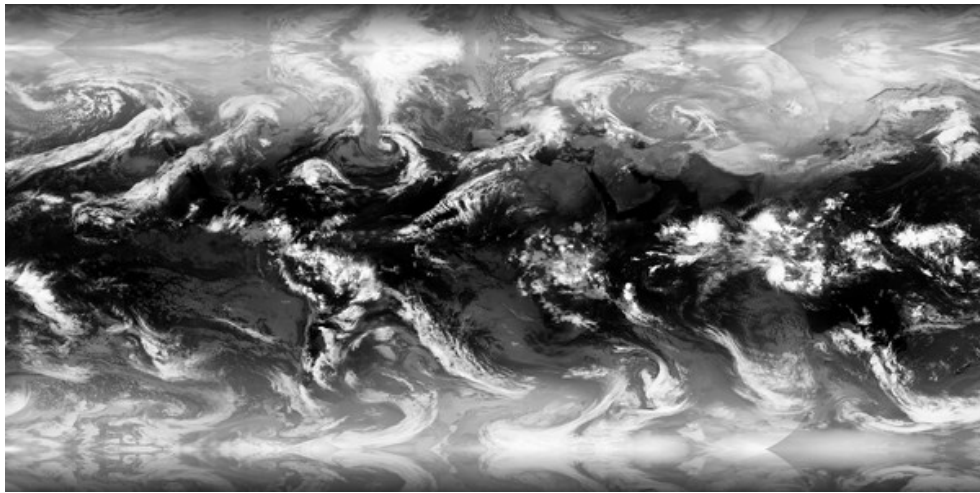
Xplanet wurde ca. 2002 von Hari Nair, Mitglied des Applied Physics Laboratory der Johns Hopkins University, ins Leben gerufen und visualisiert ein virtuelles Planetarium mit variablen Texturen. In diesem Zuge werden auch als "XPlanetClouds" drei Sätze globaler, automatisch generierter, monochromatischer Real-time Cloud Cover Mosaike exemplarisch dargestellt (siehe Abb. 17). Diese unterliegen im Gegensatz zu den Datensätzen der NOAA proprietärer Nutzung und ziehen je nach Auflösung verschiedene Kosten mit sich:

- 2048 x 1024: 15,- US Dollar
- 4096 x 2048: 45,- US Dollar
- 8192 x 4096: 90,- US Dollar

Die Preise verstehen sich hierbei als einjährige Lizenzgebühr.

Die Bilder selbst werden aus einer Komposition aus Infrarot-Daten von GOES, METEOSAT, und GMS generiert und unterliegen einem dreistündigen Aktualisierungsintervall. Weiters ist zu beachten, dass pro Aktualisierungsintervall pro Lizenz-Account nur drei Downloads möglich sind. Auffallend bei diesem Datensatz sind die Daten-Redundanzen bzw. Spiegelungen in hohen Breitengraden um Arktis und Antarktis, die wohl der Kaschierung der "NoData" Bereiche dort dienen sollen. [vgl. XPL-16]

Als weitere Artefakte treten auffallende Helligkeitsunterschiede auf (siehe Abb. 17, rechte obere Bildhälfte).



Quelle: [XPL-16]

Abb. 17: Monochromatisches Bild von XplanetClouds

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	3 Stunden
Verfügbare Auflösungen	2048 x 1024, 4096 x 2048, 8192 x 4096 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit, S/W
Artefakte	Redundanzen in Polnähe, Helligkeitsunterschiede
Datenquelle Wolken	GOES, METEOSAT, und GMS
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	XPlanet
Lizenzart/Copyright	proprietär, jährliches Abonnement
Kosten	15 US\$, 45 US\$, 90 US\$
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	http://xplanetclouds.com/clouds/8192/clouds_8192.jpg

Quelle: [XPL-16]

Tab. 5: Übersicht der Attribute des „XPlanet Clouds“ Datensatzes

4.3 NASA Earth Observations (NEO)



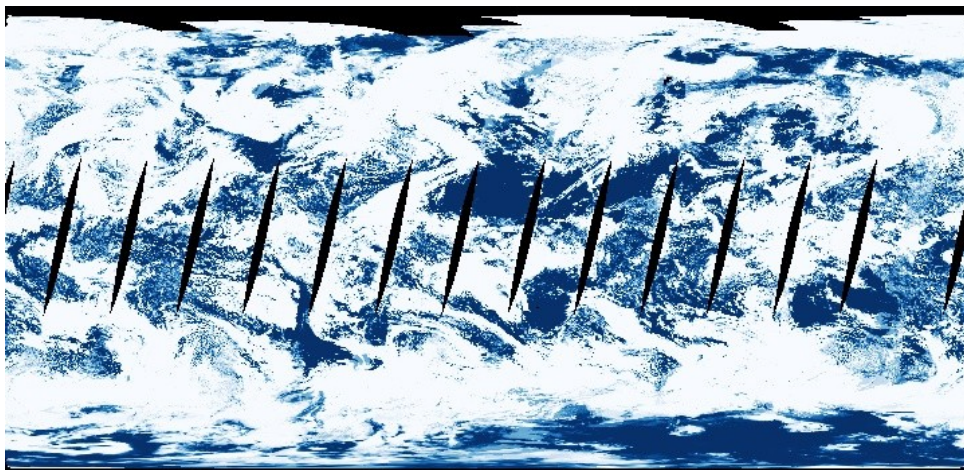
Quelle: [NEO-16]

Abb. 18: NASA Earth Observations (NEO) Logo

Earth Observations (NEO) (Logo siehe Abb. 18) ist ein Teil des NASA Earth Observing System Projekts (EOS, Details siehe Kapitel 2) und hat sich die Aufgabe gestellt, die in dessen Zuge gewonnenen Satellitenbilder bzw. die daraus resultierenden Visualisierungen so

leicht wie möglich zugänglich zu machen [vgl. NEO-16]. Wie bei SOS der NOAA stammen viele der Visualisierungen aus ähnlichen Quellen (z.B. NOAA Environmental Visualization Laboratory), wodurch thematische Redundanzen bestehen, im Unterschied dazu liegt aber der Fokus des NEO Portals weniger auf die fertige Aufbereitung der Daten für den taktilen Hyperglobus, sondern stellt noch eine größere Nähe zu Rohdaten und deren Weiterverwendung her, indem z.B. mehrere verschiedene Formate (JPG, PNG, CSV, GeoTIFF, Google KML, etc.) und Auflösungen (von 360 x 180 bis 3600 x 1800 Pixel) eines Datensatzes angeboten werden. Des weiteren stehen die Daten auf dem NEO-Portal meist für einen längeren Zeitraum zur Verfügung. Die Daten sind entweder über eine Webmaske verfügbar, können als WMS in ein entsprechendes GIS eingebunden oder über FTP heruntergeladen werden. Copyrighttechnisch unterliegen die Daten des NEO-Portals den gleichen Restriktionen wie die von SOS (keine explizite Lizenz, Deklaration der Quellenherkunft bei weiterer Nutzung).

4.3.1 Cloud Fraction



Quelle: [NEO-16]

Abb. 19: NASA Earth Observations "Cloud Fraction", Terra/MODIS

An der Grenze zu Rohdaten rangieren die Visualisierungen des NASA Earth Observations (NEO), die basierend auf Daten der Aqua bzw. Terra Satelliten mithilfe ihres MODIS-Instruments die tägliche bzw. über einen Zeitraum von acht Tagen oder einem Monat kumulierte globale Wolkensituation im Sinne von "Cloud Fractions" darstellen (siehe Abb. 19). "Cloud Fractions" werden von der NASA als Prozentsatz definiert, mit der ein Pixel bzw. eine Gitterbox von Wolken bedeckt ist [NEO-16]. Die Datensätze werden täglich generiert und sind seit 2000 verfügbar. Sie liegen als Graufstufenbilder oder mit bipolarer Farbskala (von blau = keine Wolkenbedeckung bis weiß = bedeckt) vor und werden in verschiedenen Auflösungen (360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720 oder 3600 x 1800) zur Verfügung gestellt.

Cloud Fractions wird aus dem "MODIS Cloud Mask" Produkt (MOD 35) generiert, indem zuerst für jede Pixel-Zelle (Auflösung 1km) mittels eines Algorithmus Schwellenwerte im sichtbaren- und infrarot-Bereich des Lichts gesetzt werden, um zu ermitteln, ob dort mit welcher Wahrscheinlichkeit der Blick auf die Erdoberfläche frei oder durch potentielle Wolkenbedeckung behindert wird, wobei unterschiedliche Algorithmen je nach Bodenbedeckung (also z.B. Wasserflächen, Wüste, etc.) Anwendung finden. Die für Wolkenbedeckung relevanten Werte rangieren zwischen 0.66 (geringe Wahrscheinlichkeit für

freie Sicht auf die Erdoberfläche) bis 0.95 (hohe Wahrscheinlichkeit für freie Sicht). Diese Werte werden weiteren räumlichen und zeitlichen Kontinuitätstests unterzogen, um zu ermitteln ob mit relativer Gewissheit davon ausgegangen werden kann, ob ein Pixel von Wolken bedeckt ist oder nicht. Die "Cloud Fraction" wird anschließend aus 5 x 5 Pixel großen Zellen berechnet, indem die Anzahl der bewölkten Pixel durch 25 geteilt wird und dementsprechend einen Wert zwischen 0 (nicht bedeckt) bis 1 (durchgehend bedeckt) ermittelt (siehe Abb. 20). [vgl. NEO-16]



Quelle: [NEO-16]

Abb. 20: Bipolare blau-weiß Colortable des "Cloud Fractions" Datensatzes

Die eintägigen Datensätze weisen die vom Aqua- bzw. Terra Satelliten gewohnten "NoData" Artefakte entlang des Äquators sowie jahreszeitbedingt entlang der Arktis bzw. Antarktis auf.

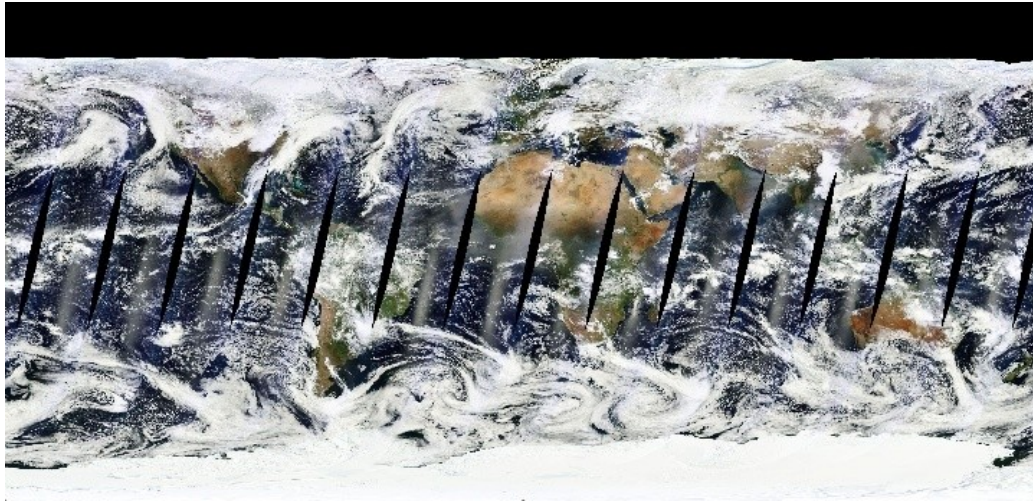
Aktualisierungsintervall	24 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	ab 2000
Verfügbare Auflösungen	360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720, 3600 x 1800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG, PNG, GeoTIFF (raster), GeoTIFF (floating point), CSV, KML
Farbmodus	sRGB 24-bit, S/W/bipolar (weiß-blau)
Artefakte	NoData in Äquator- und Polnähe je nach Jahreszeit
Datenquelle Wolken	GOES, METEOSAT, und GMS
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	NASA Earth Observatory
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Daten-URL	https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2_M_CLD_FR

Quelle: [NEO-16]

Tab. 6: Übersicht der Attribute des „2.3 NASA Earth Observations - Cloud Fractions“ Datensatzes

4.3.2 True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response

Dieser Datensatz ist inhaltlich quasi redundant zu "Satellite Swath" der SOS - der Unterschied besteht lediglich darin, dass im Gegensatz dazu auch Daten des Terra Satelliten (und nicht nur Aqua) verfügbar sind (siehe auch Abb.21). Ansonsten existieren die üblichen Unterschiede bezüglich Auflösung (360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720, 3600 x 1800 Pixel) und verfügbare Formate (JPG, PNG, GeoTIFF (raster), GeoTIFF (floating point), CSV, KML). Ein weiterer Unterschied besteht in der Datenverfügbarkeit: bei "Satellite Swath" sind es lediglich sieben Jahre, während hier rückblickend alle Daten ab 1. September 2006 verfügbar sind. [vgl. NEO-16]



Quelle: [NEO-16]

Abb. 21: NEO "True Color (1 day - Terra/MODIS Rapid Response)" Datensatz

Aktualisierungsintervall	24 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	ab 01.09. 2006
Verfügbare Auflösungen	360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720, 3600 x 1800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG, PNG, GeoTIFF (raster), KML
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	NoData in Äquator- und Polnähe je nach Jahreszeit
Datenquelle Wolken	MODIS Aqua & Terra Satellit
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	NASA Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD_143D_RR

Quelle: [NEO-16]

Tab. 7: Übersicht der Attribute des „2.3 NASA Earth Observations - Cloud Fractions“ Datensatzes

4.3.3 True Color Suomi NPP/VIIRS

Äquivalent wie "True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response" zu "Satellite Swath" verhält sich dieser Datensatz zu SOS' "Earth in True Color (daily) - Real-time", allerdings sind diese Daten direkt von der NOAA selbst aufbereitet (siehe auch Kapitel 2.1.2). Auch hier gelten ähnliche Parameter wie bei "True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response", sodass die Daten im Gegensatz zum SOS Datensatz schon ab 17.01.2014 und in unterschiedlichen Auflösungen (360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720, 3600 x 1800 Pixel) und Formaten (JPG, PNG, GeoTIFF(raster), KML) verfügbar sind.

Aktualisierungsintervall	24 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	ab 17.01. 2014
Verfügbare Auflösungen	360 x 180, 720 x 360, 1440 x 720, 3600 x 1800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG, PNG, GeoTIFF (raster), KML
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	„Sun Glint“, einzelne NoData Artefakte bei Datumsgrenze, NoData in Polnähe je nach Jahreszeit
Datenquelle Wolken	VIIRS - Suomi NPP Satelliten
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	NOAA Environmental Visualization Laboratory
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=VIIRS_543D

Quelle: [NEO-16]

Tab. 8: Übersicht der Attribute des „True Color Suomi NPP/VIIRS“ Datensatzes

4.4 Naval Research Lab (NRL) Monterey Marine Meteorology Division



Quelle: [NRL-17]

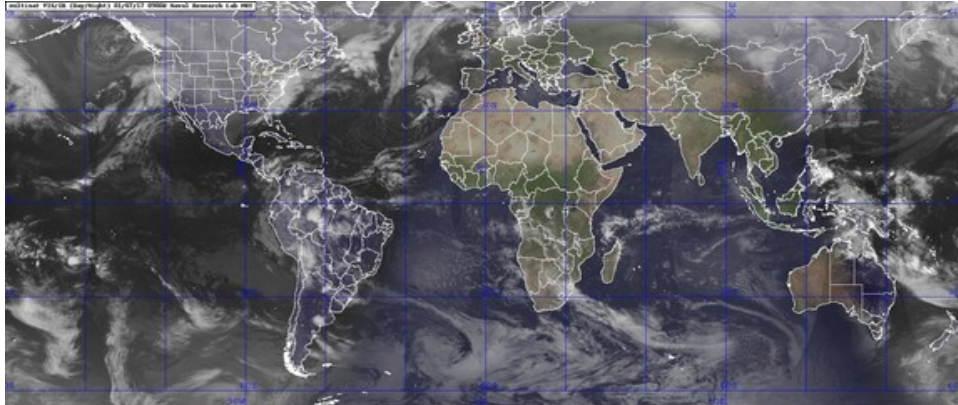
Abb. 22: Neues (links) und altes (rechts) Logo des Naval Research Laboratory

Die Marine Meteorology Division (MRY) des 1923 gegründeten U.S. Naval Research Laboratory (NRL - Logos siehe Abb.22) begann als Teil des AROWA-Projekts (Applied Research: Operational Weather Analysis) im Jahr 1950 ihre Arbeit, um im Koreakrieg aus einfachen meteorologischen Basisdaten praktikable Techniken zur Wettervorhersage zu entwickeln. Heutzutage ist sie als einzige Einheit der Navy allein vollständig mit der besseren Erforschung der Atmosphäre und deren Interaktion mit Landmassen, Hydro- und Kryosphäre beschäftigt und folgt dem Auftrag zur Erforschung und Entwicklung automatischer Analysen und deren Implementierung, Wettervorhersage und -interpretation sowie der Auswirkung der Atmosphäre auf Seewaffensysteme. [vgl. NRL-17]

Genauere Quellenangaben zu den jeweiligen Cloud Covers sind bedauerlicherweise nicht zu finden, aber es kann davon ausgegangen werden, dass diese auf DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) Daten basieren (Details siehe Kapitel 2)

4.4.1 Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)

Eines der Produkte des NRL ist das "Multisat Stitched Global IR" Cloud Cover, ein Kompositum aus den Quellen mehrerer Satelliten ("Multisat"), das aus Infrarot (IR), sichtbarem Licht (VIS), Wasserdampf (WV) und (Falschfarben-) Geo_Color Bildern erstellt wird (siehe Abb.23). Die genaue Datenherkunft (also welche Satelliten/Instrumente "Multisat" genau definieren) konnte im Zuge der Recherche leider nicht eruiert werden.



Quelle: [NRL-17]

Abb. 23: "Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)" der Marine Meteorology Division des NRL

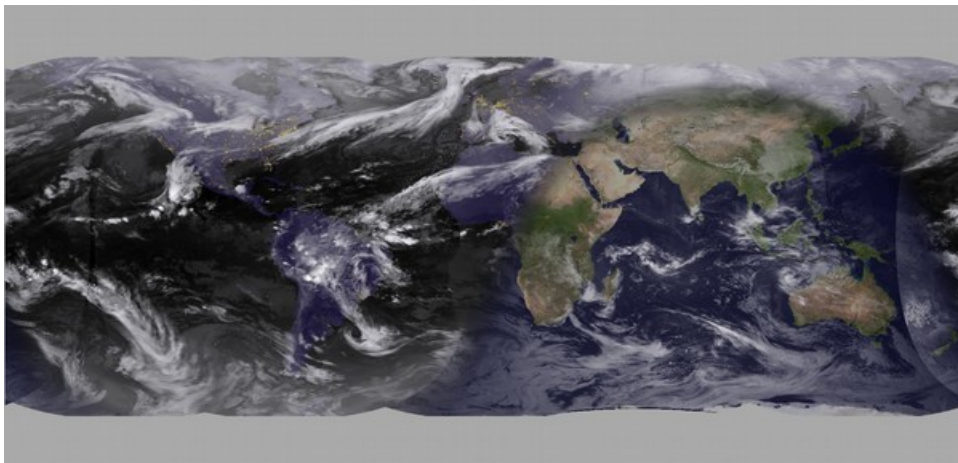
Das Cloud Clover Mosaik weist ein in blauer Farbe gehaltenes Gitternetz mit einem Gitterabstand von 30° und als weiße Linien stilisiert die administrativen Staatsgrenzen. Des weiteren zeigen sich Tag/Nachtwechsel - dadurch bedingt zeigen sich manche Landmassen nur als diffuse blaue Masse, die nur von den Lichtern der größeren Städte durchbrochen wird. Vereinzelt treten Artefakte an den Nahtlinien - vor allem im Bereich der Tag/Nacht Grenze - auf, insbesondere differenziert dort die Farbintensität bzw. Helligkeit (siehe auch Abb. 23 z.B. im Gebiet Ozeaniens/Australiens oder im Indischen Ozean). Ein weiteres Merkmal ist die Quellenangabe im linken oberen Bereich der Bilder ("multisat VIS/IR (Day/Night) MM/DD/YY HHMMz", wobei MM für Monat, DD für Tag, YY für Jahr, HH für Stunde und MM für Minute des Aufnahmezeitpunktes ausweisen). Die Bilder weisen eine Auflösung von 1800x800 auf, welches dem "klassischen" 2:1 Plattkartenformat zuwiderläuft. Dies liegt daran, dass die Darstellung des Bildes nur ein wenig über 60° nördliche/südliche Breite reicht, da in den Pol-Bereichen "NoData" Bereiche vorliegen. Die Bilder können entweder (eher umständlich) über eine Webmaske der Homepage des MRY oder direkt über den Apache-Server aufgerufen werden.

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	3 Wochen
Verfügbare Auflösungen	1800 x 800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	Optische Nahtlinien (helle/dunkle Bildbereiche), teils NoData
Datenquelle Wolken	IR, VIS, Vapor, Geo_Color - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	Naval Research Laboratory - Marine Meteorology Division
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Gitternetz, Quellenangaben
Daten-URL	https://www.nrlmry.navy.mil/archdat/global/stitched/day_night_bm/

Quelle: [NRL-16]

Tab. 9: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)“

4.4.2 Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS



Quelle: [NRL-17]

Abb. 24: "Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS" der Marine Meteorology Division des NRL

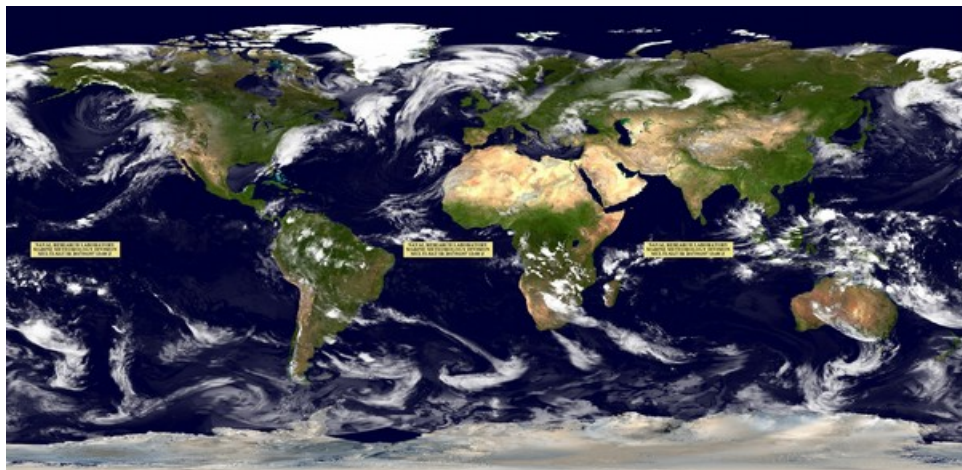
Die "Rohdaten" - also ohne weitere thematische Layer und Bildschnitte, mit denselben Artefakten, Aktualisierungsintervallen und selber Verfügbarkeitsdauer - stellt dieser Datensatz (siehe Abb. 24) dar. Einen weiteren Unterschied stellt die Auflösung (2048 x 1024) und die dadurch resultierenden "NoData" Gebiete in den Polbereichen. Die Dateinamen (z.B. "20161220.0600.multisat.visir.bckgr.global_SoS_global_SoS_GeoColor. DAYNGT.jpg") und die dafür typische Bildgröße (2048 x 1024 Pixel) lassen durch das Kürzel "SoS" vermuten, dass diese Daten womöglich für den Einsatz einer "Science On a Sphere" bestimmt sind.

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	3 Wochen
Verfügbare Auflösungen	2048 x 1024 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	Optische Nahtlinien (helle/dunkle Bildbereiche), teils NoData
Datenquelle Wolken	IR, VIS, Vapor, Geo_Color - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	Naval Research Laboratory - Marine Meteorology Division
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine
Daten-URL	https://www.nrlmry.navy.mil/archdat/global/stitched/SoS/

Quelle: [NRL-16]

Tab. 10: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS“

4.4.3 Multisat Stitched Global IR Bluemarble



Quelle: [NRL-16]

Abb. 25: "Multisat Stitched Global IR Bluemarble" der Marine Meteorology Division des NRL

Auf dem Apache-Server des MRY findet sich etwas versteckt auch dieser Datensatz (siehe Abb. 25), der aus IR-Daten akkumuliert die globale Wolkensituation über der Blue Marble Basemap visualisiert. Im Gegensatz zur vorigen Visualisierung fehlen hier aber thematische Grundlayer wie Gitternetz und Staatsgrenzen, allein im Bereich des Äquators findet sich eine Angabe zur genaueren Quelle ("NAVAL RESEARCH LABORATORY MARINE METEOROLOGY DIVISON MULTI-SAT IR YYYY/MM/DD HH:MMz"). Ein weiterer bedeutender Unterschied liegt in der Auflösung von 4000 x 2000 Pixel und im Aktualisierungsintervall, das bei einer Stunde liegt, während die kompletten Daten des aktuellen Monats ebenso wie die der beiden vorherigen verfügbar sind. Artefakte sind nur rar

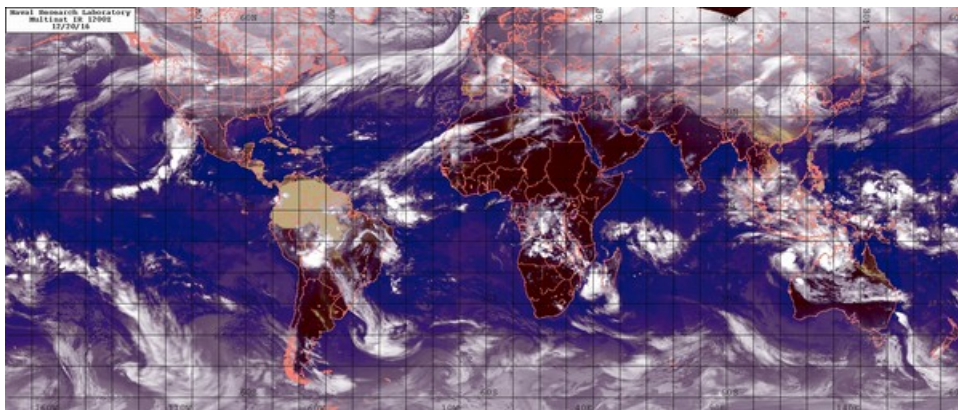
vorhanden - allein in den Polbereichen sind vereinzelt Nahtlinien und pixelige Wolkendarstellungen zu finden.

Aktualisierungsintervall	1 Stunde
Datenverfügbarkeitsdauer	Aktueller Monat und die beiden vorherigen Monate
Verfügbare Auflösungen	4000 x 2000 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	Nahtlinien und pixelige Wolkendarstellungen in Polbereichen
Datenquelle Wolken	IR - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Blue Marble
Datenvisualisierung	Naval Research Laboratory - Marine Meteorology Division
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Quellenangaben
Daten-URL	https://www.nrlmry.navy.mil/archdat/global/stitched/MoS_2/ir_bluemarble/

Quelle: [NRL-16]

Tab. 11: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched Global IR Bluemarble“

4.4.4 Multisat Stitched Global IR



Quelle: [NRL-17]

Abb. 26: "Multisat Stitched Global IR" der Marine Meteorology Division des NRL

Dieser Datensatz (siehe Abb. 26) wird aus IR-Daten generiert und zeigt mit einer Auflösung von 1800 x 800 das selbe Format wie "Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night)" (siehe Kapitel 2.4.1) - dementsprechend sind auch hier die NoData Bereiche an den Polen abgeschnitten, weswegen nur Bereiche innerhalb von knapp über 60° Breite dargestellt werden. Da auf eine Basemap verzichtet wurde und IR-Daten allein über Landmassen nur ein recht homogenes Bild aufweisen, wurde hier zur besseren Orientierung neben einem Gitternetz mit der Auflösung von 10° zu einen thematischen Layer gegriffen, der mit blassroten Linien die Staats- (und in den USA zudem die Bundesstaatsgrenzen) und

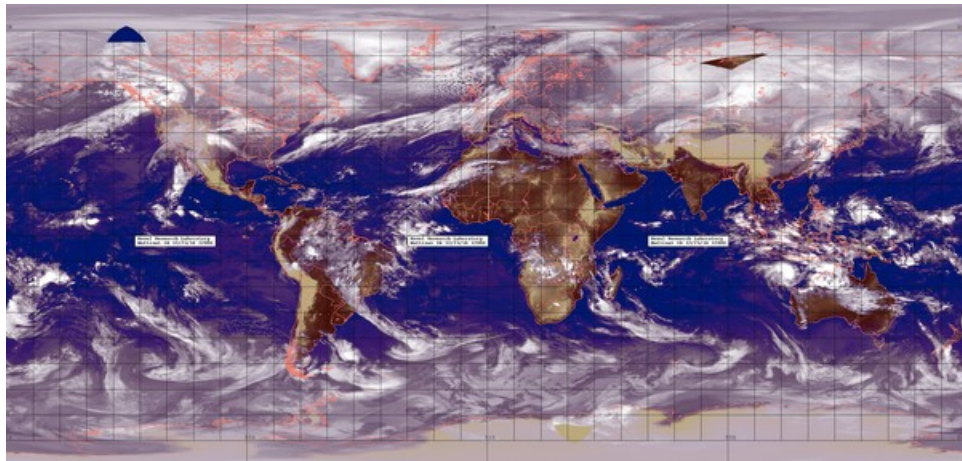
Wassergrenzen stehender Gewässer zeigt. Der Datensatz weist ein Aktualisierungsintervall von drei Stunden und eine Verfügbarkeitsdauer von drei Wochen auf. Wie bei der Mehrzahl der NRL Datensätze ist auch hier ein Bildtitel im oberen linken Eck vorhanden, der neben der Datenquelle den jeweiligen Aufnahmezeitpunkt ausweist.

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	3 Wochen
Verfügbare Auflösungen	1800 x 800 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	Optische Nahtlinien (helle/dunkle Bildbereiche), teils NoData
Datenquelle Wolken	IR - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	Naval Research Laboratory - Marine Meteorology Division
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Gitternetz, Quellenangaben, Ländergrenzen
Daten-URL	https://www.nrlmry.navy.mil/archdat/global/stitched/ir/

Quelle: [NRL-16]

Tab. 12: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched IR“

4.4.5 Multisat Stitched Global IR 2



Quelle: [NRL-17]

Abb. 27: "Multisat Stitched Global IR 2" der Marine Meteorology Division des NRL

Eine Alternative zu vorigem IR-Datensatz stellt diese Komposition dar (siehe Abb. 27), bei dem die Daten in größerer Auflösung (3000 x 1500 Pixel) und Darstellungsbereichen auch in höheren Breiten verfügbar sind. Daneben existieren durch leicht veränderte Farbdarstellung auch Unterschiede in der Wolkendarstellung gerade über Landmassen.

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	3 Wochen
Verfügbare Auflösungen	3000 x 1500 Pixel
Verfügbare Formate	JPG
Farbmodus	sRGB 24-bit
Artefakte	Optische Nahtlinien (helle/dunkle Bildbereiche), teils NoData
Datenquelle Wolken	IR - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	Naval Research Laboratory - Marine Meteorology Division
Lizenzart/Copyright	public domain (kein explizites Verbot kommerzieller Nutzung, aber Fokus auf Bildung und Information)
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Gitternetz, Quellenangaben, Ländergrenzen
Daten-URL	https://www.nrlmry.navy.mil/archdat/global/stitched/MoS/ir/

Quelle: [NRL-16]

Tab. 13: Übersicht der Attribute des „Multisat Stitched IR 2“

4.5 Zusammenfassung, Vergleich und Fazit

In diesem Kapitel sollen die einzelnen Cloud Covers einem direkten Vergleich unterzogen werden, um so besser die individuellen Unterschiede herauszuarbeiten und quantifizierbarer zu machen. Um dies zu erreichen, wurden alle recherchierten Cloud Covers zusammengefasst (siehe Tab. 14) und die relevanten bzw. vergleichbaren Attribute mit einer dreistufigen Farb- (rot = schlecht, gelb = mittel, grün = gut) und Punktskala generalisiert und in ihrer Qualität bzw. Quantität bewertet. Die Bewertung richtet sich dabei zum einen nach dem Spektrum der jeweiligen Eigenschaften und zum anderen auf den optimalen Anforderungskatalog globaler Real-Time Cloud Covers für die exemplarische Nutzung am taktilen Hyperglobe:

- **Aktualisierungsintervall:** Ziel eines "real-time" Cloud Covers ist es natürlich, das Aktualisierungsintervall möglichst gering zu halten. Wie bereits zu Beginn von Kapitel 4 beschrieben, definiert die ESA folgende Anforderungen an die Aktualität von Daten [vgl. ESA-15]:
 - (a) Real-Time (RT): Onlineverfügbarkeit nach spätestens 100 Minuten
 - (b) Near Real-Time (NRT): Onlineverfügbarkeit von 100 Minuten bis 3 Stunden
 - (c) Nominal: Onlineverfügbarkeit von 3 – 24 Stunden nach Erfassung am Satelliten
 Aus diesem Grund werden Daten, die einen entsprechenden Wert von weniger als 100 Minuten aufweisen und damit per ESA Definition real-time sind, als gut (grün) bewertet, NRT als mittel (gelb) und ansonsten als schlecht (rot) bewertet.
- **Verfügbare Auflösungen:** Der Mindeststandard für Texturen auf dem taktilen Hyperglobe ist abhängig von Art und Anzahl der verwendeten Projektoren (und dadurch der genauen Art bzw. Größe des jeweiligen Globus‘), wobei der taktile

Globen-Hersteller Globocess gegenwärtig eine Differenzierung zwischen zwei verschiedenen Projektorkonfigurationen tätigt [vgl. GLO-18]:

(a) Single SXGA+ (1400 x 1050)

(b) Dual WUXGA (1920 x 1200)

Für (a) empfiehlt [GLO-18] eine Auflösung von 2048x1024, für (b) 4096x2048 und für statische Inhalte auf (b) sogar 8192x4096 [vgl. GLO-18]. Dies ergibt sich aus der Auflösung bzw. der Anzahl der darstellbaren Pixel der Projektoren, damit jedes vom Projektor darstellbare Pixel von (mindestens) einem Texturpixel bedient wird, und dem Texturformat als quadratische Platte und der besseren Performance bei Texturgrößen als Zweierpotenz (also z.B. 1024x512, 2048x1024, 4096x2048, etc.) :

(c) 1400x1050 = **1.470.000** Pixel, wobei beachtet werden muss, dass die Projektoren mit Überlappungsflächen arbeiten und zudem mechanisch bedingt nicht die volle Pixelzahl erreicht wird, weswegen [GLO-18] hierbei von einer Pixelanzahl von **865.900** ausgeht VS 2048x1024 = **2.097.152** Pixel, [vgl. GLO-18].

(d) Dual 1920x1200 = 2.304.000*2 = **4.608.000** bzw. direkt auf dem Globus nach [GLO-18] **2.895.290** VS 4096x2048 = **8.388.608** Pixel [vgl. GLO-18].

Die Science On a Sphere Dataset Creation Guidelines postulieren ebenfalls eine optimale Auflösung von 4096x2048 für Animationen und 8192x4096 Pixel für statische Darstellungen [vgl. SOS-17].

Hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung im Hardware-Segment (Projektoren und Computer), scheint aber auch eine Auflösung von 8192x4096 für Animationen zukunftssträchtig, so sind 2017 bereits 4k (4096x2160) Beamer erhältlich (z.B. VPL-VW300ES) und eine dementsprechende Implementation in taktile Hypergloben nur eine Frage der Zeit.

Aufgrund dieser Überlegungen werden im Sinne der Auflösungen von mindestens 8192x4096 als sehr gut (grün) eingeordnet, 4096x2048 (bzw. 3600x1800 und 4000x2000) als mittel (gelb) und darunter als schlecht (rot).

- **Artefakte:** Einer recht subjektiven Einschätzung unterliegt der Einfluss von Artefakten auf die Bildqualität. Um eine Bewertung einigermaßen vergleichbar zu machen, fließt hier deswegen vor allem das Ausmaß bzw. Häufigkeit von Artefakten mit ein. Zudem fließt bei der Bewertung mit ein, ob und wie groß eventuelle No-Data Bereiche sind (obwohl diese rein technisch gesehen nicht als Artefakte gelten).

Von sekundärer Wichtigkeit (um dies entsprechend zu visualisieren, sind die verwendeten Farb-/Punktcodes deswegen blasser als jene bei primärer Wichtigkeit) - weil entweder durch selbständige Bildmanipulationen tarierbar (sonstige "Bildstörungen" bzw. Farbmodus) bzw. für die Aufgabenstellung (Real-Time) nicht direkt wichtig aber mit sonstigem "Nützlichkeitseffekt" (Lizenzart und Datenverfügbarkeitsdauer) - zeigen sich folgende Parameter:

- **Sonstige "Bildstörungen":** "Bildstörungen" wie Quellenangaben oder Gitternetze sind insofern von Nachteil, als dass sie eine womöglich unerwünschte Zusatzinformation bzw. thematische Ebene visualisieren, die nicht ohne weiteres ausgeblendet werden kann. Gut (=grün) sind deswegen Visualisierungen ohne jede

"Bildstörung", mittel (=gelb) jene mit nur unauffälligen "Störungen" (z.B. falls sich eine Quellenangabe im linken oberen Rand findet) und schlecht (=rot) jene mit vielen bzw. auffallenden "Störungen".

- **Datenverfügbarkeitsdauer:** Die Dauer der Datenverfügbarkeit ist zwar nicht direkt Merkmal "Real-Time" Cloud Covers, doch im Sinne einer erweiterten Datennutzbarkeit (um z.B. eine gewisse Entwicklung der Wolkensituation darzustellen) sind Daten, die länger verfügbar sind von Vorteil gegenüber jenen, die nur für kurze Dauer abrufbar sind.
- **Lizenzart/Kosten:** Mit der Lizenzart direkt verbunden sind auch die auftretenden Kosten - zum einen ein wichtiger Punkt bezüglich der Finanzierbarkeit bzw. Wirtschaftlichkeit, zum anderen aufgrund der Weiterverwendung der Daten für kommerzielle Projekte.
- **Farbmodus:** Der Farbmodus ist insofern relevant, als dass bei monochromatischen Darstellungen für ein visuell ansprechendes Globenbild noch weitere Bearbeitungen stattfinden müssen; zumindest muss bei JPEG Bildern noch künstlich eine Transparenz-Ebene eingefügt werden.

Wie sich zeigt, stammen die hier akkumulierten globalen Real-Time Cloud Covers geschlossen aus den USA, wobei sich neben dem privaten XPlanet die Institutionen der NOAA (Science On a Sphere) und NASA (NASA Earth Observations) aus dem zivilen und die Meteorology Division des NRL aus dem semi-militärischen Sektor diesen "Kuchen" teilen. Zu beachten ist, dass, zum einen aufgrund der behördlichen Verflechtungen und zum anderen aufgrund der gleichen Datenherkunft, oft gewisse Überlappungen und Redundanzen bestehen (siehe z.B. "True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response" der NEO und "Satellite Swath" von SOS). Es wurden deswegen explizit jene Datensätze ausgewählt, die sich zumindest innerhalb gewisser Faktoren unterscheiden.

Betrachtet man nun Tab. 14, so zeigt sich dass keines der derzeit verfügbaren Cloud Covers in allen drei primären Bereichen als "gut" eingestuft werden kann. Am besten mit zwei guten Primärattributen zeigen sich Xplanet Clouds und Multisat Stitched Global IR Bluemarble. XplanetClouds weist hierbei die beste maximale Auflösung von 8192x4096 im Vergleich zu 4000x2000 ("Multisat Stitched Global IR Bluemarble"), wohingegen Multisat Stitched Global IR Bluemarble mit einem Aktualisierungsintervall von nur einer Stunde (verglichen zu drei Stunden des anderen Datensatzes) überzeugen kann. Bezüglich Artefakte zeigen sich alle beide Datensätze relativ unauffällig, allein bei XplanetClouds könnten die Redundanzen in den Polbereichen sowie diverse vereinzelt auftretenden Helligkeitsunterschiede stören, während beim NRL Datensatz NoData Bereiche aufzeigen können.

Bezieht man die sekundären Faktoren mit ein, so ergibt sich als größter Nachteil bei XplanetClouds die proprietäre Lizenz und die damit einhergehenden Kosten - "immerhin" 90 US Dollar pro Jahr, welche für kommerzielle Nutzung zwar eher marginal ausfallen, ansonsten aber dennoch einen restriktierenden Faktor darstellen. Der monochromatische Farbmodus erleichtert die Nutzung als sekundärer thematischer Layer, stellt aber im Sinne einer finalen Visualisierung einer "bewölkten Erdoberfläche" ebenfalls ein (wie bereits besprochen eingeschränktes) gewisses negatives Kriterium dar.

	1			2	3			4				
	1a	1b	1c	2	3a	3b	3c	4a	4b	4c	4d	4e
Aktualisierungsintervall	?	•	•	••	•	•	•	••	••	•••	••	••
Max. verfügbare Auflösung	•	••	••	•••	••	••	••	•	•	••	•	•
Artefakte	?	••	•	•••	•	•	••	•••	•••	•••	•••	•••
Datenverfügbarkeitsdauer	ooo	ooo	oo	o	ooo	ooo	ooo	oo	oo	ooo	oo	oo
Farbmodus	ooo	ooo	ooo	o	o	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
Lizenzart/Copyright	ooo	ooo	ooo	o	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
Kosten	ooo	ooo	ooo	o	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo
Sonstige Bildstörungen	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	ooo	o	ooo	oo	o	o

1 Science On a Sphere: 1a Clouds – Real-time 1b Earth in True Color (daily) 1c Satellite Swath – Real-time 2 XplanetClouds 3 NASA Earth Observations: 3a Cloud Fraction 3b True Color Aqua/Terra MODIS Rapid Response 3c True Color Suomi NPP/VIIRS 4 Naval Research Lab: 4a Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) 4b Multisat Stitched Global VIS/IR (Day/Night) SoS 4c Multisat Stitched Global IR Bluemarble 4d Multisat Stitched Global IR 4e Multisat Stitched Global IR 2		•••	••	•
Aktualisierungsintervall	<= 100 Minuten	100 Minuten bis 3 Stunden	> 3 Stunden	
Max. verfügbare Auflösung	>= 8192 x 4096	3600 x 1800, 4000 x 2000, 4096 x 2048	< 3600 x 1800	
Artefakte	keine, wenig	mittel	viel	

Quelle: [eigene Darstellung]

Tab. 14: Übersicht und Versuch einer Quantifizierung der Attribute bestehender globaler Real-Time Cloud Covers mit Legende

Im Gegensatz dazu ist das farbige Cloud Covers des NRL zwar kostenlos und unterliegt einer "public domain" Lizenz, weist aber im Falle von "Multisat Stitched Global IR Bluemarble" (4c) teils störende Quellenangaben im Äquatorbereich auf.

Betrachtet man also zusammengefasst nochmals das Optimum für den Einsatz am Globus, so müsste ein eigenes Cloud Cover folgende Eigenschaften aufweisen:

- **Aktualisierungsintervall:** max. 100 Minuten
- **Maximal verfügbare Auflösung:** min. 8192x4096 Pixel
- **Artefakte:** möglichst keine Artefakte (wobei je nach Ursprungsquelle NoData-Bereiche technisch bedingt nur dann vermeidbar sind, wenn mehrere verschiedene Quellen kombiniert werden, wodurch aber teilweise wieder die Qualität leiden könnte)
- **Datenverfügbarkeitsdauer:** Für die primäre Zielsetzung zwar nur marginal wichtig, so wäre doch eine Datenverfügbarkeitsdauer von mindestens einem Tag von Vorteil, um z.B. die tägliche Entwicklung der Wolkensituation darstellen zu können.
- **Farbmodus:** Je nach angestrebter Nutzung entweder RGB (Cloud Cover kombiniert mit physischer Erdoberfläche) oder monochromatisch (wenn allein der isolierte Cloud Cover Layer zur erweiterten Nutzung angeboten werden soll)

- **Lizenzart/Kosten:** Erklärtes Ziel ist es, die generierten Daten frei anzubieten, weswegen einem Nutzer keinerlei Kosten entstehen sollten und sich z.B. eine Creative Commons Lizenz anbieten würde (Creative Commons Lizenzen ermöglichen eine relativ einfache standardisierte Lizenzierung veröffentlichter Inhalte; Details siehe [CCC-17]).
- **Sonstige Bildstörungen:** Im Sinne einer optimalen Nutzung für den Hyperglobe sollten die erzeugten Cloud Covers frei von jedweden inkludierten Bildbeschreibungen, Quellenangaben, Staatsgrenzen oder sonstigen sekundären thematischen Ebenen sein - diese sollten allein durch die Präsentationssoftware des Hyperglobe gesteuert werden.

Diese Parameter stellen ein Optimum an die Aufgabenstellung dar, restriktierende Faktoren werden durch die jeweiligen Quelldaten generiert, sodass sich in Kapitel 5 zeigen muss, inwiefern dieser Anforderungskatalog tatsächlich realisierbar sein wird.

5 Auswahl der Open Data Quellen

Nachdem im vorigen Kapitel die bereits bestehenden globalen Real-Time Cloud Cover einer näheren Betrachtung unterzogen worden sind, sollen in diesem Kapitel anhand des gewonnenen Anforderungsprofils mögliche Open Data Quellen eruiert und schlussendlich für die Realisierung des (falls möglich) optimalen Cloud Covers ausgewählt werden.

Open Data soll frei und als ganzes zugänglich sein, ohne dafür mehr als gewisse Reproduktionskosten aufwenden zu müssen. Die Daten sollten deswegen möglichst über das Internet downloadbar sein und in modifizierbarer und verarbeitbarer Form angeboten werden. Des Weiteren sollten die Daten unter der Erlaubnis zur Weiterverarbeitung und Kombination mit anderen Daten zur Verfügung gestellt werden, wobei jeder (also ohne Diskriminierung von Personen bzw. Gruppen) auf diese Daten zu freiem Zweck zugreifen und damit arbeiten darf. Ein weiteres wichtiges Stichwort diesbezüglich ist Interoperabilität, die es ermöglicht, die Daten leicht miteinander zu kombinieren und weiterzuverwenden. Dies ist deswegen wichtig, damit unterschiedliche Komponenten gut und einfach miteinander zusammenarbeiten können. [vgl. OPE-16]

Grundsätzlich gibt es viele Einsatzgebiete von Open Data, die einen gewissen Mehrwert für die Gesellschaft, aber auch für den wirtschaftlichen Bereich erzeugen können, z.B.:

- Transparenz und demokratische Kontrolle
- Verbesserte bzw. neue Produkte und Dienste
- Innovation
- Verbesserte Effizienz und Effektivität öffentlicher Dienstleistungen
- Neues Wissen aus kombinierten Datenquellen

Ökonomisch gesehen bietet Open Data eine große Chance; so haben Studien der EU ergeben, dass der ökonomische Wert von Open Data mehrere Milliarden Euro jährlich ausmacht, wodurch aus dem Bereitstellen von Open Data ökonomische Emergenz entstehen kann, die Innovationen, Neuentwicklungen, aber auch "profane" Start Ups befeuert. Aber auch (und gerade für diese Masterarbeit relevant) für die Wissenschaft ergeben sich große Möglichkeiten, da erst durch die relativ einfache Verfügbarkeit von Daten Forschung in völlig neue Richtungen ermöglicht wird, wie es z.B. beim Copernicus-Programm verdeutlicht wird, dessen Daten relativ leicht zugänglich sind. [vgl. OPE-16]

De facto finden die Anforderungen von Open Data bereits in der INSPIRE Richtlinie der EU ihre Umsetzung, die zwar prinzipiell auf Geodaten abzielt, aber in diesem Sinne ebenfalls auf Satellitendaten (die in gewisser Weise ebenfalls Geodaten sind) angewendet werden sollte.

5.1 Ermittlung des erweiterten Anforderungsprofils

Der Übersicht halber sollen hier noch einmal die aus dem vorigen Kapitel gewonnenen Parameter aufgeschlüsselt werden:

- Aktualisierungsintervall

- Maximal verfügbare Auflösung
- Artefakte
- Datenverfügbarkeitsdauer
- Farbmodus
- Lizenzart/Kosten
- Sonstige Bildstörungen

Es gilt nun also Daten und darauf aufbauend Datenportale zu identifizieren, die diese Parameter erfüllen können. Die grundsätzliche Frage, die sich hierbei stellt, ist welche Satelliten diese potentiell liefern können. Hält man sich dabei die aus Kapitel 2 und 3 gewonnen Erkenntnisse vor Augen, ergeben sich zwei potentielle Quellen:

- Daten geostationärer Satelliten (GEOS)
- Daten Satelliten niederer Flugbahn (LEOS)

5.1.1 Aktualisierungsintervall

GEOS haben den großen Vorteil, dass sie quasi latenzlos Bilder (15min bis 30min Intervalle sind keine Seltenheit) ihres jeweiligen Aufnahmegebietes übermitteln können. LEOS müssen für eine vollständige Erfassung des Globus diesen erst in mehreren Überflügen abdecken, wobei an dieser Stelle jedoch auf die Möglichkeiten der Kombination der Daten verschiedener LEOS verwiesen werden soll. Hier ergeben sich jedoch zwei potentielle Probleme:

- Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten
- Unterschiedliche Instrumente

LEOS werden auch nach ihrer typischen Überflugszeit des Äquators kategorisiert, also z.B. 9AM oder 2PM. Dies bedeutet aber auch unterschiedliche Lichtverhältnisse, wodurch zum einen (zumindest bei Daten geringen "Levels - siehe Kapitel 3.5.1) diese Daten erst kalibriert bzw. Helligkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Datenquellen nivelliert werden müssen (auch durch die Verwendung verschiedener Instrumente; dieses Problem wird auch deutlich, wenn man die Aufnahmen Satelliten der gleichen Baureihe, aber verschiedener Generation wie z.B. LandSat vergleicht, da neuere Satelliten durch verbesserte Instrumente oft viel "kraftvollere" Aufnahmen liefern) und zum anderen natürlich für gewöhnlich auch zu verschiedenen Zeitpunkten verfügbar gemacht werden können. Es gälte also bei Verwendung von LEOS-Daten eine hinreichende Anzahl Satelliten zu finden, die (zumindest grob) zum gleichen Zeitpunkt jeweils den Äquator passieren, sodass in möglichst geringen Intervallen Daten zu einem globalen Mosaik zusammengefügt werden können, um der Anforderung von quasi real-time Cloud Covers erfüllen zu können.

5.1.2 Maximal verfügbare Auflösung

Prinzipiell liefern LEOS ihre Daten in viel größerer räumlicher Auflösung als GEOS; so weisen z.B. die geostationären Fengyun-2 Satelliten im IR Bereich eine Auflösung von 5km, während die sonnensynchronen Fengyun-3 1.1km liefern. Grundsätzlich muss man sich aber auch ins Gedächtnis rufen, dass bei einer Bildauflösung von 8192x4096 die Erdmaße berücksichtigt werden müssen. Geht man von einem Äquatorumfang von 40075.017km

(WGS84) aus, so ergibt sich gerechnet auf 8192 Bildpixel eine Größe von 4.892 km pro Pixel, die von dem Satelliten geliefert werden müssen. Man sieht also, dass auch bereits Daten geostationärer Satelliten mit 5km räumlicher Auflösung pro Pixel als adäquat angesehen werden können.

5.1.3 Artefakte

Artefakte ergeben sich prinzipiell aus zwei verschiedenen Quellen:

- Aufnahmebedingte Artefakte
- Mosaikierungsbedingte Artefakte

Aufnahmebedingte Artefakte gliedern sich wiederum in Instrument bedingte Fehlerquellen und physikalisch bedingte Fehlerquellen wie "Sunlint" (also die Reflexion der Sonne am Meeresspiegel). Mosaikierungsbedingte Artefakte ergeben sich vor allem durch die Mosaikierung von Daten unterschiedlicher Herkunft. So kann es gerade bei zeitlich verschiedenen Aufnahmen an den jeweiligen Rändern der Aufnahmen beim Gesamtmosaik durch die veränderte Wolkensituation zu abrupten Schnitten kommen (Details siehe Kapitel 3.6).

Demgemäß ist - aufgrund der größeren Aufnahmebereiche - die Wahrscheinlichkeit mosaikierungsbedingter Artefakte bei geostationären Satelliten geringer. Im Gegensatz dazu können GEOS lediglich Aufnahmebereiche bis zu einer gewissen geographischen Breite aufweisen, sodass ab 60 bis 70° die Pixel zum einen Verzerrungen aufweisen und zum anderen die räumliche Auflösung der Pixel stark verringert ist (für Details siehe auch Kapitel 6.1).

5.1.4 Datenverfügbarkeitsdauer

Die Datenverfügbarkeitsdauer ist bei einem selbst generierten real-time Cloud-Cover Mosaik nur von geringfügiger Bedeutung, da diese selbst beliebig lange gespeichert werden können. Wichtig ist hingegen, dass die Aufnahmen der Satelliten möglichst zeitnah abrufbar sind, sodass zwischen dem Aufnahmezeitpunkt und dem daraus generierten Mosaik nur möglichst wenig Zeit vergeht, um den Anspruch von "Real-Time" besser nachkommen zu können.

5.1.5 Farbmodus

Der Farbmodus der Quelldaten ist prinzipiell abhängig vom Produkt-Level (siehe Kapitel 3.5.1): Produkte geringer Stufe sind prinzipiell panchromatisch und werden erst durch erweiterte Bearbeitungsschritte in verschiedenen Farben visualisiert. Dementsprechend gestaltet sich der Farbmodus der Quelldaten nur insofern relevant, als dass für die Visualisierung des eigenen Cloud Covers je nach Präferenz weitere Bearbeitungsschritte stattfinden oder nicht.

5.1.6 Lizenzart/Kosten

Die Frage nach der Lizenzart bzw. Kosten ist meist auch mit der Zugänglichkeit der Quelldaten verbunden. Prinzipiell ist es das erklärte Ziel dieser Arbeit, real-time Cloud

Covers aus quelloffenen, freien Daten (also Open Data) zu erstellen - damit verbunden ist die Anforderung nach Portalen, auf die (bzw. deren Datenbestände) automatisch per Applikation zugegriffen werden kann, ohne sich jeweils manuell durch ein z.B. Web-GUI klicken zu müssen.

5.1.7 Sonstige Bildstörungen

Sonstige Bildstörungen, in Kapitel 4 als "jedwede inkludierte Bildbeschreibungen, Quellenangaben, Staatsgrenzen oder sonstiger sekundärer thematischer Ebenen" definiert, entstehen grundsätzlich durch erweiterte Bearbeitungsschritte, sind also ebenfalls Merkmal höherer Produktlevels.

5.1.8 Conclusio

Zusammengefasst gilt es also frei zugängliche, automatisch abrufbare Daten zu finden; in einer hinreichenden Bearbeitungsstufe, um weitgehend artefaktfrei zu sein, ohne jedoch zu spezifisch gewisse Merkmale wie gewisse Thematiken zu sehr herausgearbeitet zu haben und frei von jedweder "Sonstiger Bildstörung" zu sein. Zieht man die Klassifikation von Satelliten-Produkten aus Kapitel 3.5.1 heran, gilt es also Daten optimalerweise zwischen Level 1b und 2 zu finden, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass unterschiedliche Raumfahrtagenturen bzw. Satellitenbetreiber ihre Produkt-Levels auch unterschiedlich klassifizieren (siehe Kapitel 3.5.1).

Die grundsätzliche Frage, ob hierbei Daten aus GEOS oder LEOS zur Hand genommen werden sollen, ist insofern bereits beantwortet, als dass die gesuchte Auflösung derzeit bei 8192x4096 skaliert und heutige GEOS diese bereits bei einer räumlichen Instrumentenauflösung von knapp 5km erreichen, wodurch die Vorteile, im Folgenden aufgeschlüsselt, von GEOS-Daten überwiegen:

- **Leichtere Mosaikierung:** Dies ergibt sich insofern, als dass alle geostationären Satelliten ca. auf dem selben Breitengrad (= in Äquatornähe) residieren, wodurch sich Überlappungen der Aufnahmebereiche quasi nur auf eine Nord-Süd Achse begrenzen, was des weiteren temporal bedingte und durch die größeren Schwadbreiten eingegrenzte Artefakte reduziert. Dies verstärkt sich auch dadurch, dass GEOS-Aufnahmen größere Bereiche aus einem Satelliten abdecken, wodurch sich auch weniger Instrumentenbedingte Unterschiede betreffend Helligkeit etc. ergeben.
- **Leichtere globale Erfassung:** Wie bereits darauf hingewiesen wurde, müsste bei einem globalen Cloud Cover Mosaik aus LEOS-Daten eine hinreichend große Anzahl Satelliten gefunden werden, die möglichst zeitnah für eine globale Abdeckung sorgen. Dies wird durch die unterschiedlichen Orbits erschwert, die zu einem verschiedene Bahninklinationen aufweisen, was zwangsweise zu einer globalen Überlappung der Aufnahmen führen würde und des weiteren durch die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte (und dadurch Belichtungsverhältnisse, was besonders bei Aufnahmen im VIS Bereich relevant ist) erschwert wäre.
- **Zeitliche Auflösung:** Gerade hinsichtlich der globalen Erfassung zeigt sich klar die bessere temporale Auflösung von GEOS (z.B. 15 Minuten bei GOES-16) gegenüber LEOS (12h bei DMSP-Satelliten) – zumindest bei einzelnen Satelliten(-gruppen).

Dieser Unterschied ließe sich jedoch unter der Verwendung mehrerer LEO Satelliten(-gruppen) womöglich nivellieren, siehe Kapitel 5.1.1.

Es soll an dieser Stelle aber explizit darauf hingewiesen werden, dass durch die (meist) größeren räumlichen Auflösungen von LEOS durchaus Potential in einer Entwicklung eines globalen Cloud Covers aus derartigen bzw. einer Kombination aus GEOS und LEOS Daten besteht. In dieser Masterarbeit soll sich aufgrund der einfacheren Implementierung, bei gleichzeitiger Erfüllung der gewünschten Parameter, aber dennoch rein auf ein aus GEOS-Daten bestehendes globales Cloud Cover konzentriert werden.

5.2 Verschiedene Open Data Quellen

Wendet man die Parameter "geostationär" (bzw. -synchron) und "offener Zugang" (wobei dieser jedoch vom jeweiligen Anbieter auch verschieden definiert wird) auf die Satelliten-Liste von CEOS an, so ergibt sich folgende Auswahl (siehe Tab. 15):

Mission	Mission Agency
COMS-1	Astrium,KARI,KMA,KORDI
FY-2E	NRSCC,NSMC-CMA
FY-2F	NRSCC,NSMC-CMA
FY-2G	NRSCC,NSMC-CMA
GOES-13	NOAA
GOES-14	NOAA
GOES-15	NOAA
GOES-16	NOAA
INSAT-3A	ISRO
INSAT-3D	ISRO
INSAT-3DR	ISRO
KALPANA-1	ISRO
Meteosat-10 (MSG 3)	ESA,EUMETSAT
Meteosat-11 (MSG-4)	ESA,EUMETSAT
Meteosat-8 (MSG 1)	ESA,EUMETSAT
Meteosat-9 (MSG-2)	ESA,EUMETSAT
Himawari-8	JCAB,JMA

Quelle: [CEO-17]

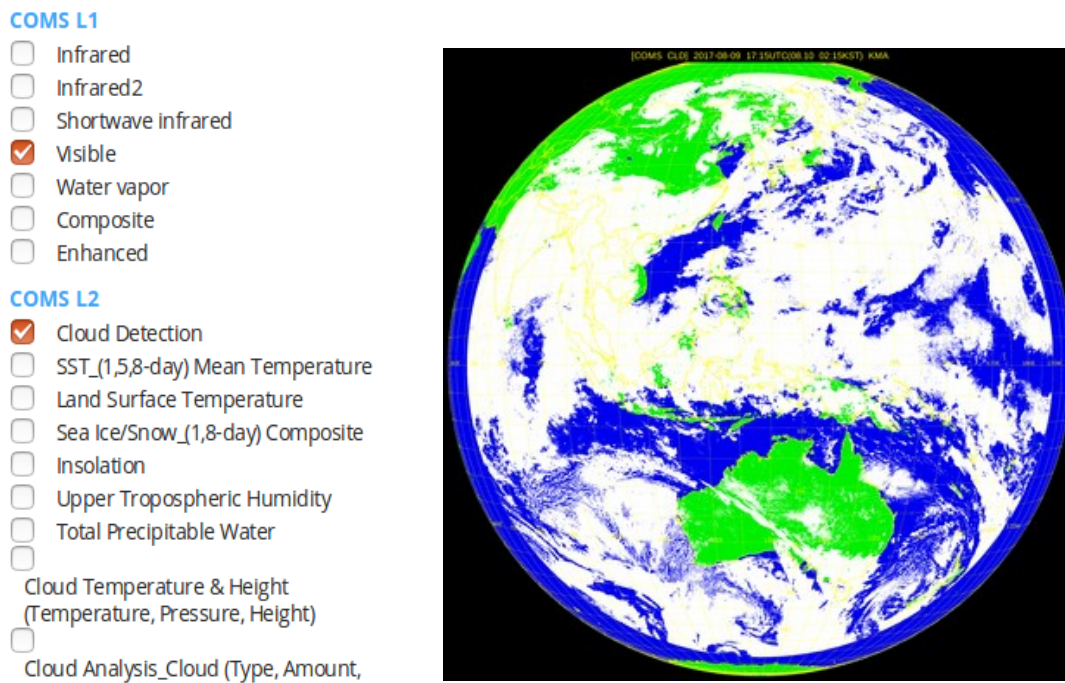
Tab. 15: Auswahl geostationärer Satelliten mit "offenem" Daten-Zugang

Es gilt aus diesen nun jene zu auswählen, die für eine globale Abdeckung bei möglichst maximal optimalen Parametern sorgen (räumliche und zeitliche Auflösung, leichter, automatisch ansteuerbarer Zugang).

5.2.1 COMS-1 - National Meteorological Satellite Center (NMSC)

Die Daten Für COMS-1 lassen sich über das Java-basierte Web-Portal der National Meteorological Satellite Center (NMSC) of Korea abrufen (<http://nmsc.kma.go.kr>). Allerdings erfolgt der Zugang nur nach Registrierung und wird für gewöhnlich individuellen Privatpersonen nicht ausgestellt, sondern nur Organisationen als Gesamtes. Wird der Zugang gewährt, können über eine Webmaske aus Level 1 oder Level 2 Daten ausgewählt werden (siehe Abb. 28), diese in einem "Warenkorb" als PNG Bilder, HDF (Hierarchical Data Format) oder als binäre BIN-Daten bestellt und nach kurzer Zeit werden via Email die

Login/Passwort FTP-Daten (File Transport Protocol) bzw. http-Download Link für die bestellten Daten übermittelt. Allerdings werden der Username und das Passwort automatisch und für jede Datenabfrage unterschiedlich generiert, sodass ein automatisches Abrufen der Daten nur erschwert möglich ist, zudem erreichen die PNG Bilder (beispielhaft Level 2 "Cloud Detection Mask", siehe Abb. X) nur eine Auflösung von 1375x1375 Pixeln, obwohl die Sensoren hierfür eine Auflösung von 5300 x 5300 Pixeln liefern, zudem weisen die Bilder politische Ländergrenzen auf [vgl. EOP-17]. Die Bilder werden jedoch alle 15 Minuten generiert, sodass theoretisch immerhin ein extrem hohes Aktualisierungsintervall möglich wäre [vgl. NMS-17]. Interessanter gestaltet sich die Sicht auf die HDF Daten, da sich aus diesen VIS-Bilder mit einer Auflösung von 11000x11000 extrahieren lassen, während im IR Bereich noch immerhin 2750x2750 möglich sind.



Quelle: [NMS-17]

Abb. 28: Auswahl der Datensätze im NMSC Datenportal (links) und exemplarisch Level 2 Cloud Detection Produkt (rechts)

Prinzipiell zeigen die Daten von COMS-1 relativ gutes Potential, das große Manko ist allerdings, dass die Datenabfragen aufgrund des Webportals nicht bzw. nur erschwert automatisiert gestaltet werden können, weswegen sie für die Aufgabenstellung dieser Masterarbeit einiges an Attraktivität einbüßen. Zwar kann man via Python auf die Inhalte einer Website zugreifen und diese auch steuern, allerdings werden, wie bereits erwähnt, die Logindaten für den FTP-Server dynamisch generiert, wodurch man dann des weiteren automatisch aus den HTML-E-mails des NMSCs diese extrahieren und anschließend abrufen und speichern müsste. Die Datenakquisition über das Web-Portal würde sich verglichen zu einem "Direkt Download" also mit einigem Aufwand gestalten.

5.2.2 FengYun-2 (E, F, G) - FENGYUN Satellite Data Center

Der Zugriff auf die FengYun-Satelliten Daten erfolgt über das "FENGYUN Satellite Data Center" (<http://satellite.nsmc.org.cn>) des National Satellite Meteorological Center (NSMC). Auch dort muss man vor einem Zugriff auf die Daten zuerst registriert werden und auch hier erfolgt der Zugriff bzw. das Sichten der Daten über ein Web-Portal. Die Daten sind ähnlich aufbereitet wie für COMS-1, wobei auch hier gilt, dass Level 2 Produkte bereits politische Ländergrenzen aufweisen.

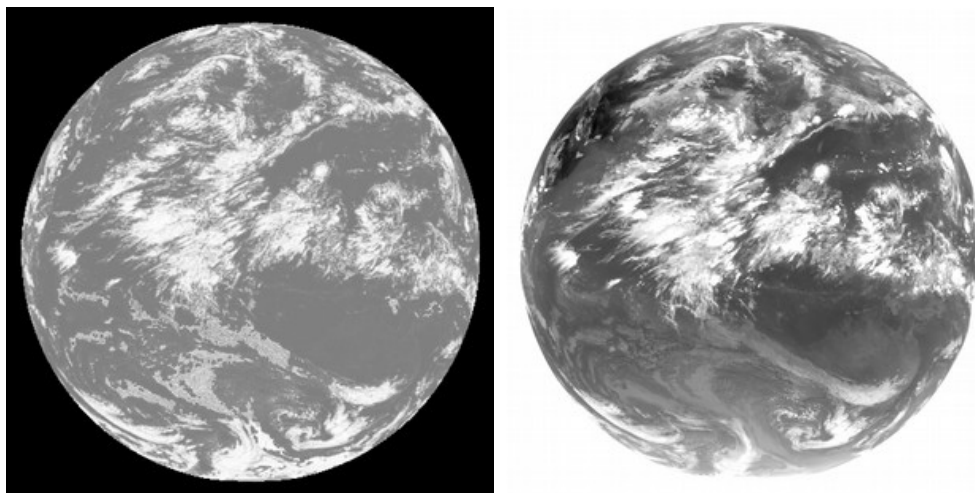
Satellit	Level	Datenname	Datenformat	Intervall
FY-2E	1	Normalized Geostationary Projection VISSR data	HDF	30min (x15; x45)
FY-2E	2	Cloud Total Amount (CTA)	HDF	60min (x15)
FY-2F	1	Normalized Geostationary Projection VISSR data	HDF	60min (x00)
FY-2F	2	Cloud Total Amount (CTA)	HDF	60min (x00)
FY-2G	1	Normalized Geostationary Projection VISSR data	HDF	30min (x00, x30)
FY-2G	2	Cloud Total Amount (CTA)	HDF	60min (x00)

Quelle: [NSM-17], eigene Bearbeitung

Tab. 16: Vergleich der geostationären Fengyun-2 Daten-Produkte

(Moderne) Level 1 und Level 2 Daten liegen für die Full Disk (also der gesamte Sensorbereich, der die Erde komplett erfasst) entweder als HDF oder CSV (Comma Separated Values) im DAT Format (Data) vor, wobei die Daten je nach Satellit im 30min oder 60min Intervall vorhanden sind (siehe Tab. 16). Generell lässt sich feststellen, dass die Level 1 Daten mit durchschnittlich 75MB um einiges Größer als das Level 2 "Cloud Total Amount" (CTA) mit 20MB sind (Vergleich siehe Abb. 29). Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass beim HDF File alle Kanäle inkludiert sind. Die Auflösung der IR Produkte und CTA rangiert bei 2288x2288, während im VIS 9152x9152 dargestellt werden.

Wie man in Abb. 29 erkennen kann, lassen die Level 1 Daten ein subjektiv viel detaillierteres Bild als das CTA-Level 2 Produkt erkennen - im Gegensatz dazu rangiert ersteres mit ~290KB Größe viel platzsparender verglichen zu 3.1MB des Level 1 Produkts (beide PNG, Auflösung 2288x2288).



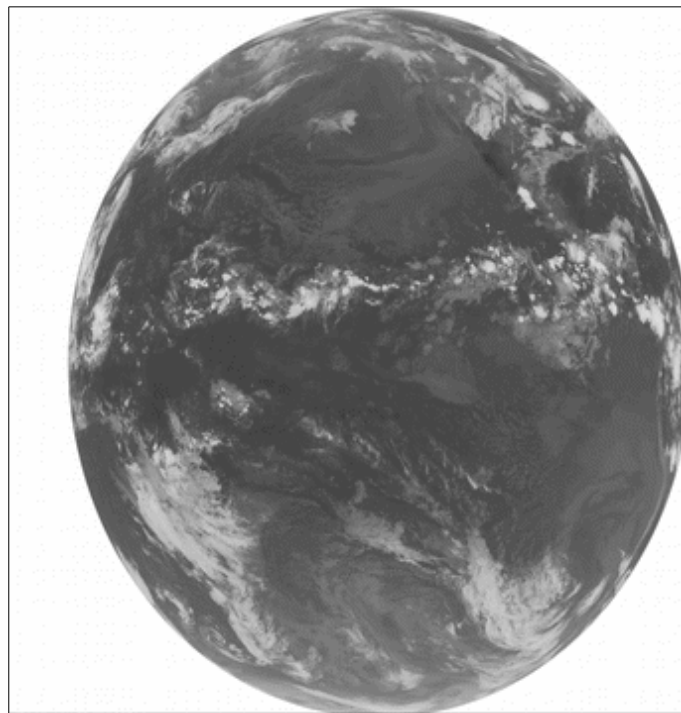
Quelle: [NSM-17], eigene Bearbeitung

Abb. 29: Vergleich Level 2 "Cloud Total Amount" (links) und Level 1 IR-Channel 2 (rechts); beide FY-2G

Dadurch, dass die (meisten) Daten auch als direkter Download zur Verfügung stehen, können sie auch relativ leicht automatisiert abgerufen werden, allerdings ist zu beachten, dass für den einfachen User (Level D) pro Tag nur 500MB heruntergeladen werden können, wobei sich die Accounts in "ordinary users (Level D), intermediate users (Level C; 5000MB/day) and advanced users (Level B; 10000MB/day)" [vgl. NSM-17] unterteilen und mittels eines schriftlichen Ansuchens um ein höheres Level gebeten werden kann.

5.2.3 GOES - Comprehensive Large Array-Data Stewardship System (CLASS)

Das Comprehensive Large Array-Data Stewardship System (CLASS) ist das Downloadportal der NOAA und stellt die Daten der geostationären GOES-Satelliten, des polarumkreisenden POES-Satelliten und generell davon abgeleitete Daten zur Verfügung (<https://www.class.ncdc.noaa.gov>). Auch auf diesem Portal muss man erst registriert werden, um Daten bestellen zu können.



Quelle: [CLA-17]

Abb. 30: Band 4 (10.7 μ m) Level 1B GOES-15 Daten; zu beachten sind die Artefakte im unteren Bereich und der eher unübliche Rahmenabstand (zur besseren Sichtbarkeit wurde ein Rahmen um das Bild gelegt)

Es ermöglicht umfassenden Zugriff auf Daten der Satelliten, die ähnlich wie bei den übrigen Daten-Portalen in einem "Shopping Cart" gespeichert und schließlich bestellt werden können. Nachdem die Daten von Seiten der NOAA aufbereitet wurden, bekommt man via Mail die Zugangsdaten für den FTP Download zugesandt. Die GOES (-13 und -15) Daten aus dem IR-Kanal liefern eine Auflösung von 2596x2704 Pixeln, während der VIS-Kanal sogar 10387x10819 liefert (die Abweichungen ergeben sich durch unterschiedlich große "Ränder" horizontal und vertikal, siehe auch Abb. 30), während der neuere GOES-13 eine IR Auflösung von 5424x5424 aufweist. Als Datenformate werden Area (McIDAS data Format; McIDAS = **M**an **c**omputer **I**nteractive **D**ata **A**ccess **S**ystem), NetCDF (**N**etwork **C**ommon **D**ata **F**ormat),

GIF, JPEG und RAW (Natives GVAR Format; GVAR = **GOES V**ARiable) angeboten, des weiteren kann spezifiziert werden, ob 8 oder 16bit pro Pixel vorliegen, welche Kanäle gespeichert werden und ob politische Grenzen als Map Overlay vorliegen sollen (siehe Abb. 31).

Order	Dataset Name	Include Digital Signature	Geog. Subset	Output Format	Bits/Pixel	Spatial Resolution*		Bands	Map Overlay
						VIS	IR		
☒	GVAR_IMG goes12.2004.260.0055 14.tar	☐	n/a	Area NetCDF GIF JPG Raw	8 16	1 2 4 8	1 2 4	1 2 3 4 6	☒

Quelle: [CLA-17]

Abb. 31: Auswahlmaske diverser Parameter zum Datendownload des CLASS-Portals

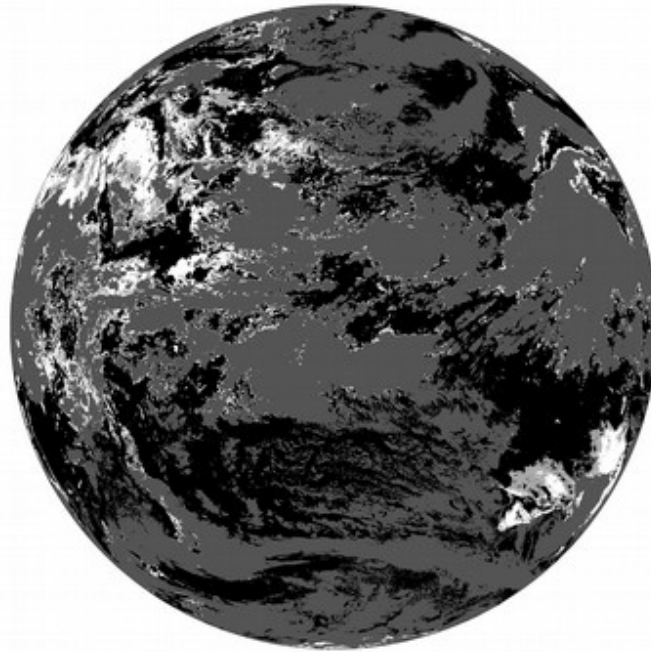
Generell gestaltet sich der automatisierte Datenabruf ähnlich problematisch wie bei COMS-1; allerdings können hier die Suchparameter genau spezifiziert werden (im Schema "goesSAT.yyyy.ddd where SAT=2-digit satellite id, yyyy=4-digit year, ddd=3-digit julian date or entire dataset name" [CLA-17]), weswegen via einer Applikation relativ einfach automatisch auf die Suchmaske zugegriffen, Daten bestellt und die eingehende Mail mit den Login-Daten ausgelesen und so auf die Daten zugegriffen werden könnte.

5.2.4 INSAT/KALPANA - Meteorological and Oceanographic Satellite Data Archival Centre (MOSDAC)

Über die Website des Meteorological and Oceanographic Satellite Data Archival Centre (MOSDAC) kann auf eine Vielzahl an Level 1 bis 3 Daten zugegriffen werden, darunter von den Satelliten INSAT-3(A/D/DR), KALPANA-1, Megha Tropiques, OceanSat-2, SARAL-Altika und SCATSAT-1, wobei bei Level 1 Daten eine Verzögerung von drei Tagen erzwungen wird. Die Daten werden dabei meist als HDF angeboten.

Durch die erzwungene Verzögerung von drei Tagen bei Level 1 Daten, sind diese für die Aufgabenstellung dieser Masterarbeit ("real-time") eher uninteressant, weswegen sich hier auf das Level 2B Produkt der "Cloud Mask" (siehe Abb. 32) konzentriert werden soll.

Dieses wird im halb-stündlichen Intervall ebenfalls als HDF angeboten, das durch das Daten-Portal Online in einem "Katalog" geordnet werden kann. Nach Platzierung der Order werden relativ ohne Zeitverzögerung die geordneten Daten auf dem FTP-Server von MOSDAC für den Download bereit gestellt, wobei die Logindaten die gleichen wie für das Webportal selbst sind. Abb. 32 zeigt exemplarisch ein aus einem HDF extrahiertes Bild, das eine Auflösung von 2805x2816 aufweist. Es ist aber wichtig hervorzuheben, dass die Cloud Mask nur vier verschiedene Werte aufweisen kann: clear, cloudy, probably clear, probably cloudy. Im Vergleich zu den Daten von GOES-15, dessen GIF-Bilder einen indizierten Farbraum von 58 Grauschattierungen zeigen, wirkt die dargestellte Wolkensituation also eher relativ detailarm, weswegen für eine Verwendung in einem Mosaik mit anderen Satellitendaten noch weitere Bearbeitungsschritte notwendig wären; der Vorteil hingegen wäre die einfach zu realisierende Isolierung der Wolken thematik, was die Weiterverwendung als Overlay über einer Basemap vereinfachen würde.



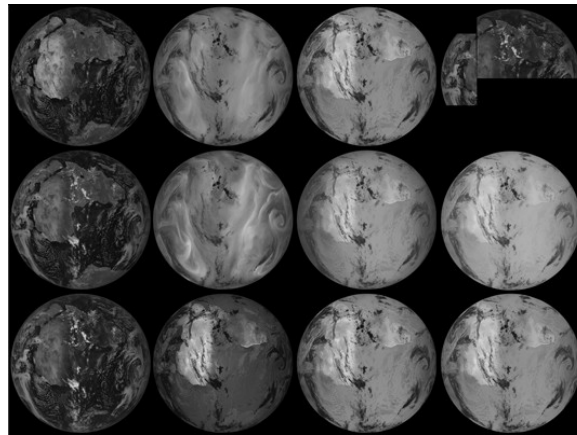
Quelle: [MOS-17], eigene Bearbeitung

Abb. 32: Aus HDF extrahiertes INSAT-3DR Level 2B Cloud Mask Produkt

5.2.5 Meteosat-8,-9,-10,-11; MSG (Meteosat Second Generation) - EUMETSAT Earth Observation Portal (EOP)

Der Zugriff auf die Daten dieser Satelliten (wobei sich gegenwärtig Meteosat-11 im "orbit storage" befindet [vgl. EUM-17]) erfolgt über die Online-Services der EUMETSAT. Als zentrales Portal dient hierbei das "Earth Observation Portal" (EOP), über welches sich nach Registrierung Zugang auf weitere Dienste bietet. Ohne weitere Lizenzen bzw. Ansuchen ist hierbei nur der Zugriff auf das "Data Centre" möglich, das ähnlich der Anbieter anderer Satellitendaten über eine Webmaske die Bestellung diverser Datenprodukte ermöglicht. Auch hier erfolgt nach der Order und einer kurzen Wartezeit die Verständigung per Mail, dass die Daten zum Download per HTTP oder dem auf Java basierenden "Data Centre [sic!] Download Tool" bereit sind (letztes ermöglicht auch die Funktion als "Daemon" Dienst, es bleibt also aktiv und überprüft, ob die geordneten Daten verfügbar sind und lädt diese im Anlassfall selbstständig herunter).

Für Meteosat relevant ist hierbei vor allem der "0° Service", der Zugriff auf Level 1.5 Daten im 30/60/180 Minuten Intervall bietet, wobei 30 und 60min eine Lizenz erfordern. Innerhalb dieser Produktfamilie findet noch eine Differenzierung zwischen "High Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree" und "Low Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree" statt, wobei ersterer Zugriff auf Daten von zwölf Spektralkanälen entweder im netCDF, HDF5, BSQ (Band Sequential Image File), Area, HRIT (High Rate Information Transmission), JPEG, PNG oder TIFF Format bietet. Zu beachten ist, dass die Level 1.5 Daten im IR Bereich nicht invertiert wurden, weswegen Wolken dunkel und Landmassen hell erscheinen (siehe Abb. 33 - bei einer weiteren Verwendung in einem globalen Cloud Cover Mosaik mit anderen Quelldaten müsste diese Invertierung deswegen nachträglich vorgenommen werden).



Quelle: [EUM-17]

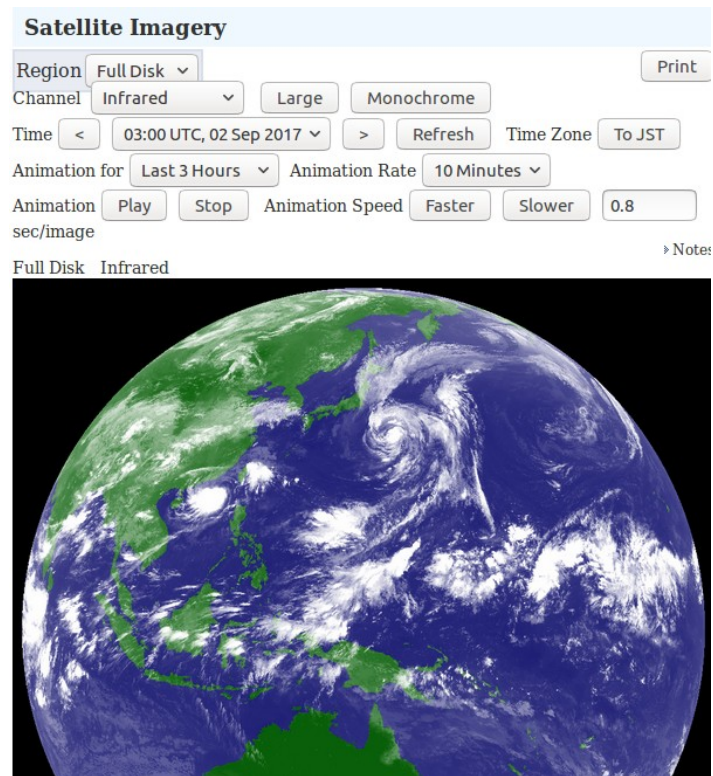
Abb. 33: Überblick des "High Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree" Produkt Inhaltes (90° nach links rotiert)

Beim "Low Rate SEVIRI Level 1.5 Image Data - MSG - 0 degree" Produkt beschränkt sich die Auswahl auf fünf Spektralkanäle und das JPEG Format - bei beiden Produkten wird alle 15min ein Full Disk Bild zur Verfügung gestellt, wobei (wie bei allen MSG Produkten) eine Auflösung von 3712x3712 geliefert wird.

Ein weiteres interessantes Produkt ist die Level 2 "Cloud Mask - MSG - 0 degree" bzw. "Cloud Mask - MSG - Indian Ocean", die, wie die INSAT-3DR Cloud Mask, ebenfalls vier verschiedene Pixelwerte ausweist: "clear sky over water, clear sky over land, cloud, or not processed (off Earth disc)" [EUM-17]. Die Daten werden dabei entweder als NetCDF oder GRIB (GRIdded Binary) zum Download angeboten und ebenfalls alle 15min generiert.

5.2.6 Himawari-8 - HimawariCloud Service

Der Zugriff auf die Daten von Himawari-8 erfolgt über den HimawariCloud Service, der alle 10min Full Disk Aufnahmen als PNG, HRIT oder binäres Himawari Standard Data-Format zur Verfügung stellt. Problematisch gestaltet sich allerdings der Zugriff auf diese Daten über "National Meteorological and Hydrological Services (NMHSs) in the East Asia/Western Pacific regions and elsewhere" [MSC-17], der aber nicht ohne weiteres möglich ist. Allerdings gibt es ebenfalls die Möglichkeit, direkt auf der Homepage "Real Time Satellite Imagery" anzuzeigen - allerdings nur in einer Auflösung von maximal 1024x1036. (siehe Abb. 34), wobei diese aber auch direkt abgerufen werden können (im Schema "http://www.jma.go.jp/en/gms/imgs_c/6/infrared/1/YYYYMMDDHHMM-00.png", wobei YYYYMMDDHHMM als Platzhalter für Jahr (YYYY), Monat (MM), Tag (DD), Stunde (HH) und Minute (MM) fungiert.



Quelle: [MSC-17]

Abb. 34: Meteorological Satellite Center (MSC) real-time Datenportal

5.2.7 GOES West und East, Meteosat SEVIRI, Meteosat SEVIRI (IODC), Himawari 8 - Dundee Satellite Receiving Station

Die Dundee Satellite Receiving Station der Dundee University unterhält up-to-date Bildarchive der geostationären Satelliten GOES West und East, Meteosat SEVIRI, Meteosat SEVIRI (IODC) und Himawari 8 (siehe Tab. 17). Nach einfacher Registrierung kann so relativ einfach auf die Bilder im PNG bzw. JPEG Format zugegriffen werden; zwar gibt die Seite selber ein Aktualisierungsintervall von einer Stunde an, aber es muss beachtet werden, dass bei manchen Satelliten nur z.B. alle drei Stunden ein Full Disk Scan (und nicht nur partiell) stattfindet (z.B. bei GOES-15, aber auch aus Lizenzgründen bei den Meteosat Satelliten [vgl. DUN-17]).

Insgesamt zeigen die Bilder folgende Parameter:

Satellit	FDS Intervall	FDS Zeit (UTC)	Max. Auflösung
GOES West (15)	180min	12:00:00	2816px x 3248px
GOES East (16)	60min	12:00:00	5424px x 5424px
MSG 0 degree	60min	12:00:00	3712px x 3712px
MSG Indian Ocean	60min	12:00:00	3712px x 3712px
Himawari 8	60min	12:00:00	5500px x 5500px

Quelle: [DUN-17], eigene Bearbeitung

Tab. 17: Übersicht über die Parameter der über die Dundee Satellite Receiving Station bereitgestellten Satellitendaten (FDS = Full Disk Scan)

Theoretisch wäre also, minimiert auf den Parametern von GOES-15, alle drei Stunden ein globales Cloud Cover Mosaik möglich, vor allem da - im Gegensatz zu den meisten anderen Datenportalen der Satellitenbetreiber selbst - die Bilder homogenisiert als PNG/JPEG Bilder vorliegen und leicht direkt ohne umständliche Webmasken downgeloadet werden können.

Will man die Bilder aber in einem Mosaik kombinieren, ist es noch wichtig, sich die jeweils bereitgestellten Spektralkanäle anzusehen, damit die Bilder (einigermaßen) homogen die gleichen Inhalte liefern (siehe Tab. 18).

Prinzipiell scheiden VIS-Bereiche aus, da diese vom Tageslicht abhängig sind; hält man sich weiters die Erkenntnisse aus Kapitel 3 vor Augen, zeigt sich dass die besten Ergebnisse zur differenzierten Wolkendarstellung Spektralbereiche im Thermalen IR geeignet sind. Da für eine homogene Darstellung jeweils vom "schwächsten Glied" ausgegangen werden muss, zeigt sich mit Blick auf die **GOES-15** Spektralkanäle, dass diese im Thermalen IR eine Wellenlänge von 10.2 – 11.2 μm (**Kanal 4**) liefern, während **GOES-16** dies in **Kanal 13** mit 10.3 μm tut (alternativ mit 11.2 μm in Kanal 14). Bei den **MSG** Satelliten korrespondiert am ehesten **Kanal 9** (9.80 - 11.80 μm) und bei **Himawari-8** **Kanal 13** (10.3 - 10.6 μm) mit dieser Vorgabe.

Satellit	Kanal	Spektralbereich	Beschreibung
GOES-15	1	0.5 – 0.7 μm	VIS-Grün bis Nahes-IR
	2	3.8 - 4.0 μm	Mittleres-IR
	3	5.8 - 7.3 μm	Mittleres-IR / Wasserdampf
	4	10.2 - 11.2 μm	Thermales IR
GOES-16	1	0.47 μm	Blau VIS
	2	0.64 μm	Rot VIS
	3	0.86 μm	Vegetation
	4	1.37 μm	Cirrus
	5	1.60 μm	Schnee/Eus
	6	2.20 μm	Wolkenteilchengröße
	7	3.90 μm	Kurzwelliges-IR
	8	6.20 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	9	6.90 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	10	7.30 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	11	8.40 μm	Wolkenobergrenzen
	12	9.60 μm	Ozon
	13	10.3 μm	Thermales IR
	14	11.2 μm	Thermales IR
	15	12.3 μm	Thermales IR
	16	13.3 μm	Thermales IR
MSG	1	0.56 - 0.71 μm	VIS-Grün bis VIS-Rot
	2	0.74 - 0.88 μm	VIS-Rot bis Nahes-IR
	3	1.50 - 1.78 μm	Nahes-IR bis Kurzwelliges-IR
	4	3.48 - 4.36 μm	Mittleres-IR
	5	5.35 - 7.15 μm	Mittleres-IR / Wasserdampf
	6	6.85 - 7.85 μm	Mittleres-IR / Wasserdampf
	7	8.30 - 9.10 μm	Thermales IR
	8	9.38 - 9.94 μm	Thermales IR
	9	9.80 - 11.80 μm	Thermales IR
	10	11.00 - 13.00 μm	Thermales IR
	11	12.40 - 14.40 μm	Thermales IR
	12 North	0.4 - 1.1 μm	Panchromatisch VIS North
	12 South	0.4 - 1.1 μm	Panchromatisch VIS Süd
	Colour	0.56 - 1.78 μm	RGB Komposit 3,2,1

Satellit	Kanal	Spektralbereich	Beschreibung
Himawari-8	1	0.43 - 0.48 μm	Blau VIS
	2	0.50 - 0.52 μm	Grün VIS
	3	0.63 - 0.66 μm	Rot VIS
	4	0.85 - 0.87 μm	Kurzwelliges-IR
	5	1.60 - 1.62 μm	Kurzwelliges-IR
	6	2.16 - 2.36 μm	Kurzwelliges-IR
	7	3.74 - 3.96 μm	Mittleres-IR
	8	6.06 - 6.43 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	9	6.89 - 7.01 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	10	7.23 - 7.49 μm	Wasserdampf / Mittleres-IR
	11	8.44 - 8.74 μm	Thermales IR
	12	9.54 - 9.72 μm	Thermales IR
	13	10.3 - 10.6 μm	Thermales IR
	14	11.1 - 11.3 μm	Thermales IR
	15	12.2 - 12.5 μm	Thermales IR
	16	13.2 - 13.4 μm	Thermales IR

Quelle: [DUN-17], eigene Bearbeitung

Tab. 18: Übersicht über die Spektralkanäle der Satelliten GOES (West/15 und East/16), MSG (0 degree und Indian Ocean) und Himawari-8

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Prinzipiell zeigt sich bei (fast) allen Satellitenbetreibern für den privaten User das gleiche Bild: Es gibt ein mehr oder weniger funktionelles Webportal, über das die gesuchten Daten geordert werden und nach kurzer Wartezeit dann per Mail die Verständigung erteilt wird, dass die Daten nun über HTTP oder FTP zum Download bereit seien. Hält man sich die Prämisse des "automatisierten Erstellens" vor Augen, zeigt sich eine technische Machbarkeit zwar durchaus möglich, wenn auch relativ umständlich, da für jedes Webportal ein eigener Zugriffs- und Akquirierungsalgorithmus geschaffen werden müsste. Hinzu kommt, dass die Daten meist nicht als einfaches ASCII bzw. Rasterformat angeboten werden, sondern meist als Containerformate wie HDF, aus dem dann weiters die gewünschten Daten erst extrahiert werden müssten (wenn dies auch über diverse Python Bibliotheken relativ leicht gemacht werden kann)- und dies alles, bevor mit der eigentlichen Mosaikierung begonnen wird.

Im Gegensatz dazu bildet die Dundee Satellite Receiving Station einen relativ leichten Weg an homogenisierte JPEG Daten zu gelangen, weswegen sich für diese Masterarbeit auf die Daten diesen Ursprungs konzentriert werden soll. Es gilt aber festzuhalten, dass JPEG Dateien mittels eines destruktiven Kompressionsalgorithmus erzeugt werden, weswegen sie für exakte wissenschaftliche Untersuchungen nicht geeignet sind.

6 Reprojektion und Mosaikierung

Nachdem in den vorigen Kapiteln erst die genauen Parameter, die die Quelldaten für ein globales real-time Cloud Cover Mosaik haben müssen, definiert wurden und anhand dieser betreffende Daten identifiziert wurden, gilt es nun, zuerst diese Daten in einen Zustand zu versetzen, die eine Weiterbearbeitung möglich machen, um diese anschließend zu einem globalen Mosaik zu verarbeiten. Aus diesem Grund soll in diesem Kapitel zuerst auf die Reprojektion und die damit einhergehenden potentiellen Komplikationen und anschließend auf verschiedene Mosaikierungsverfahren eingegangen werden, um aus diesen einen passenden Algorithmus generieren zu können.

Generell wird die Mosaikierung von Bildern nach [CAP-01] in drei unterschiedliche Schritte gegliedert:

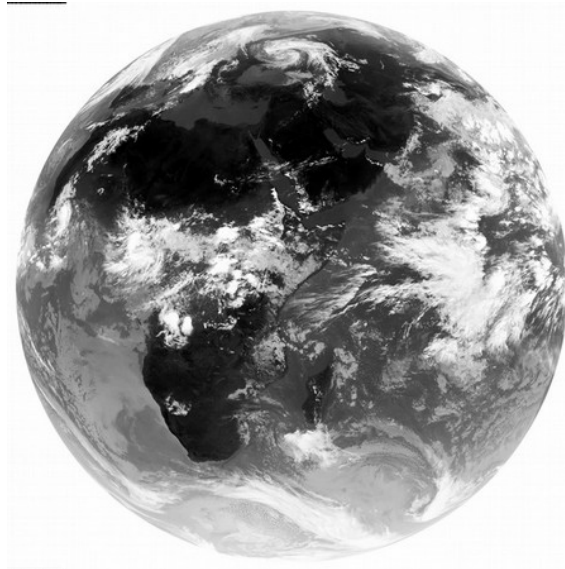
- **Registrierung:** Um Einzelbilder überhaupt miteinander in einem Mosaik kombinieren zu können, müssen diese zuerst in einem globalen Koordinatenrahmen registriert werden, der das resultierende "Gesamtbild" enthalten soll. Jedes Bild benötigt also eindeutige Koordinaten, die ihm seine Position im Mosaik zuweisen. [vgl. CAP-01]

Im kartographischen Bereich bieten sich dazu als "Übersetzung" relativ simpel geographische bzw. kartesische Koordinaten an, die dann via eines Algorithmus in die Bildkoordinaten (also Pixelwerte) übersetzt werden.

- **Reprojektion:** Nachdem mittels Registrierung jedes Bild einer eindeutigen Position im globalen Mosaik zugeordnet wurde, wird mittels einer Transformation das Ursprungsbild in den Rahmen des Mosaiks projiziert [vgl. CAP-01]. Im kartographischen Kontext wird also dem Ursprungsbild die neue Projektion des Mosaiks zugewiesen, was im Bezug auf Rasterdaten durch einen Resampling-Algorithmus geschieht.
- **Überblenden:** Der letzte Schritt des Mosaikierens ist das Überblenden ("Blending") der Bilder im Gesamtmosaik an jenen Stellen, wo sich diese überlappen [vgl. CAP-01]. Dadurch, dass die Bilder durch unterschiedliche Sensoren und durch die Reprojektion gerade in den äußeren Bereichen teils verschiedene Helligkeitswerte (bei monochromen) Bildern bzw. durch das Resampling auch teilweise Verzerrungen aufweisen, kann es in diesen Bereichen zu Artefakten kommen, für die verschiedene Verfahren zur Reduzierung bzw. Eliminierung existieren.

Diesen drei Schritten folgend muss also zuerst die Ursprungs- und Zielprojektion definiert werden, um eine Registrierung überhaupt möglich zu machen, des Weiteren gilt es, eine passende Repräsentierungsform für die automatisierte Weiterverarbeitung zu finden. Anschließend wird auf die Reprojektion bzw. die damit verbundenen Resamplingmethoden eingegangen, um abschließend das eigentliche Blending mittels eines möglichst artefakt-vermeidenden Verfahrens möglich zu machen.

6.1 Normalized Geostationary Projection (GEOS-Projektion)



Quelle: [DUN-17]

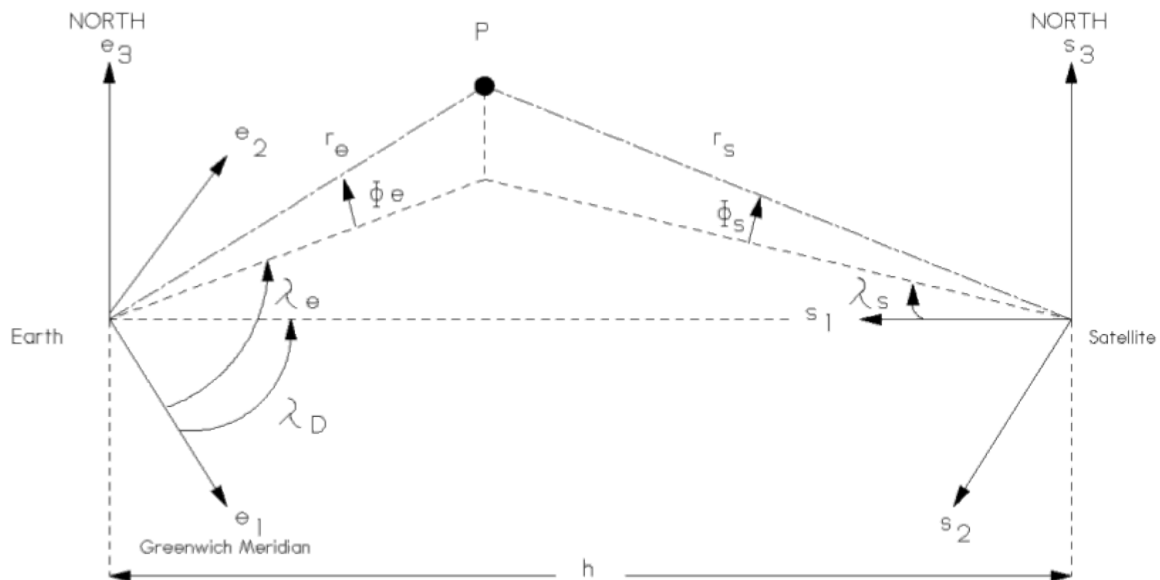
Abb. 35: Satellitenbild von MSG-1 (IODC), akquiriert über den Server der Dundee Satellite Receiving Station

Lädt man die gewünschten Satellitenbilder vom Server der Dundee Satellite Receiving Station herunter, bekommt man diese als Level 1.5 bzw. 1b Bilder geliefert (exemplarisch siehe Abb. 35). Um diese Daten also z.B. auf einer quadratischen Platkarte abzubilden, müssen diese von ihrer ursprünglichen Projektion neuprojiziert werden. Aus diesem Grund hat die Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS) 1999 eine genaue Definition für die "Normalized Geostationary Projection" vorgenommen (und bis zur aktuellen Version 2.8 vom Oktober 2013 upgedatet), die in ihren Parametern zwar auf die Meteosat-Satelliten spezifiziert wurde, prinzipiell aber für alle geostationären Satelliten anwendbar ist und folgendermaßen definiert ist:

GEOS (<sub_lon>)

wobei <sub_lon> den Längengrad des Subsatellitenpunkts in Grad als Integer oder als reellen Dezimal String definiert (vgl. [CGM-13]). Des weiteren wird das World Geodetic System 1984 (WGS84) verwendet, um die Werte der Projektion zu bestimmen, wodurch sich die "normalisierte geostationäre Projektion" (kurz GEOS-Projektion) durch einen virtuellen Satelliten auszeichnet, der sich perfekt über dem Äquator auf der Länge *sub_lon* befindet. Die Distanz zwischen Satelliten und dem Zentrum der Erde wird mit 42164km über der idealisierten Erde als oblates Rotationsellipsoid mit dem Äquatorradius $a = 6378.1370\text{km}$ und dem polaren Radius b (bzw. c) = 6356.7523km bestimmt (also dem Referenzellipsoid WGS84' entsprechend), wodurch sich eine Satellitenhöhe von 35785.831km errechnet. [vgl. CGM-13]

Als kleine Randnotiz weichen diese Werte interessanterweise in der originären Version von 1999 ab, in der $a = 6378.1690\text{ km}$ und $b = 6356.5838\text{ km}$ definiert sind. Die Änderung dieser Werte auf WGS84 fand 2012 in der Version 2.7 statt, als Begründung wurde die potentielle Verwirrung und Fehlerquelle bei der Kombination mit GPS-basierten Daten, Numerischen Wettervorhersagen, Geographischen Informationssystemen, verschiedenen Anwendungen für Landoberflächen oder beim gegenseitigen Austausch von Daten mit den Nutzern dieser genannt. [vgl. CGM-99 und CGM-11]



Quelle: [CGM-13]

Abb. 36: Definition der Variablen des Koordinaten-Gitter der GEOS-Projektion

Abb. 36 skizziert die Parameter für die Berechnung der Vorwärts- und Rückwärtsprojektion, wobei dafür jeweils zwei kartesische Koordinatenrahmen für das Zentrum der Erde (e_1, e_2, e_3) und der Satellitenposition (s_1, s_2, s_3) verwendet werden und P einen beliebigen Punkt auf der Erdoberfläche definiert, und kommt nach [CGM-13] zu folgendem Ergebnis (Details siehe CGM-13):

Vorwärtsprojektion:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \arctan\left(\frac{-r_2}{r_1}\right) \\ \arcsin\left(\frac{-r_3}{r_n}\right) \end{pmatrix} \quad (1)$$

x und y können gleichermaßen als Definition der Bildkoordinaten gesehen werden [vgl. COM-09].

Dadurch ergeben sich für die Variablen r_1, r_2, r_3 (die kartesischen Komponenten des Vektors r_s), r_n , sowie die Hilfsvariablen r_l und c_lat (werden benötigt um jene zu definieren), folgende Werte:

$$\begin{aligned} r_1 &= 42164 - r_l \cdot \cos(c_lat) \cdot \cos(lon - sub_lon) \\ r_2 &= -r_l \cdot \cos(c_lat) \cdot \sin(lon - sub_lon) \\ r_3 &= r_l \cdot \sin(c_lat) \\ r_n &= \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2} \\ r_l &= \frac{6356.7523}{\sqrt{1 - 0.00669438444 \cdot \cos^2(c_lat)}} \\ c_lat &= \arctan(0.993305616 \cdot \tan(lat)) \end{aligned} \quad (2)$$

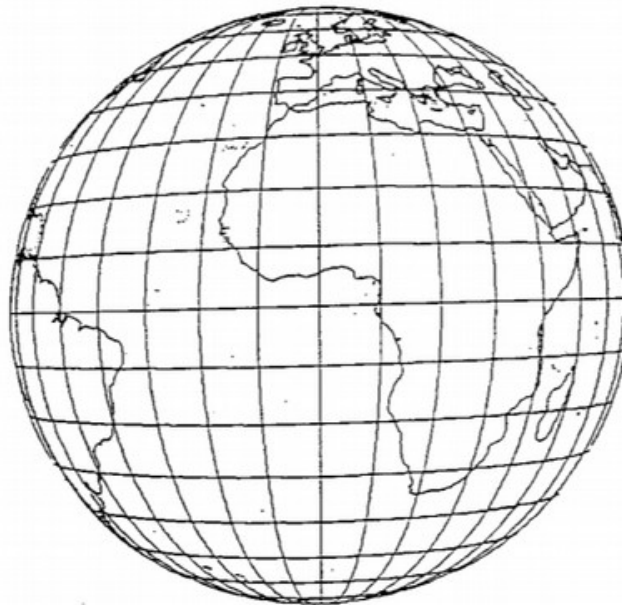
Die Rückwärtsprojektion gestaltet sich folgendermaßen:

$$\begin{pmatrix} lon \\ lat \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \arctan\left(\frac{S_2}{S_1}\right) + sub_lon \\ \arctan\left(1.006739501 \cdot \frac{S_3}{S_{xy}}\right) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Und daraus folgend für die Variablen s_1, s_2, s_3, s_{xy} und die Hilfsvariablen s_n und s_d :

$$\begin{aligned} s_1 &= 42164 - s_n \cdot \cos(x) \cdot \cos(y) \\ s_2 &= s_n \cdot \sin(x) \cdot \cos(y) \\ s_3 &= -s_n \cdot \sin(y) \\ s_{xy} &= \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \\ s_n &= \frac{42164 \cdot \cos(x) \cdot \cos(y) - s_d}{\cos^2(y) + 1.006739501 \cdot \sin^2(y)} \\ s_d &= \sqrt{(42164 \cdot \cos(x) \cdot \cos(y))^2 - (\cos^2(y) + 1.006739501 \cdot \sin^2(y)) \cdot 1737122264} \end{aligned} \quad (4)$$

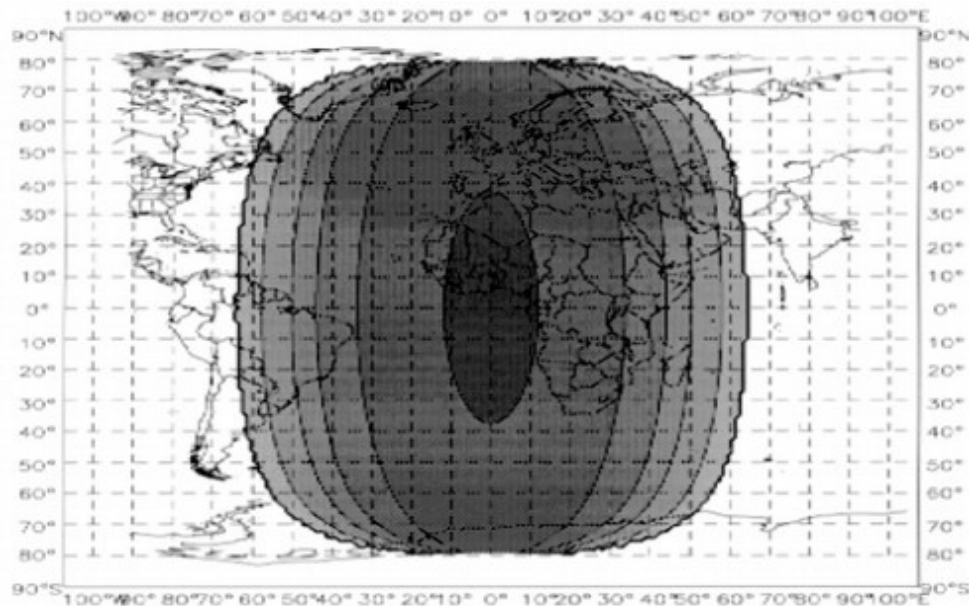
Folgende Abbildung zeigt das dadurch projizierte Koordinatengitter über Küstenlinien:



Quelle: [CGM-13]

Abb. 37: Koordinatengitter für die GEOS-Projektion ("Normalized Geostationary Projection")

Werden also Aufnahmen bzw. Daten aus dieser Projektion z.B. in eine quadratische Plattkarte projiziert, ergeben sich, wie in Abb. 38 ersichtlich, beträchtliche Verzerrungen an den Rändern bzw. äußerem Radius der Erdscheibe:



Quelle: [COM-09]

Abb. 38: Verzerrung bei MSG Level 1.5 Datensätzen

Geht man bei MSG-3 von einer räumlichen Auflösung von 3km pro Pixel im Nadir aus, so ergeben sich im dunkelgrauen Bereich Auflösungen von 3.1km/Pixel, über 4km, 5km, 6km, 8km und 11km (von dunkel zu hellgrau). [vgl. COM-09]

Aus diesem Grund wird auch deutlich, weshalb es wichtig ist, eine ausreichende Zahl Satelliten zur globalen Abdeckung zur Verfügung zu haben.

6.2 Bibliotheken/Systeme zur Definition und Konvertierung von Kartennetzentwürfen

Nachdem die GEOS-Projektion nun definiert wurde, muss nun in einem nächsten Schritt der Inhalt in eine quadratische Plattkarte transformiert werden. Dazu gibt es eine Reihe von Implementationen für die vereinfachte Konvertierung von Geodaten zwischen verschiedenen Koordinatennetzentwürfen bzw. Koordinatenreferenzsystemem ("Spatial Reference System", oder kurz SRS). Dadurch wird ermöglicht, dass sich User nicht dediziert um die genaue mathematische Transformation kümmern müssen, sondern lediglich die Rahmenparameter des jeweiligen SRS bestimmen und dadurch leicht Konvertierungen vornehmen können. [vgl. SPA-17b]

6.2.1 EPSG (Codes)

Die 1986 gegründete und 2005 in die IOGP ("International Association of Oil & Gas Producers") übergegangene European Petroleum Survey Group (EPSG), definierte das "EPSG Geodetic Parameter Dataset", welches eine Sammlung verschiedener Koordinatenreferenzsysteme und Koordinaten-Transformationen für globale, regionale, nationale oder lokale Anwendungen ist. Die Codes bestehen aus vier- bis fünf-stelligen Nummern und referenzieren auf eine Onlinedatenbank, die die jeweiligen genauen Parameter enthält. [vgl. EPS-17]

Genau genommen handelt es sich hierbei also nicht um die genauen Projektionsparameter selbst, sondern lediglich um eine Referenz darauf, soll seiner Verbreitung und einfachen Nutzung wegen hier aber dennoch Erwähnung finden.

Eine definitive Zuordnung eines EPSG-Codes für die GEOS-Projektion ist bis dato nicht existent, es kann aber (mittels einiger Anpassungen) auf den Code 4326 zurückgegriffen werden.

6.2.2 Proj.4

Proj.4 ist eine Unix basierte Bibliothek für die Konvertierung geographischer Koordinaten in kartesische Koordinaten und umgekehrt [vgl. EVE-17 und EVE-90]. Die Entwicklung dafür begann ursprünglich Gerald Evenden vom USGS (United States Geological Survey) im Jahr 1983, wurde aber stetig weiter forciert und befindet sich heute in der vierten Version [vgl. EVE-17]. Mittlerweile wird es als OSGeo Projekt von Frank Warmerdam weiter gepflegt und findet neben seiner Unix-Kommandozeilen Implementierung (cs2cs) und seiner nativen C Unterstützung unter anderem auch Übersetzungen in C++, JavaScript, Java und Python. Es findet Verwendung in MapServer, GRASS GIS, PostGIS, GDAL und weiteren Anwendungen [vgl. OGS-17].

Unter proj4.org findet sich eine Liste der diversen, in Proj.4 repräsentierten Projektionen, die GEOS-Projektion wird dort als "Geostationary Satellite View" geführt und beispielhaft folgendermaßen deklariert:

```
+proj=geos +h=35785831.0 +lon_0=-60 +sweep=y
```

6.2.3 WKT

WKT steht für "Well known Text" und stellt eine weitere Variante dar, maschinen- und menschenlesbar geometrische Objekte wie auch Koordinatenreferenzsysteme und deren Transformationen zu definieren. Es wurde vom OGC (Open Geospatial Consortium) ins Leben gerufen und stellt in seiner gegenwärtigen Form eine Erweiterung der ursprünglichen WKT Version dar. [vgl. OGC-15]

Neben der originären OGC Implementation, gibt es ebenfalls die Möglichkeit WKT in HTML zu definieren, daneben gibt es von ESRI eine eigene Version von WKT mit leichten Unterschieden zum OGC Standard, siehe beispielhaft bei der Definition der GEOS-Projektion (Unterschiede fett hervorgehoben):

OGC WKT:

```
PROJCS["unnamed",GEOGCS["unnamed_ellipse",DATUM["unknown",SPHEROID["unnamed",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Geostationary_Satellite"],PARAMETER["central_meridian",0],PARAMETER["satellite_height",-0],PARAMETER["false_easting",0],PARAMETER["false_northing",0]]
```

ESRI WKT:

```
PROJCS["Geostationary_Satellite",GEOGCS["unnamed_ellipse",DATUM["D_unknown",SPHEROID["Unknown",6378137,298.257223563]],PRIME
```



```
M["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943295]],PROJECTION["Geostatio  
nary_Satellite"],PARAMETER["central_meridian",0],PARAMETER["satellite_heigh  
t",-  
0],PARAMETER["false_easting",0],PARAMETER["false_northing",0],UNIT["Meter",  
1]]
```

6.2.4 Weitere Formate zur digitalen Repräsentierung von Kartennetzentwürfen

Neben den bereits erwähnten Standards gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten zur Beschreibung von Kartennetzentwürfen und deren Transformation, die aber entweder spezifisch für spezielle Programme definiert wurden (z.B. Mapinfo Style CoordSys Format), oder generellen Einsatz finden (z.B. JSON oder GML), der Vollständigkeit halber hier aber dennoch angeführt werden sollen:

- Mapinfo Style CoordSys Format: Dieses "Format" ist Teil der Spezifikation des MapInfo Interchange File (MIF) Formats des MapInfo GIS und ermöglicht die Definition von Koordinatennetzentwürfen zur weiteren Verarbeitung in diesem. [vgl. MAP-99]
- JSON: Die "JavaScript Object Notification" bzw. GeoJSON, als deren spezifische Weiterentwicklung für kartographische Zwecke, dienen zur einfachen textuellen Repräsentation von (Geo-)Daten zum Austausch zwischen verschiedenen Anwendungen. GeoJSON kann verschiedene geometrische Strukturen bzw. geographische "Features", deren Eigenschaften und räumliche Ausdehnung verarbeiten und kann für Koordinatennetzentwürfe z.B. auf EPSG zurückgreifen. [vgl. IET-16]
- GML: Die "Geography Markup Language" ist eine auf XML basierende Auszeichnungssprache, die vom OGC definiert wurde. Sie dient zur Beschreibung geographischer Features und deren Austausch. [vgl. OGC-17]
- .prj File: Prinzipiell ist prj ein Containerformat für verschiedene Anwendungen, dient aber GIS Bereich als "Projection metadata file" für Shapefiles und enthält also detaillierte Informationen über das Koordinaten(referenz)system. [vgl. ESR-17]
- MapServer Mapfile: Ein MapServer Mapfile ist integraler Bestandteil des OSGeo Webmapping Projekts MapServers, in dem die (räumlichen) Daten und deren Relation beschrieben werden. Projektionen werden intern durch EPSG-Codes für eine Referenz oder Proj.4 Notation deklariert. [vgl. MAP-17]
- Mapnik XML: Das Open Source Toolkit Mapnik dient als Backend zum Rendern von Desktop- und Server basierten Karten. Das Mapnik XML File dient dabei zur genauen Beschreibung "was" und "wie" das jeweilige Kartenbild gerendert werden muss und enthält ebenfalls eine eigene Notation zum Umgang mit Projektionen. [vgl. MAP-09]

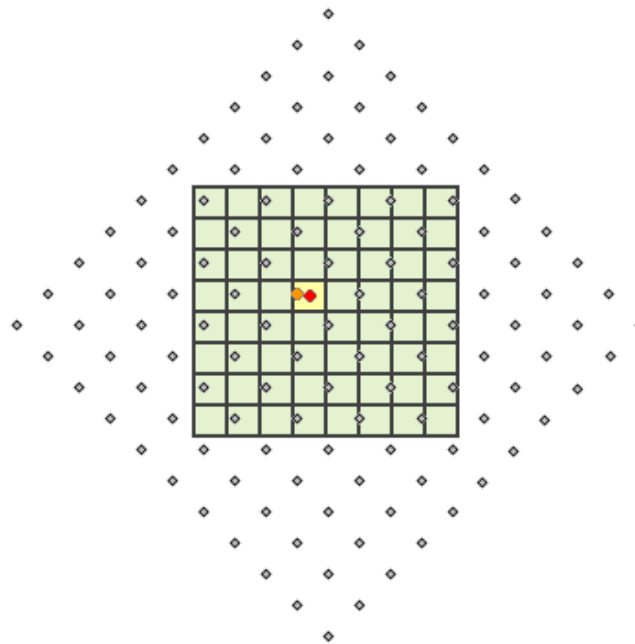
6.3 Grundlegende Einführung in Raster Resampling

Resampling bezeichnet (im kartographischen Kontext) den Prozess der Bild-Transformation von einem Koordinatensystem (bzw. Projektion) in ein anderes, wobei jene durch die Abbildungsfunktion der räumlichen Transformation miteinander verknüpft sind [vgl. DIE-17].

Da die Rasterzellen im Ursprungs- bzw. Zielbild in ihrer Größe variieren bzw. überlappen können, müssen die Pixel im Zielbild aus einer Kombination verschiedener Pixel des originären Bildes gebildet bzw. interpoliert werden. Dafür gibt es im Bereich des Raster Resamplings mehrere Algorithmen, wovon die wichtigsten bzw. gängigsten hier kurz beschrieben werden sollen, um für den spezifischen Zweck dieser Masterarbeit eine Entscheidungshilfe zur richtigen Auswahl darzustellen.

6.3.1 Nearest Neighbor

Einer der verbreitetsten und einfachsten Algorithmen ist Nearest Neighbor ("Nächste-Nachbarschaft"). Dabei wird jedem Output-Pixel (roter Punkt) der Wert des nächsten Input-Pixels (gelber Punkt) zugewiesen (siehe Abb. 39). Dadurch, dass diese Methode sehr einfach ist, weist sie im Vergleich zu komplexeren Algorithmen einen deutlichen Geschwindigkeitsvorteil auf. Problematisch gestaltet sich allerdings die Zuweisung von einzelnen Input-Pixeln zu einer größeren Zellengröße, wodurch die Darstellung "blockartig" werden kann. [vgl. ARI-05 und GIS-17].



Quelle: [ARC-18]

Abb. 39: Funktionsweise von Nearest Neighbor Resampling

Dies gestaltet sich im Fall der Reprojektion der GEOS-Projektion auf eine quadratische Platkarte insbesondere in den Randgebieten problematisch (siehe auch Abb. 38 in Kapitel 6.1). Optimalerweise eignet sich Nearest Neighbor also vor allem für diskrete bzw. ordinale und nominale Daten mit klaren Grenzen wie z.B. Landnutzungsdaten.

6.3.2 Bilineare Interpolation

Bei der bilinearen Interpolation wird für den Wert des Output-Pixels (rot) der Durchschnitt der gewichteten Werte (bzgl. der Entfernung) der vier nächstliegenden Input-Pixel (gelb) herangezogen (siehe Abb. 40) [vgl. ARI-05]. Dadurch werden die Ursprungswerte geglättet ("smoothed"), aber nicht im Ausmaß von Cubic Convolution. Dadurch entsteht gleichermaßen

ein gewisser Anti-Aliasing (Kantenglättung) Effekt, der sich positiv auf die Bildqualität bei begleitendem Informationsverlust auftritt. Dadurch befindet sich das Einsatzgebiet von bilinearer Interpolation vor allem bei kontinuierlichen Daten wie Höhenmodellen, Temperaturgradienten etc. [vgl. GIS-17].

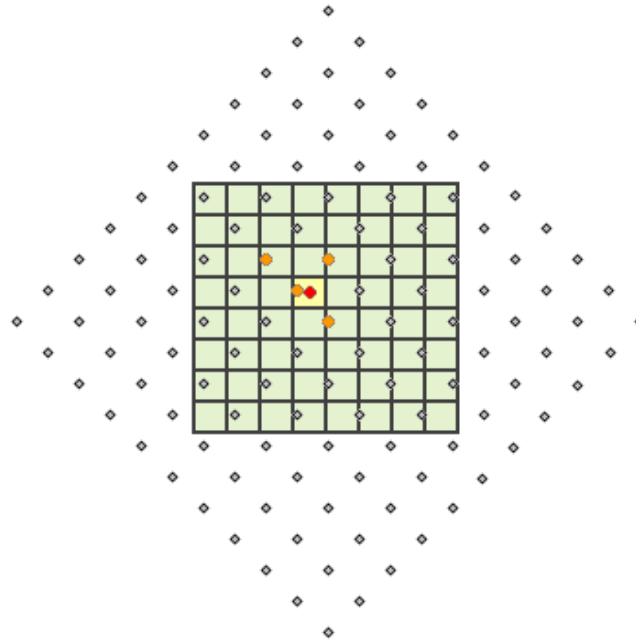
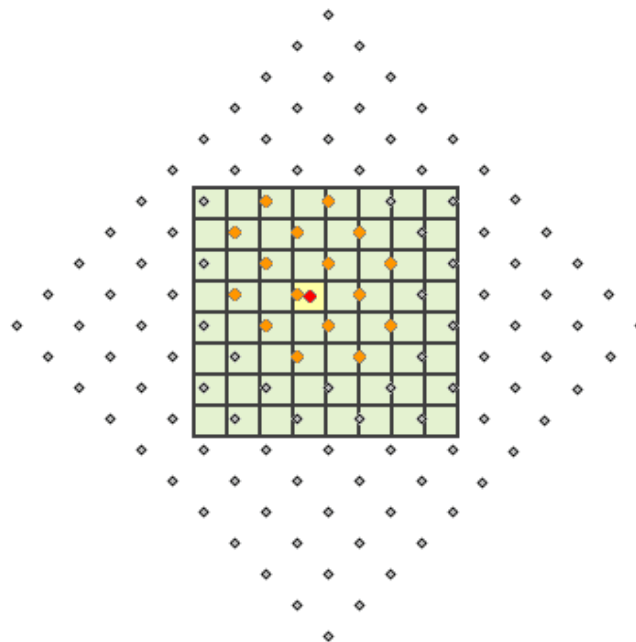


Abb. 40: Quelle: [ARC-18]

Abb. 41: Funktionsweise Bilinearer Interpolation

6.3.3 Cubic Convolution



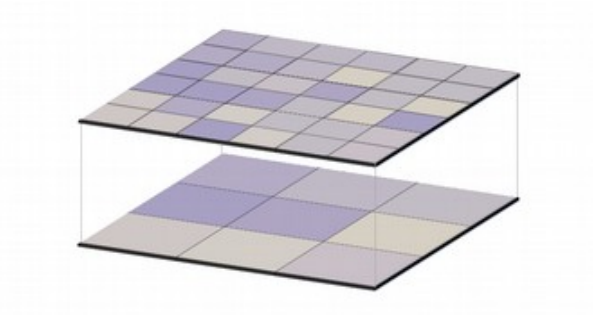
Quelle: [ARC-18]

Abb. 42: Funktionsweise von Cubic Convolution

Cubic Convolution bzw. Bikubische Interpolation berechnet das Output-Pixel durch Berechnung des gewichteten Durchschnitts eines Blocks der nächstgelegenen 16 Pixeln (gelb), welche das Input-Pixel (rot) umgeben (siehe Abb. 41). Dadurch werden die resultierenden Bilder schärfer und weniger verschwommen als bei bilinearer Interpolation, geht aber mit dem Nachteil weitaus größeren Rechenaufwandes einher. [vgl. ARI-05]

Die Einsatzzwecke im GIS Bereich liegen dadurch im Glätten von Input-Daten, wie z.B. bei Radardaten, um "Noise" bzw. Bildrauschen zu minimieren [vgl. GIS-17].

6.3.4 Majority Resampling

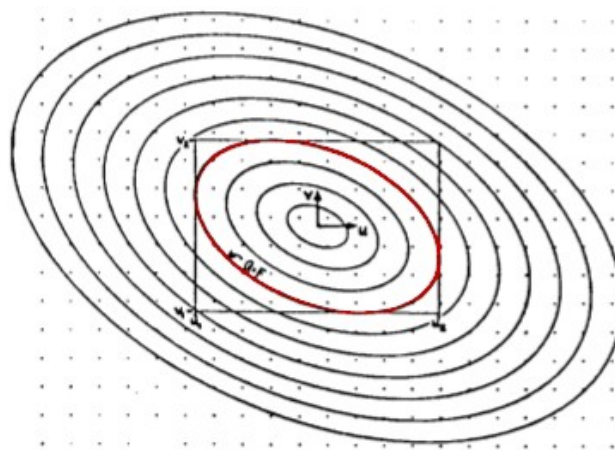


Quelle: [GIS-17]

Abb. 43: Funktionsweise von Majority Resampling

Majority Resampling funktioniert ähnlich wie Nearest-Neighbor, allerdings beziehen die Output-Pixel nicht den Wert des naheliegendsten Input-Pixel, sondern berechnen sich durch das häufigste Vorkommen in einer z.B. 2x2 Matrix (siehe Abb. 42). Der Verwendungszweck gestaltet sich ähnlich wie bei Nearest Neighbor für diskrete Daten. [vgl. GIS-17]

6.3.5 Elliptical Weighted Averaging (EWA)



Quelle: [HEC-89], eigene Bearbeitung

Abb. 44: Funktionsweise von EWA

Im Gegensatz zu den k-d-Baum Ansätzen (stark vereinfacht formuliert eine Struktur, um Punkte eines Raumes zu speichern; Details siehe z.B. [SAY-15]) wie Nearest Neighbor, die

nach den nächstgelegenen Input-Pixeln suchen, um dort einen Interpolationsalgorithmus anzuwenden, verfolgt EWA einen anderen Ansatz: jedes Input-Pixel wird einem oder mehreren Output-Pixeln zugeordnet, analysiert und anschließend mit den bereits bestehenden Zwischenresultaten gemittelt [vgl. PYT-15]. Abb. 43 zeigt die prinzipielle Funktionsweise EWA's: es werden nur Pixel innerhalb der rechteckigen Box gescannt und von dort nur jene für die Gewichtungsfunktion miteinberechnet, die sich innerhalb der rot-markierten Ellipse befinden. Durch die Verwendung von Ellipsen eignet sich dieser Algorithmus besonders gut für perspektivische und affine Transformation [vgl. HEC-89].

6.4 Resampling der Daten mit Python

Die praktische Umsetzung der Reprojektion von Satellitendaten aus der GEOS-Projektion in eine quadratische Platkarte erfolgt mittels Resampling, wobei diverse Algorithmen zur Verfügung stehen, die ihrerseits wieder spezifische Vor- und Nachteile haben. Grundsätzlich ist es möglich, die Umsetzung dieser Algorithmen im Programmcode selbst vorzunehmen, allerdings gibt es gerade für Python mehrere vordefinierte Pakete, die diese Funktionen bereits implementiert haben. Die hier aufgeführten stellen aber nur eine kleine Auswahl aus dem ansonsten sehr reichhaltigen Fundus der Python-Pakete mit GIS-Funktionalität dar, weswegen hier weder Anspruch noch der Versuch einer vollständigen Auflistung gestellt werden kann. Die dezidierte Auswahl eines Pakets soll im Zuge der praktischen Realisierung in Kapitel 7 erfolgen.

6.4.1 GDAL - Geospatial Data Abstraction Library

GDAL begann seine Entwicklung 1998 unter Frank Warmerdam und ist damit eine der ältesten und bekanntesten FOSS ("Free and Open Source Software") Bibliotheken für die Bearbeitung räumlicher (Raster- und Vektor) Daten. Sie ist an sich kein spezielles Pythonpaket, findet aber neben der nativen Unterstützung in C/C++ und einigen anderen Programmiersprachen (C#, Java, Perl, ...), auch in Python eine Implementation. Daneben lässt sie sich in Unix-basierten Betriebssystemen direkt als Kommandozeilenfunktion und über kleinere Umwege (z.B. GISInternals) auch in Windows nutzen. Dazu ist sie integraler Bestandteil diverser Software, wovon vor allem QGIS, MapServer und GRASS GIS bekannt sind. Zu ihren Stärken zählen, neben der relativ guten Geschwindigkeit durch die (hardwarenahe) Entwicklung in C/C++, die Unterstützung zahlloser Raster- und Vektorformate (in der aktuellen Version 2.2.2 sind es 142 Raster- und 84 Vektorformate) und ein weitreichender Fundus diverser Werkzeuge für Raster-, Vektor- und (geographischer) Netzwerkdaten. Der Python Support ist zwar umfangreich, gestaltet sich aber eher schwer zugänglich (es erfolgt zwar eine genaue Beschreibung der Syntax der jeweiligen Pythonmodule, aber keine genaue Beschreibung der Funktionen an sich, was gerade bei unerfahrenen Usern zu Verwirrung führen könnte). [vgl. GDA-17]

6.4.2 Cartopy

Cartopy ist ein speziell für Python entwickeltes Paket für "kartographische Tools" und wird unter der Schirmherrschaft der britischen Meteorologiebehörde Met Office als freie Software unter einer LGPL3 Lizenz (GNU Lesser General Public License) entwickelt [vgl. CAR-17]. Cartopy ist nativ in Python geschrieben, wodurch sich gegenüber hardwarenäheren

Implementationen wie z.B. GDAL oder Pyresample Geschwindigkeitsnachteile ergeben können. Der Schwerpunkt Cartopy's liegt im Erzeugen von Karten für Datenanalysen und -visualisierungen, ermöglicht relativ leicht die Umprojizierung von einem Koordinatensystem in ein anderes und kann neben der Integration von Matplotlib (eine Bibliothek zum leichten Erzeugen mathematischer Darstellungen) als ein weiteres Hauptmerkmal eine gute Verarbeitung von Vektordaten vorweisen. [vgl. CAR-17]

6.4.3 Pyresample

Pyresample ist Teil von Pytroll, einer Sammlung diverser FOSS Python-Pakete spezifisch für das Lesen, Verarbeiten und Schreiben von Wettersatellitendaten. Es entstand 2009 aus einer Kooperation zwischen der dänischen Meteorologiebehörde DMI und deren schwedischem Pendant SMHI, hat bis dato aber eine internationale Nutzerbasis aufbauen können. Der Vorteil Pyresamples gegenüber Cartopy liegt vor allem in der höheren Geschwindigkeit, der auf die (bis dato) bessere Implementation seines k-d-Baumes zum Resampling zurückgehen dürfte. Es ermöglicht die Verarbeitung geostationärer "gerasterter" (gridded) Daten wie auch LEO-Schwaden (Swath Data). Dazu hat es eine Reihe diverser Resampling Methoden (Nearest Neighbour, Bilinear, Cubic Convolution, Gaussian Weighting und Elliptical Weighted Averaging) mit der optionalen Möglichkeit eigene "custom made" (radiale Gewichtung) Resampling-Algorithmen zu integrieren.[vgl. PYT-15].

6.4.4 Geopandas

Geopandas ist ein weiteres Open Source Projekt, mit dem Ziel das Arbeiten mit räumlichen Daten in Python einfacher zu machen, in dem es die Stärken der Pakete Pandas (zur Arbeit mit hoch performanten und einfach zu bedienenden Daten-Strukturen und -Analysen, ähnlich wie Numpy) und Shapely (zur Manipulation und Analyse planarer Geometrie) kombiniert. Dadurch wird es möglich, komplexere Operationen durchzuführen, für die man ansonsten womöglich räumliche Datenbanken wie PostGIS benötigen würde. [vgl. GEO-17]

6.4.5 PyGeoprocessing

PyGeoprocessing stellt eine Reihe von Operationen zur Verarbeitung von Raster- und Vektordaten zur Verfügung (Reklassifikation, Warpen, Raster Calculator, etc.), mit dem besonderen Fokus auf hydrologische Methoden (also z.B. Abflussrichtungen), wie sie ähnlich auch in ArcGIS, QGIS und ähnlichen Geoinformationssystemen integriert sind [vgl. PYG-17]. Entwickelt wird das Paket vom "Natural Capital Project", das eine Partnerschaft zwischen der Stanford University, der University of Minnesota, der Nature Conservancy und dem WWF darstellt, mit dem Ziel, Entscheidungsträgern zu helfen, den wahren Wert der ökologischen Ressourcen besser einschätzen zu können, indem ihnen (Software-)Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden, um die Biodiversität und Ökosysteme besser schützen zu können [vgl. WWF-17].

6.4.6 Pyproj

PyProj dient als Python-Schnittstelle zu den Proj.4 Funktionen und stellt dadurch dessen kartographische Transformationen und geodätische Berechnungen zur Verfügung. Im Detail ermöglicht sie die Konvertierung von geographischen zu kartesischen Koordinaten und vice versa oder von einem Projektionssystem in ein anderes. Des Weiteren werden Algorithmen zur Lösung der beiden geodätischen Hauptaufgaben (also von rechtwinkligen Koordinaten in Polarkoordinaten und umgekehrt) zur Verfügung gestellt. Die Inputkoordinaten können hierbei über Python Arrays, Listen bzw. Tupeln, Skalare oder Numpy Arrays übergeben werden. [vgl. WHI-06]

6.5 Verschiedene Mosaikierungsverfahren

Sind die einzelnen Ursprungsbilder in der gewünschten Auflösung und Projektion generiert, gilt es abschließend die Einzelbilder in einem Mosaik als Komposit zusammenzufügen [vgl. SER-13]. Wären alle Bilder in ihren Überlappungsbereichen vollkommen kongruent (im Sinne, dass die Pixel exakt die gleiche Information beinhalten), würde eine einfache Pixel-Kombination genügen, allerdings treten durch bereits erwähnte Instrumenten- und Satellitenunterschiede sowie Bildkompression und Resampling Unterschiede und potentielle Artefakte auf (Seamlines bzw. Nahtlinien, Blurring bzw. Unschärfe sowie Ghosting, also doppelte Bildinhalte bzw. teilweise, versetzte Kopien von Bildinhalten). [vgl. SZE-06]

Aus diesem Grund ist es für homogene, weitgehend artefaktfreie Mosaike wichtig, welche Pixel für Blending (Überblendung) oder Weighting (Gewichtung) herangezogen werden sollen und wie genau dies stattfinden soll. Aus diesem Grund sollen im Folgenden einige Methoden vorgestellt werden, wobei zu beachten ist, dass zwischen diesen Methoden logische Überlappungen stattfinden können. [vgl. SZE-06]

6.5.1 Feathering und Center-Weighting

Der einfachste Weg, ein globales Mosaik zu erschaffen, ist jedem Pixel (im Überlappungsbereich) den Durchschnittswert der beitragenden Pixel zuzuweisen :

$$C(\mathbf{x}) = \sum_k w_k(\mathbf{x}) \tilde{I}_k(\mathbf{x}) / \sum_k w_k(\mathbf{x}) \quad (5)$$

$\mathbf{x}$ seien nach [SZE-06] die normalisierten Gerätekoordinaten mit $x = [-1,1]$ und $y = [-\alpha,\alpha]$, um unabhängig von der Pixelauflösung eines Bildes zu sein, wobei α das inverse Bild-Seitenverhältnis ist (Details siehe [SZE-06]). $\tilde{I}$ definiert die (2 x 2) Einheitsmatrix (gleicher Form für alle beitragenden Bilder), ω_k die Menge k aller endlichen Ordinalzahlen. [vgl. SZE-06]

$I_k(\mathbf{x})$ definiert die resampelten Bilder und $\omega_k(\mathbf{x})$ ist 1 bei gültigen Pixeln und ansonsten 0. Dieser einfach zu implementierende Algorithmus hat aber auch Nachteile, da Unterschiede zwischen den Bildern (also betreffend z.B. Helligkeit) und geometrische Versetzungen (resultierend in Ghosting) sehr leicht sichtbar sind. Ersterem kann man in gewissem Ausmaß mittels eines Median Filters beikommen, bei dem jeder Wert mit dem Median der ihn umgebenden Pixel ersetzt wird. [vgl. SZE-06]

Laut Szeliski [SZE-06] ist ein besserer Zugang, die Pixel in der Mitte des jeweiligen Quellbildes stärker zu gewichten als jene an seinen Rändern. Dies kommt auch den durch das Resampling der GEOS-Projektion in eine quadratische Platkarte auftretenden Verzerrungen an den Bildrändern entgegen, da so sichergestellt wird, dass jene Pixel gewählt werden, die mit höherer Wahrscheinlichkeit geometrische Korrektheit und bessere räumliche Auflösung aufweisen (siehe diesbezüglich auch Kapitel 6.1 und Abb. 38). Dies kann durch die von [SZE-06] vorgeschlagene "Distance Map" (alternativ sonstige radiale Gewichtungsfunktionen) erreicht werden, bei der jedes gültige Pixel mit seinem euklidischen Abstand zum nächsten ungültigen Pixel markiert wird: [vgl. SZE-06]

$$w_k(\mathbf{x}) = \left\| \arg \min_{\mathbf{y}} \{ \|\mathbf{y}\| \mid \tilde{I}_k(\mathbf{x} + \mathbf{y}) \text{ is invalid} \} \right\| \quad (6)$$

Der euklidische Abstand kann relativ leicht durch einen Two-Pass Algorithmus berechnet werden (also ein Algorithmus, der zwei Mal über die betroffenen Pixel iteriert; beim ersten Durchgang werden temporäre Labels und die Gleichwertigkeiten ermittelt, beim zweiten Durchgang werden die temporären Label durch das niedrigste Label der gleichwertigen Klasse ersetzt).

Das Gewichten vom Durchschnitt mittels einer Distance Map ist auch als "Feathering" bekannt, eignet sich gut für Blending zweier Bilder mit unterschiedlich hellen Pixeln, zeigt sich aber dennoch noch fehleranfällig für Ghosting und Blurring. Eine Option Feathering zu verbessern, ist das Zuweisen von größeren Potenzen von $w_k(\mathbf{x})$ in Formel (5), z.B. $p = 10$. Dadurch werden die gewichteten Durchschnittswerte von größeren Werten dominiert, wodurch sich eine gute Balance zwischen Helligkeitsunterschieden und Unschärfe ergibt. [vgl. SZE-06]

Weitere Weighting Algorithmen sind z.B. Voronoisegmentierung, Poisson Blending etc., die sich aber vor allem für detailreichere Aufnahmen (z.B. im VIS-Bereich) von LEOS anbieten und deswegen an dieser Stelle nicht näher behandelt werden sollen [für Details siehe SER-13 und SZE-06].

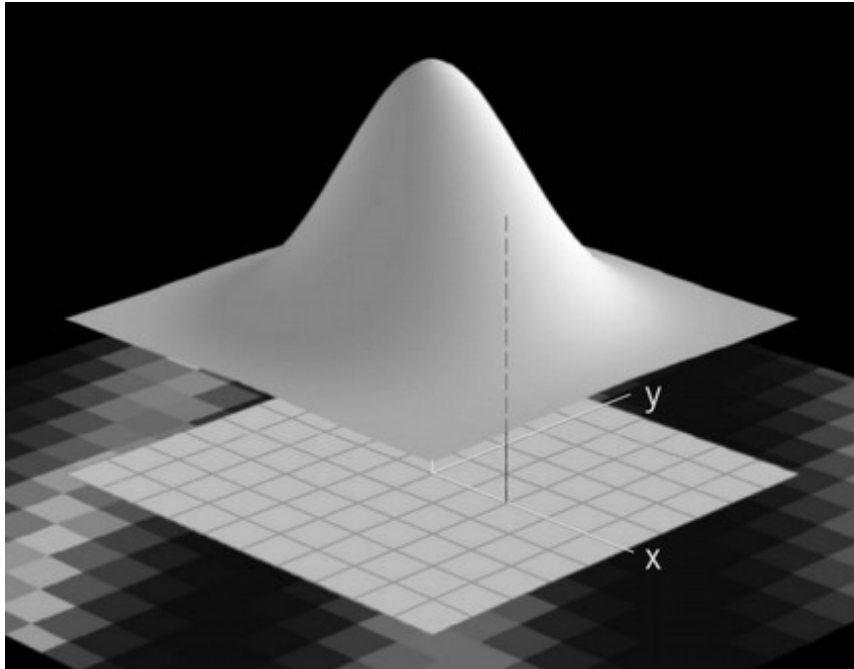
6.5.2 Gaussian Weighting

Gaussian Weighting bzw. Gaußsche Gewichtung ist zwar per se keine eigene Mosaikierungsfunktion, erstellt aber eine Gewichtungsfunktion basierend auf Gaußscher Normalverteilung. Abb. 44 zeigt die Funktionsweise, bei der über einen bestehenden Raster ausgehend vom Zentrum eine radiale Gaußsche Normalverteilung gelegt wird, sodass innere (also dem Zentrum nähere) Pixel stärker gewichtet werden als äußere. [vgl. HOF-02]

Grundsätzlich gestaltet sich die Gewichtungsfunktion folgendermaßen,

$$\Omega(x) = e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (7)$$

wobei μ die Position des Zentrums und σ Nähe und damit die "Steilheit" der Verteilungskurve definiert (im Sinne der Wahrscheinlichkeitsverteilung ist μ der Mittelwert und σ die Standardabweichung). [vgl. HOF-02]



Quelle: [HOF-02], eigene Bearbeitung

Abb. 45: Darstellung der prinzipiellen Funktionsweise von Gaussian Weighting

7 Praktische Umsetzung des Resampling und Mosaikierens in Python

Nachdem in den vorigen Kapiteln ein möglicher Lösungsweg für die gestellte Problemstellung dieser Masterarbeit herausgearbeitet wurde und eine Fülle an Werkzeugen und Methoden vorgestellt wurde, um die Umsetzung de facto zu ermöglichen, soll hier an dieser Stelle kurz die Realisierung der jeweiligen Punkte und deren Begründung vorgestellt werden. Der vollständige Quellcode findet sich im Anhang.

Dabei gliedert sich zusammengefasst (und an die praktische Umsetzung angepasst) der Prozess in folgende Punkte:

- Auswahl geeigneter Opendata Quellen und deren Akquirierung
- Registrierung der einzelnen Bilder für die Verwendung im globalen Mosaik
- Reprojektion von der GEOS-Projektion in eine quadratische Plattkarte
- Mosaikierung der einzelnen Bilder bzw. Überblendung

Die generelle Nutzung des Programmes erfolgt über eine Kommandozeile (bzw. Terminal) im folgenden Schema: `python3 cloudcover.py <username> <password>`, wobei die beiden letzten Parameter Platzhalter für die tatsächlichen Benutzerdaten der Dundee Satellite Receiving Station stehen.

Zur Realisierung wurde für die Hauptaufgabe auf folgende Python-Pakete bzw. Module zurückgegriffen: `time`, `os`, `multiprocessing`, `garbage collector (gc)`, `shutil`, `argparse`, `scipy`, `numpy`, `requests`, `cv2`, sowie `pyresample`.

```
import time
import os
import multiprocessing as mp
import gc
import shutil
from argparse import ArgumentParser
from scipy import ndimage as sp
import numpy as np
import requests
import cv2
from pyresample import geometry, image
```

`Time` (Elementare Zeitfunktionen), `os` (Betriebssystem-Operationen), `multiprocessing` (objektorientierte Schnittstelle zur Verwaltung mehrerer Prozesse), `gc` (garbage collector; zur manuellen Verwaltung bzw. Überprüfung der garbage collection, also der automatischen Speicherbereinigung), `shutil` (Funktionen speziell für Kopieren und Löschen von Dateien) und `argparse` (dient zur komfortablen Integration von Kommandozeilenparametern) sind Teil der Standardbibliothek Pythons [vgl. ERN-15].

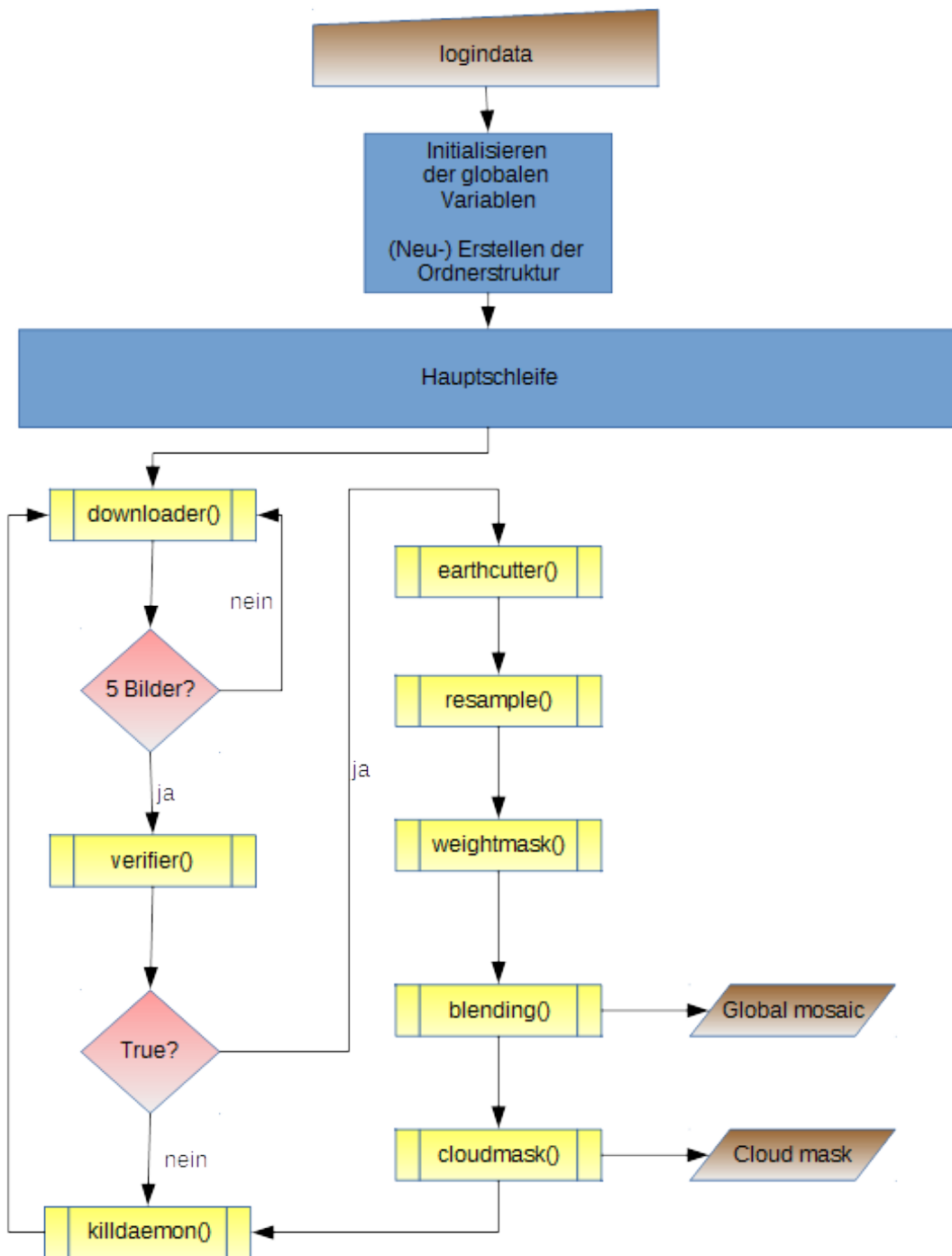
`Requests` ist eine Bibliothek zum einfachen Senden von HTTP-Anfragen und ermöglicht (unter anderem) das Einrichten von Sessions mit Cookie Persistenz, was dazu führt, dass eine einmal errichtete Verbindung bzw. Anmeldung mit einem Server nicht bei jeder Anfrage

erneut errichtet werden muss [vgl. REI-17]. Dies ist für die Anmeldung am Dundee Satellite Receiving Station Server optimal, da dieser Authentication Cookies setzt.

cv2 ist die Abkürzung für OpenCV 2 und stellt die Python Implementation der auf C bzw. C++ basierten Open Source Computer Vision Library dar, die einen reichhaltigen Fundus an Computer Vision Algorithmen zur Verfügung stellt [vgl. OPE-17]. Diese Bibliothek wurde zum einen deswegen gewählt, da Bilder als Numpy-Arrays initialisiert werden, die auch von Pyresample benötigt werden und zum anderen für optionale Erweiterungen in weiteren Prototypen (siehe Kapitel 8).

Numpy "stellt einen flexiblen Datentyp für mehrdimensionale Arrays zur Verfügung"[ERN-16] und ergänzt damit die eher begrenzten Möglichkeiten der Standardbibliotheken bzw. Datentypen Pythons in dieser Richtung. Durch die relativ hardwarenahen Implementationen in C weisen sie sich auch durch hohe Performance aus und dadurch als quasi-Standard für Rastermanipulationen in Python aus. Scipy "implementiert aufbauend auf numpy vielfältige mathematische Operationen"[ERN-16], in diesem Falle wird es explizit für die Berechnung der euklidischen Distanz im Zuge der Generierung der Weight-Mask verwendet. Für die Umsetzung der Registrierung und Reprojektion wurde schließlich für Pyresample entschieden. Die primäre Begründung zur Wahl dafür ist, dass das Paket relativ schlank und ohne "unnötige Lasten" zu implementieren ist, kombiniert mit der guten Performance und auch der Möglichkeit, relativ leicht Schwaddaten (Swath-Data) von LEOS integrieren zu können, was gerade möglichen Weiterentwicklungen entgegen kommt (siehe Kapitel 8). Dazu ergänzend lassen sich Methoden und Klassen anderer PyTroll Pakete relativ leicht damit ergänzen und "nativ" integrieren. Konzipiert wurde das Programm in seiner gegenwärtigen Form als vollständiger, evolutionärer Prototyp (also ein Prototyp, der alle grundlegenden Funktionen implementiert hat und zur Weiterverwendung geeignet ist), um als Kommandozeilen-Daemon (im Hintergrund laufender Dienst) seine Tätigkeit auszuführen [vgl. MAY-01].

Abb. 46 zeigt den schematischen Programmablauf als Flussdiagramm.



Quelle: eigene Bearbeitung

Abb. 46: Flussdiagramm des schematischen Programmablaufs

7.1 Auswahl geeigneter Opendata Quellen und deren Akquirierung

Wie in Kapitel 5.2.7 konstatiert, werden die JPEG Dateien der Dundee Satellite Receiving Station der Satelliten MSG-1, MSG-3, Himawari-8, GEOS-15 sowie GEOS-16 herangezogen. Diese werden in einer Liste initialisiert; als Alternative würde sich z.B. die Wahl eines Dictionaries, (Geo)JSON oder YAML (im Grunde eine ähnliche Auszeichnungssprache wie JSON) anbieten, optional durch die Auslagerung in eine externe Datei zur einfacheren Verwaltung. In diesem Fall wurde dennoch für eine List entschieden, da diese im Gegensatz zu Dictionaries das Iterieren über alle Werte einfacher gestaltet.

```
def downloader(user, pw):
    """Automatically downloader for Dundee-Satellite-receiving-station
        GEOS-Images - checks every three hours for new images and
        downloads them.
    """
    curtime = time.gmtime()
    year = str(curtime[0])
    month = str(curtime[1])
    day = str(curtime[2])
    hour = str(curtime[3])
    minute = str(curtime[4])
    #set download-hour on last possible hour (modulus 3 == 0)
    dlhour = str(curtime[3] - (curtime[3] % 3))
```

Beim erstmaligen Aufruf der Funktion beziehen die Variablen das aktuelle Datum (und Zeit), das benötigt wird um die aktuellen Bilder vom Server herunterzuladen, dlhour setzt den Zeitpunkt der letztmöglichen Stunde zum Download als Operation eines Modulus 3, da aufgrund von technischen (GOES-13 und 15) und lizenztechnischen Restriktionen (MSG) nur alle drei Stunden Full Disc Bilder (beginnend ab 00:00) zur Verfügung stehen. Als Funktionsparameter (user, pw) werden der Username und das Passwort der Dundee Satellite Receiving Station übergeben, die der Benutzer beim Aufruf des Programms in der Kommandozeile eingeben muss.

```
if dlhour != "0":
    apxzero = "00"
else:
    apxzero = ""
srvfileappendix = year + "/" + month + "/" + day + "/" \
    + dlhour + apxzero + "/" + year + "_" + month + "_" + day + "_" \
    + dlhour + apxzero
satlist = [
    ["GOES-West", "135.0W/GOES/" + srvfileappendix +
"00_GOES15_4_S1.jpeg"],
    ["GOES-East", "075.0W/GOES/" + srvfileappendix +
"00_GOES16_13_S1.jpeg"],
    ["MSG-0Deg", "000.0E/MSG/" + srvfileappendix + "00_MSG3_9_S1.jpeg"],
    ["MSG-IODC", "041.5E/MSG/" + srvfileappendix + "00_MSG1_9_S1.jpeg"],
    ["Himawari-8", "140.7E/MTSAT/" + srvfileappendix +
"00_MTSAT3_13_S1.jpeg"]]
```

]

satlist definiert die Satellitenliste zum Download der entsprechenden aktuellen Daten vom Dundee Server.

```
print("[-] Scanning for images at: {}:{} UTC".format(hour,curtime[4]))
s = requests.Session()
s.auth = (user, pw)
for sat, sourcename in satlist:
    url = "http://www.sat.dundee.ac.uk/xrit/" + sourcename
    try:
        requ = s.get(url, stream=True)
    except requests.exceptions.ConnectionError:
        print("[!] Please check your internet connection")
        filename = "{}_{}_{}_{}_{}.jpg".format(sat, year, month, day,
dlhour)
    if requ.status_code == 200 and filename not in localimg:
        print("[+] Downloading {}".format(filename))
        with open(os.path.join("rawimgs", filename), "wb") as fobj:
            localimg.append(filename)
            for chunk in requ.iter_content():
                fobj.write(chunk)
```

Dieser Algorithmus sorgt für den Download der aktuellen Bilder via requests und schreibt sie jeweils in eine eigene Datei in einen Unterordner am lokalen Rechner. Um eine funktionsunabhängige Übersicht über die heruntergeladenen Bilder (pro Session) zu haben, wird eine (in der main-Funktion zur Steuerung des Programms) globale Liste (localimg) geführt, die auch zur manuellen Garbage Collection (also zum Umgang zur Speicherbereinigung) dienen soll.

```
def earthcutter():
    """Cuts earth-disc from rest of image which it makes transparent
    and saves as PNG (for transparent pixels).
    """
    for i in localimg:
        img = cv2.imread(os.path.join("rawimgs", i),0)
        print("[-] Cropping: {}".format(i))
        if "GOES-East" in i:
            crop_img = img
        elif "GOES-West" in i:
            crop_img = img[273:2970, 51:2761]
        elif "MSG-0Deg" in i:
            crop_img = img[55:3656, 55:3657]
        elif "MSG-IODC" in i:
            crop_img = img[58:3658, 55:3655]
        elif "Himawari" in i:
            crop_img = img[40:5460, 30:5468]
        else:
            print(r"[!] Dont copy any images in \rawimgs folder!")
```

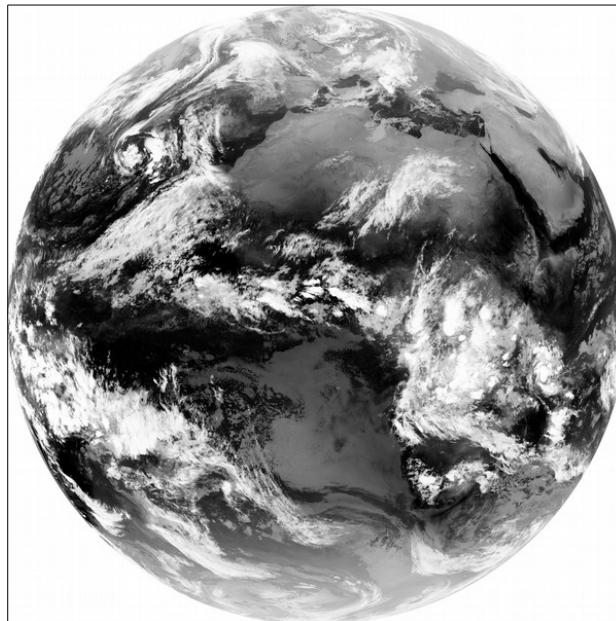


```

        exit(0)
    filename = i.split(".")[0] + ".png"
    print("[+] Saving cropped image: {}".format(filename))
    cv2.imwrite(os.path.join("cuts", filename), crop_img)
    cutimg.append(filename)
del img, crop_img

```

Diese Funktion dient zum Abschneiden überflüssiger Bildränder, da diese nur unnötigen Ballast für die Resampling-Funktion darstellen (und beim Überblenden ohnehin eliminiert werden müssten). Dazu werden die Bilder via OpenCV als Numpy-Arrays geöffnet und via Numpy-Slicing abgeschnitten und in einem weiteren Unterordner als temporärer Zwischenspeicher abgelegt. Dies dient der Vermeidung, dass nach dem Herunterladen, erstmaligem Öffnen und Beschneiden der Bilder diese unnötig im Speicher verweilen müssen, bis alle aktuellen Satelliten-Bilder (die zu unterschiedlichen Zeiten auf dem Dundee Server hochgeladen werden) heruntergeladen sind. Für die weitere Garbage Collection werden auch diese Dateinamen in einer weiteren global initiierten Liste gespeichert. Das Ergebnis dieser Funktion ist in Abb. 47 ersichtlich.



Quelle: eigene Bearbeitung

Abb. 47: Zurechtgeschnittenes MSG-3 Bild, zur besseren Sichtbarmachung wurden manuell Bildränder eingefügt

7.2 Registrierung und Reprojektion

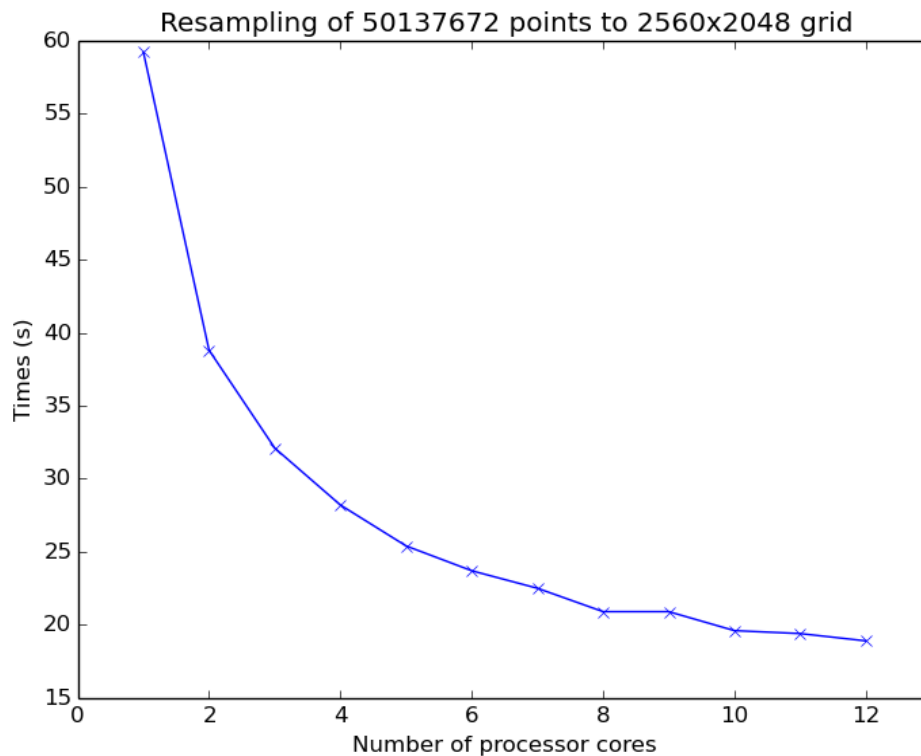
```

def resample(cutimg):
    """Registers the images in the new CRS, resamples them and saves them.
    """
    cpucount = mp.cpu_count()

```

Die Resampling-Funktion sorgt für das Registrieren und Resampling der zurechtgeschnittenen Bilder. Die Variable cpucount stellt die verfügbaren Prozessorkerne des jeweiligen Rechners fest, da Pyresample die Verwendung von mehreren Prozessorkernen unterstützt. Abb. 48 zeigt

die dadurch möglichen Performance-Verbesserungen bei einem Testsystem (64-bit Ubuntu 14.04, 32 GB RAM, 2 x Intel Xeon E5-2630 mit jeweils 6 physikalischen Kernen) [vgl. PYT-15]:



Quelle: [PYT-15]

Abb. 48: Performance-Verbesserung Pyresamples bei Verwendung mehrerer Prozessorkerne

```
mosaic_extent = (-20037508.34, -10018754.17, 20037508.34, 10018754.17)
mosaic_prj4 = {"a": "6378137", "b": "6356752.3", "proj": "eqc"}
mosaic_def = geometry.AreaDefinition("plat", "Plate Carree", "plat",
                                     mosaic_prj4, 8192, 4096, mosaic_extent) #a,b WGS84
```

In diesem Schritt wird zuerst die Ausdehnung (Extent) des Mosaiks festgelegt. Diese entsprechen den Ausmaßen WGS84 als kartesische Koordinaten ($20037505.34 * 2 = 40075010.68$). mosaic_prj4 definiert die Proj.4 Definition der Projektion einer quadratischen Platkarte und legt die Größe des resultierenden Bildes auf eine Auflösung von 8192x4096 fest.

```
for i in cutimg:
    img = cv2.imread(os.path.join("cuts", i), 0)
    print("[-] Georeferencing: {}".format(i))
    y_size, x_size = img.shape[:2]
    if "GOES-West" in i:
        long = "-135.22"
        xextent = 5420000
        yextent = 5394000
    elif "GOES-East" in i:
        long = "-75.18"
        xextent = 5424000
```

```

        yextent = 5424000
    elif "MSG-0Deg" in i:
        long = "0"
        xextent = 5403000
        yextent = 5401500
    elif "MSG-IODC" in i:
        long = "41.5"
        xextent = 5400000
        yextent = 5400000
    elif "Himawari-8" in i:
        long = "140.65"
        xextent = 5438000
        yextent = 5420000

```

Im nächsten Schritt wird über die in der Liste `cutimg` (also jene Liste, die quasi Protokoll über die beschnittenen Ursprungsbilder führt) iteriert, um so je nach unterschiedlichem Satellit den jeweiligen Längengrad (`long`) und die jeweilige Ausdehnung (`extent`) der vom Satelliten erfassten Gebiete zuzuweisen.

Die Berechnung der Ausdehnung folgt dabei folgenden Überlegungen: je nach Satellit (bzw. Sensor) zeigt sich eine unterschiedliche, räumliche Auflösung pro Pixel. Nach den jeweiligen Spezifikationen sind dies für die MSG-1 und MSG-3 (im Programmcode als MSG-IODC und MSG-0Deg geführt) 3km im Nadir, 4km für GEOS-15 und GEOS-13 (im Code GEOS-West und GEOS-East) und 2km für Himwari-8. Die Ausdehnungsgröße ergibt sich als Multiplikation der Bildpixel mit der räumlichen Pixelauflösung (dividiert durch 2).

Dementsprechend berechnen sich für die gegebenen Bildgrößen jeweils (siehe Tab. 19):

Satellit	räuml. Auflösung	X-Pixel	Y-Pixel	X-Extent	Y-Extent
MSG 0Deg	3km	3602	3601	5403000	5401500
MSG IODC	3km	3600	3600	5400000	5400000
GOES East	2km	5424	5424	5424000	5424000
GOES West	4km	2710	2697	5420000	5394000
Himwari-8	2km	5438	5420	5438000	5420000

Quelle: eigene Bearbeitung

Tab. 19: Berechnung der Satelliten-Extents, x und y verstehen sich als rechtshändige kartesische Koordinatenachsen

```

proj_dict = {
    "a": "6378137.0", "b": "6356752.3", "lon_0": long,
    "h": "35785831", "proj": "geos"
}
area_extent = (-xextent, -yextent, xextent, yextent)
area_def = geometry.AreaDefinition(
    "geos", "geos", "geos", proj_dict, x_size, y_size,
    area_extent)

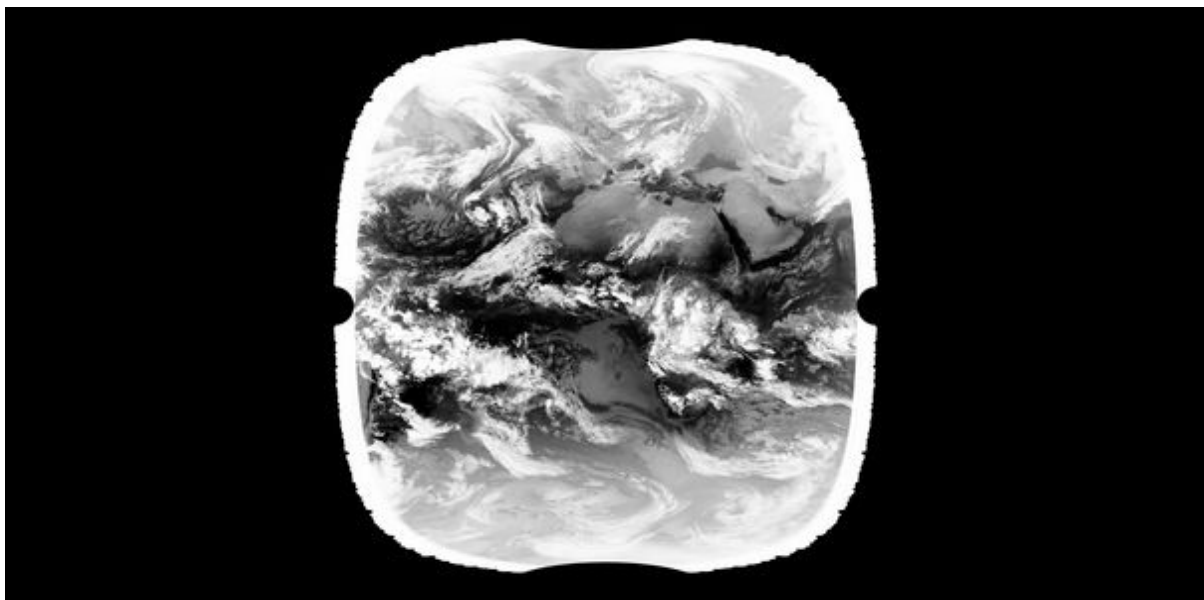
```

Im nächsten Schritt wird die Projektion der Ursprungsbilder definiert (GEOS-Projektion), dazu die Satellitenhöhe festgelegt, sowie die Registrierung und damit quasi die Verortung der Einzelbilder im globalen Mosaik abgeschlossen.

```
imgcontainer      =      image.ImageContainerNearest(img,      area_def,
radius_of_influence=50000, nprocs=cpucount)
    imgresample = imgcontainer.resample(mosaic_def)
    resampled = imgresample.image_data
    filename = i.split(".")[0] + ".png"
    print("[+] Saving resampled image: {}".format(filename))
    cv2.imwrite(os.path.join("resampled", filename), resampled)
    rsmpling.append(filename)
del resampled, imgresample, imgcontainer, img
```

Anschließend werden der Image Container, den Pyresample benötigt um das Resampling vorzunehmen, definiert und als Resampling Algorithmus Nearest Neighbor gewählt. Pyresample unterstützt neben Nearest Neighbor auch Bilineare Interpolation, EWA, Gaußsche Gewichtung und selbst definierte, willkürliche radiale Gewichtungsfunktionen. Nearest Neighbor zeichnet sich aufgrund der Einfachheit durch relativ gute Geschwindigkeiten aus und ist das Mittel der Wahl bei diskreten Daten. Letzteres ist gewissermaßen diskutabel, da die Ursprungsbilder als JPEGs durch einen destruktiven Kompressionsalgorithmus verändert sind und des Weiteren als Grundlage thermische Strahlung dient und deswegen die einfache Klassifikation zwischen Pixeln mit Wolken und Nicht-Wolken nicht direkt möglich ist.

Das Zwischenergebnis präsentiert sich wie in Abb. 49 sichtbar.



Quelle: eigene Bearbeitung

Abb. 49: Resamplates und global registriertes bzw. georeferenziertes Satellitenbild von MSG-3

7.3 Mosaikieren

Als nächstes wird zuerst aus den einzelnen resamplenen Bildern jeweils eine Weight-Mask generiert, um anschließend via Blending die einzelnen Bilder in einem globalen Mosaik zusammenzufügen.

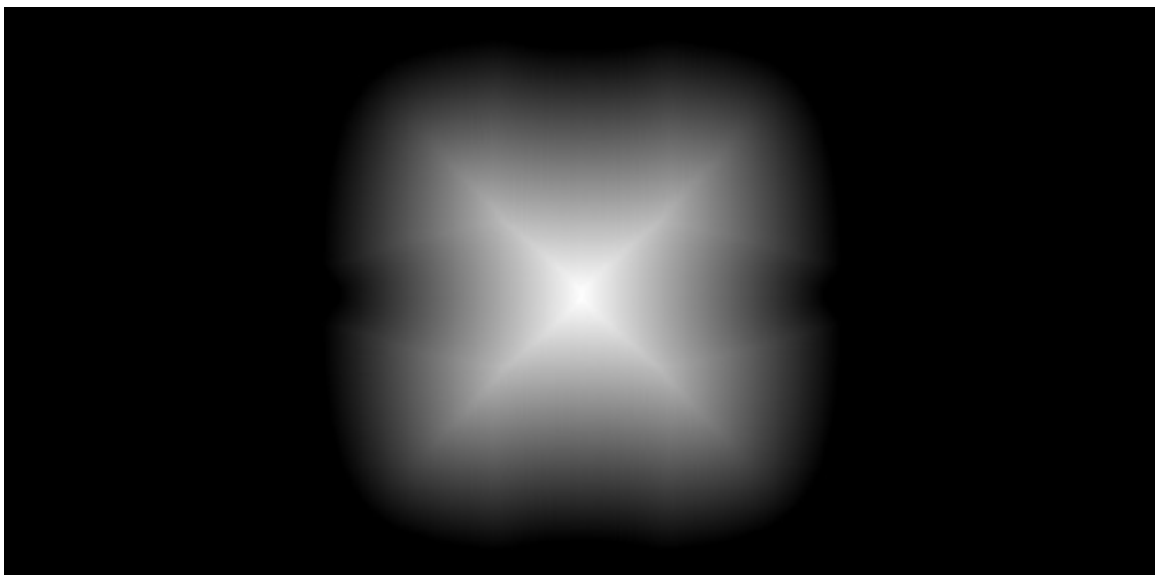
```
def weightmask():
```

```

"""Calculates a (8-bit) weight mask based on euclidean distance.
"""
if len(maskimg) == 0:
    for i in rsmplimg:
        filename = i.split("_")[0] + "_mask.png"
        print("[-] Creating weightmasks for blending")
        img = cv2.imread(os.path.join("resampled", i), 0)
        #Create binary mask for two-pass algorithm.
        ret, binmask = cv2.threshold(img,0,1, cv2.THRESH_BINARY)
        #Apply median filter to cleanup dark data areas.
        median = cv2.medianBlur(binmask, 181)
        #Calculate exact euclidean distance.
        eucl = sp.distance_transform_edt(median)
        #Normalize values between 0 and 1, then multiply with 255
    saving.
        dist = (eucl/np.max(eucl))*255
        print("[+] Saving weightmask: {}".format(filename))
        cv2.imwrite(os.path.join("masks", filename), dist)
        maskimg.append(filename)
del img, ret, binmask, median, eucl, dist

```

Die Weight-Mask wird als "Distance Map" mittels der Berechnung der euklidischen Distanz des jeweiligen Pixels zum nächsten Pixel mit Wert 0 realisiert. Dazu wird zuerst eine binäre Maske (also lediglich Pixel mit 0 oder 1) erzeugt. Da aber auch valide Bildbereiche schwarze (also 0) Werte aufweisen können (also z.B. bei sehr warmen Regionen), wird auf die so erzeugte Binärmaske ein Median-Filter angewandt, um diese zu eliminieren und anschließend die euklidische Distanz berechnet. (siehe Abb. 50):



Quelle: eigene Bearbeitung

Abb. 50: Weight-Mask basierend auf Berechnung der euklidischen Distanz

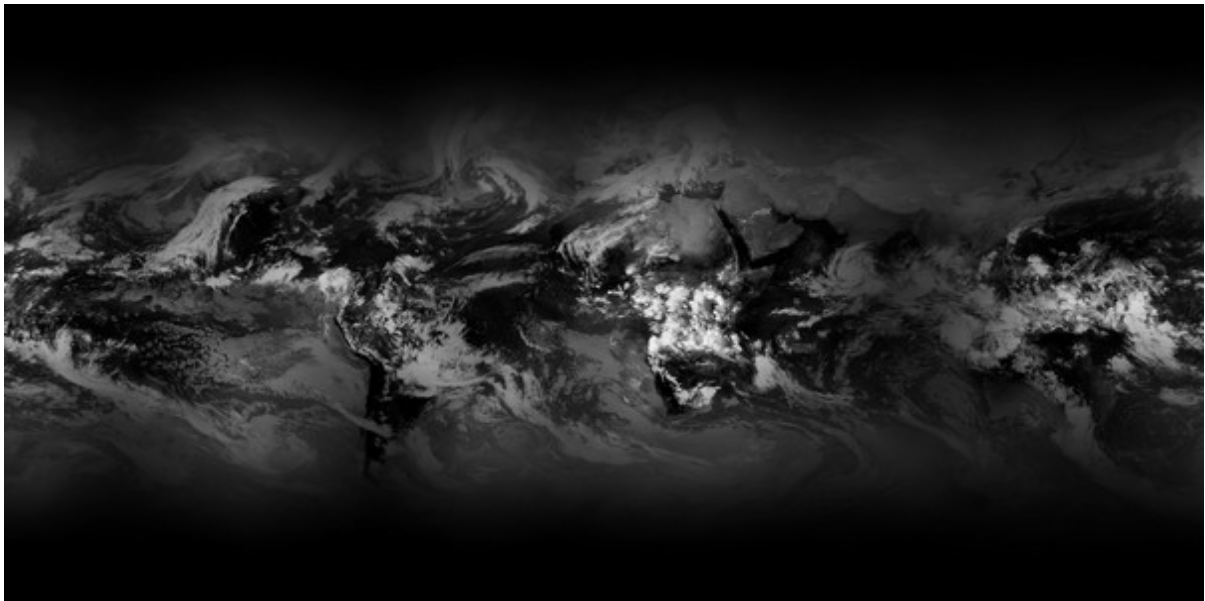
Das Blending selbst wird mittels Alpha-Blending realisiert:

```
def blending():
    """Blends images to a global mosaic.
    """
    print("[-] Building global mosaic")
    mosaic = np.zeros((4096, 8192))
    for i in rsmplimg:
        img = cv2.imread(os.path.join("resampled", i), 0)
        maskname = i.split("_")[0] + "_mask.png"
        #Load mask and normalize values between 0 and 1.
        alpha = cv2.imread(os.path.join("masks", maskname), 0)/255
        #Add data to global mosaic.
        mosaic = mosaic + img*alpha
```

Zu Beginn wird ein "leeres" (also mit schwarzen bzw. 0-Werten gefülltes) Array erzeugt, das als Container für die einzelnen, resampten Bilder dienen soll (`np.zeros((4096, 8192))`). Anschließend wird durch die einzelnen Bilder iteriert, um die jeweilige Weight-Mask als Alpha-Wert für Alpha-Blending (realisiert als Numpy Matrix Expression: `mosaic = mosaic + img*alpha`) anzuwenden und dem bisher bestehenden Mosaik hinzuzufügen.

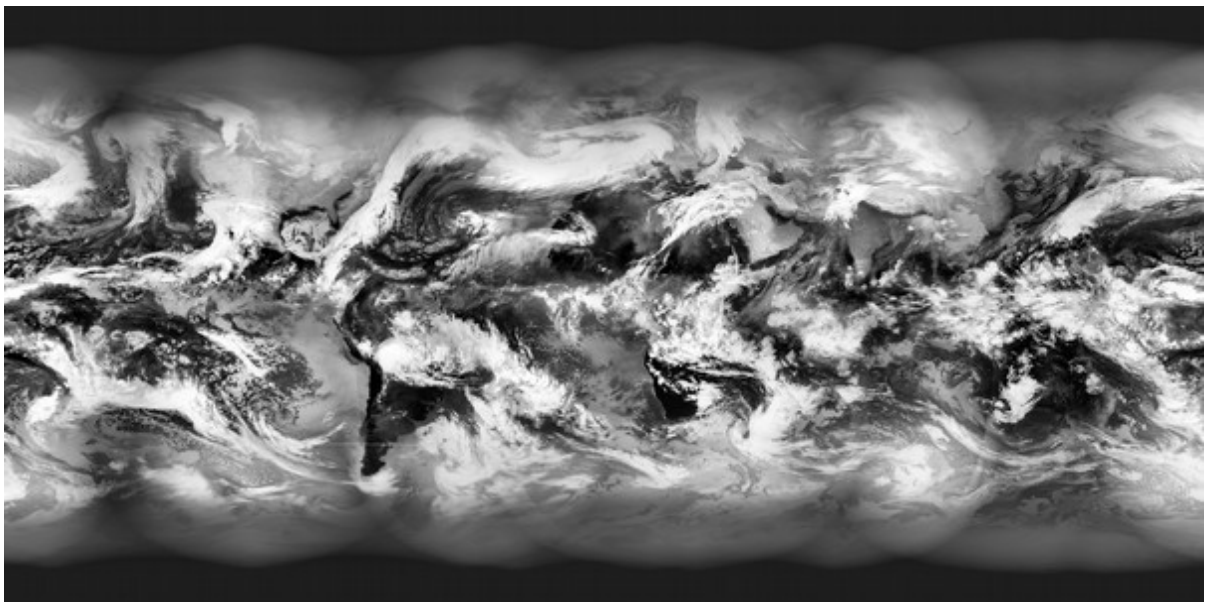
```
#Normalize values for 8-bit.
mosaic = mosaic/np.max(mosaic)*255
mosaic = mosaic.astype("uint8")
#Apply CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)
print("[-] Applying CLAHE")
clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=30.0, tileGridSize=(8,8))
cl1 = clahe.apply((mosaic))
filename = "cloudcover_" + i.partition("_")[2]
print("[+] Saving global mosaic {}".format(filename))
cv2.imwrite(os.path.join("cloudcovers", filename), cl1)
cloudimg.append(filename)
del mosaic, img, alpha
```

Da durch das solchermaßen implementierte Alpha-Blending eine jeweilige Pixel-Abdunklung (durch die applizierte Transparenz des Alpha-Blendings) stattfindet (da an den Grenzen gelegene Pixel weder von einem noch von einem anderen resampten Bild den Alphawert 1 erreichen), wird anschließend eine Histogram Equalization (Histogrammausgleich) mittels Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) durchgeführt. Diese spezifische Form des Histogrammausgleichs zeichnet sich dadurch aus, dass im Gegensatz zur globalen Histogram Equalization nicht alle Pixelwerte auf das jeweilig mögliche Wertespektrum (im Fall von 8-Bit also 0-255) gestreckt werden, sondern das Bild in kleine Blöcke ("Tiles") unterteilt wird (in CV2 standardmäßig 8x8), in denen dann der jeweilige Histogrammausgleich durchgeführt wird. Um zu verhindern, dass einzelne Pixelwerte zu sehr verstärkt werden, kann ein Kontrastlimit gesetzt werden, das "Ausreißer" oberhalb dieses Limits gleichmäßig an die restlichen Histogrammwerte verteilt. Abschließend wird bilineare Interpolation angewandt, um Artefakte an Bildgrenzen zu eliminieren. Abb. 51 zeigt das globale Mosaik vor dem adaptiven Histogrammausgleich, Abb. 52 das finale Resultat nach angewandter CLAHE.



Quelle: eigene Bearbeitung

Abb. 51: Globales Cloud Cover vor adaptivem Histogrammausgleich



Quelle: eigene Bearbeitung

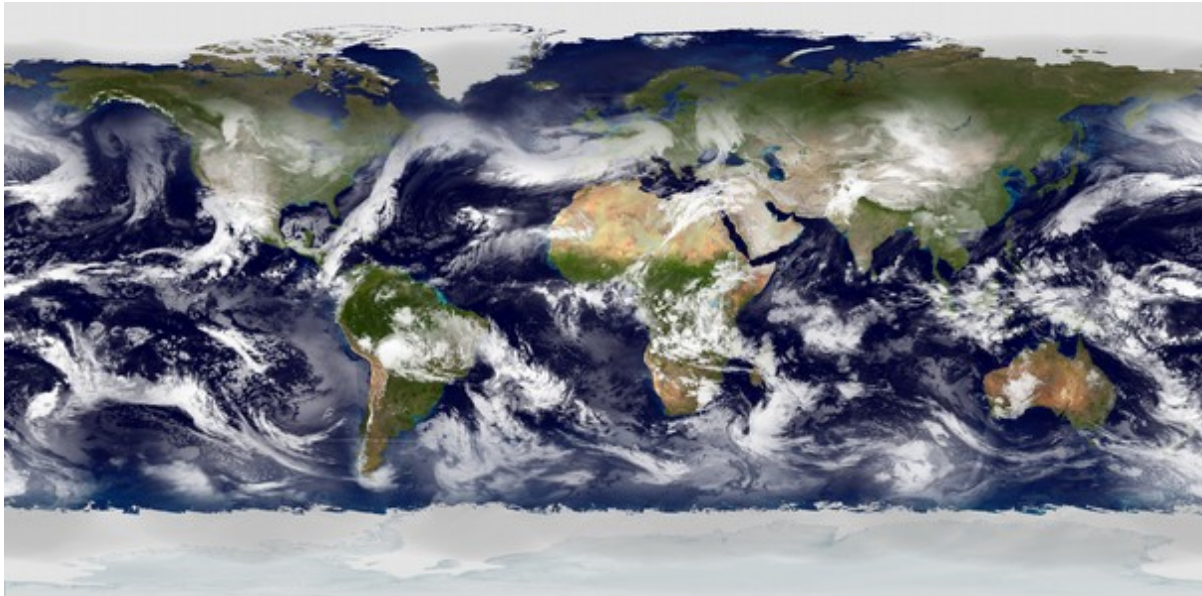
Abb. 52: Globales Cloud Cover nach adaptivem Histogrammausgleich (CLAHE)

7.4 Optionale Bearbeitungsschritte

Die grundsätzliche Aufgabenstellung dieser Masterarbeit wäre damit per se abgeschlossen, um das Cloud Cover aber auch für den Einsatz am taktilen Hyperglobe anwenden zu können, wird aus den jeweiligen Grauwerten ein Transparenzwert berechnet, der solchermassen hellen Wolken geringe Transparenz zuweist und dunklen Bereichen hohe Transparenz, wodurch gleichermaßen eine automatische Filtration angewandt wird, die Bereiche, die sich nicht als Wolken auszeichnen (durch "größere" Temperatur), "unsichtbar" gemacht werden:

```
def cloudmask():  
    """Creates a transparent cloud mask based on cloud intensity."""  
    for i in cloudimg:  
        print("[-] Creating cloud mask")  
        img = cv2.imread(os.path.join("cloudcovers", i), 0)  
        #Apply threshold to filter dark/cloudless areas.  
        ret, alpha = cv2.threshold(img, 10, 255, cv2.THRESH_TOZERO)  
        imga = cv2.merge((img, img, img, alpha))  
        filename = "cloudmask_" + i.partition("_")[2]  
        print("[+] Saving cloud mask: {}".format(filename))  
        cv2.imwrite(os.path.join("cloudmasks", filename), imga)  
    del img, alpha, imga
```

Wendet man die derartig realisierte Wolkenmaske exemplarisch auf einer "Blue Marble" von SOS an, ergibt sich folgendes Endprodukt (siehe Abb. 53):



Quelle: [SOS-16b], eigene Bearbeitung

Abb. 53: Finales Endprodukt: Cloud Cover Mask über Blue Marble

7.5 Analyse des Endresultats

Grundsätzlich zeichnet sich das finale Cloud Cover, im Sinne der Beurteilung der bereits in Kapitel 4 analysierten Cloud Covers, durch folgende Eigenschaften aus (siehe Tab. 20):

Aktualisierungsintervall	3 Stunden
Datenverfügbarkeitsdauer	beliebig
Verfügbare Auflösungen	8192x4096 Pixel
Verfügbare Formate	PNG
Farbmodus	sRGB 8-bit (Cloudcover), 24-bit (Cloudmask)
Artefakte	Resampling (Nearest Neighbour) bedingte Artefakte ("Klötzchen") bzw. NoData in höheren Breiten
Datenquelle Wolken	IR - Multi-Sat
Datenquelle Basemap	Keine
Datenvisualisierung	Reinhard Resch
Lizenzart/Copyright	GNU GPLv3
Kosten	Keine
Sonstige "Bildstörungen"	Keine

Quelle: [NRL-16]

Tab. 20: Übersicht der Attribute des finalen Cloud Covers

Das **Aktualisierungsintervall** von drei Stunden wird aufgrund von zwei Faktoren gesetzt: Zum einen aufgrund der Lizenzrestriktionen der MSG Bilder, zum anderen aufgrund der Full Disc Scans Rate von drei Stunden betreffend von GOES-15. Ersteres ließe sich durch eine entsprechende Lizenz beheben, letzteres wird womöglich in Zukunft durch neuere Satelliten geändert, so ist der Start von GOES-S (-17) für März bzw. April 2018 angesetzt [vgl. WMO-17].

Die **Auflösung** des finalen Cloud Covers ist auf 8192x4096 gesetzt, lässt sich aber relativ leicht hinunter skalieren (geringere Auflösungen bereitzustellen war aber nicht Teil der Aufgabenstellung dieser Masterarbeit). Gleichmaßen liegen die Bilder im **PNG-Format** vor, um weitere Qualitätsverluste durch destruktive Kompressionsalgorithmen zu vermeiden.

Die auftretenden **Artefakte** lassen sich zum einen Teil nicht verhindern (NoData in höheren Breiten aufgrund der Aufnahmerestriktionen geostationärer Satelliten) und sind zum anderen technisch bedingt (Nearest Neighbor Resampling). Letzteres ließe sich technisch umgehen, indem ein anderer Resampling-Algorithmus (z.B. Bilinear) gewählt wird, erhöht aber exponentiell die benötigte Rechenzeit gegenüber Nearest Neighbor Resampling.

Das so vorliegende Cloud-Cover erfüllt also die optimalen Parameter (siehe Kapitel 4 bzw. 5) der Auflösung (8192x4096) und der Artefakte. Allerdings ist durch das erwähnte Aktualisierungsintervall-Problem nach Definition der ESA nur ein near real-time Cloud Cover realisierbar.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die gesetzte Aufgabenstellung dieser Masterarbeit war es, den Prozess, die potentiell auftretenden Probleme und deren Lösungen im Zuge der Generierung eines globalen real-time Cloud Cover Mosaiks aus Open Data Quellen wissenschaftlicher Betrachtung zu unterziehen, um schließlich die daraus gewonnenen Erkenntnisse in die Erstellung eines in Python entwickelten, evolutionären Prototypen zur exemplarischen Nutzung für den taktilen Hyperglobus einfließen zu lassen. Dies ist insofern relevant, als dass im FOSS (Free and Open Source Software) bzw. Open Data Bereich bis dato ein eklatanter Mangel an räumlich und zeitlich hochauflösenden real-time Cloud Cover Mosaiken herrscht. Gleichmaßen sollte durch das systematische Vorgehen eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen gebildet werden - auch bzw. gerade im Sinne des "Open Source/Data Geistes".

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde anfangs ausführlich ein geschichtlicher Überblick über die Entwicklung von Erdbeobachtungssatelliten gegeben, der derzeitige Stand sowie ein knapper Ausblick auf die zukünftige Entwicklung geboten. Dadurch zeigte sich, dass es ein breites Sammelsurium an Satelliten gibt, die sich potentiell für die Erstellung globaler real-time Cloud-Cover Mosaik eignen, wobei eine prinzipielle Differenzierung zwischen LEOS (Low Earth Orbit Satellites) und GEOS (Geostationary Earth Orbit Satellites) existiert, die ihrerseits mit jeweilig unterschiedlichen Parametern aufwarten.

Dies wurde auch im nächsten Kapitel ausführlich behandelt, das sich mit einer technischen Einführung in die Materie der satellitengestützten Wolkenerfassung beschäftigt. LEOS weisen sich durch eine besonders hohe räumliche Auflösung aus, wobei im Gegensatz dazu GEOS gute temporale Auflösungen zeigen. Ein weiteres Differenzierungsmerkmal von Satelliten stellen die verwendeten Sensoren bzw. die von ihnen abgebildeten Spektralbereiche ab, die sich grob in VIS (sichtbares Licht), IR (Infrarot), WV (Wasserdampf) und MV (Mikrowellen) gliedern lassen, wobei sich zeigte, dass Wolken (zumindest die meisten Typen) besonders gut im Bereich des atmosphärischen Fensters von ca. 10µm reflektieren, also im (Thermischen) IR. Einen weiteren wichtigen Punkt stellen Produktlevels dar, wodurch eruiert werden konnte, dass Cloud Covers entweder aus Level 1.5 bzw. 1b Daten oder als "fertige" Level 2 Cloud Masks bestehen. Abschließend wurde auf eine Vielzahl von möglichen Störungsquellen, die daraus potentiell entstehenden Artefakte und mögliche Eliminierung dieser eingegangen, wobei die meisten Artefakte bereits bei Level 1 Daten behoben werden.

Anschließend fand eine eingehende Betrachtung bereits bestehender globaler real-time Cloud Covers statt, um so feststellen zu können welche Stärken und Schwächen diese aufweisen, um bei der Realisierung eines eigenen Cloud Covers auf diese eingehen und beheben zu können. Prinzipiell zeigte sich, dass diese entweder kostenpflichtig sind (XPlanetClouds) oder aber den zuvor gesetzten Ansprüchen nur ungenügend entsprechen.

Durch den Erkenntnisgewinn dieser Kapitel konnte auch die grundlegende Forschungsfrage beantwortet werden, die sich mit den Anforderungen an ein automatisiert erstelltes, zeitlich aktuelles, globales und visuell homogenes Cloud Cover aus Open Data Quellen beschäftigte, wodurch der postulierte Anforderungskatalog folgendermaßen erstellt werden konnte:

Ein Aktualisierungsintervall von weniger als 100 Minuten, eine Auflösung von 8192x4096 Pixel, möglichst keine Artefakte, eine Datenverfügbarkeit von mindestens einem Tag, RGB

oder monochromatischer Farbmodus, keine Bildstörungen (wie Logos, Legenden etc.) und keine Kosten (also eine freie Lizenz wie z.B. Creative Commons).

Da gerade zeitlich hochauflösende Mosaik aus GEOS-Daten einfacher erstellt werden können, wurde im folgenden auf Daten dieser Herkunft fokussiert.

Durch diese Vorgaben konnte sich an die Suche nach möglichen Datenquellen gemacht werden, wobei sich zeigte, dass die meisten Satellitenbetreiber selbst für private, nicht kommerzielle Benutzer meist nur eingeschränkten Zugang über Web-Portale zur Verfügung stellen, bei der die Daten geordert werden müssen. Ausnahme davon stellt die Dundee Satellite Receiving Station dar, die relativ bequemen und unbürokratischen Zugriff auf ihre Daten ermöglicht.

Nachdem die Datenakquise abgeschlossen war, beschäftigten sich die folgenden Kapitel mit den Details der Reprojektion und Mosaikierung, wobei grundsätzlich drei Schritte notwendig sind: Registrierung, Resampling und Überblenden.

Registrierung definiert die koordinatentechnische Verortung von Einzelbildern in einem größeren Mosaik, Resampling den Vorgang der Reprojektion und Überblenden das abschließende Image Composing.

GEOS-Daten geringen Levels befinden sich in einer eigenen Projektion, der sogenannten GEOS-Projektion (bzw. "Geostationary Satellite View), deren Parameter benötigt werden, um eine Reprojektion auf eine quadratische Platkarte zu ermöglichen, deren Format der taktile Hyperglobus verlangt. Eine intensive Recherche konnte anschließend über die grundlegenden Bibliotheken bzw. Systeme zur Definition und Konvertierung von Kartennetzentwürfen Auskunft erteilen, die benötigt werden, um die zuvor ermittelten Projektionsparameter in einen Algorithmus einspeisen und weiter verarbeiten zu können.

Um aber Rasterdaten von einer Projektion in eine andere transformieren zu können, werden Resampling-Algorithmen benötigt, weswegen eruiert wurde, dass die häufigsten Methoden Nearest Neighbor, bilineare Interpolation, Cubic Convolution, Majority Resampling und Elliptical Weighted Averaging (EWA) sind, die ihrerseits spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Der schnellste dieser Algorithmen ist Nearest Neighbor, der gerade bei diskreten Daten (wie es Wolken prinzipiell sind) gute Anwendungsmöglichkeiten zeigt.

Um die daraus gewonnen Erkenntnisse praktisch umsetzen zu können, wurde eine knappe Einführung in Resampling-fähige Module/Pakete/Bibliotheken gegeben, wobei mehrere davon Potential zeigen, die gestellten Anforderungen erfüllen zu können. Die Entscheidung fiel, im Sinne möglicher Weiterentwicklung und guter Geschwindigkeit, auf Pyresample, das sich auf die Verarbeitung satellitenbasierter Daten konzentriert.

Nach dem Resampling und der damit erfolgten Reprojektion, gilt es, die Bilder in einem finalen Schritt in ein Gesamtmosaik zusammenzuführen. Dies geschieht mit Hilfe von Mosaikierungsverfahren, wobei sich zeigte, dass bei monochromatischen Graustufen-Bildern auch einfache Verfahren wie Feathering und Center- bzw. Gaussian Weighting gute Resultate erzielen.

Nach der theoretischen Aufarbeitung wurden die daraus gewonnenen Erkenntnisse in einem Python-Programm realisiert, das wie eingangs erwähnt als evolutionärer Prototyp gedacht und dementsprechend potentiell weiterzuentwickeln ist. Im Folgenden sollen einige Ideen für die

Optimierung bzw. Erweiterung des Algorithmus an sich, aber auch prinzipielle Weiterentwicklungen in Ausblick gestellt werden.

Eine grundlegende Verbesserung an räumlicher und zeitlicher Auflösung verspricht der Start neuer Satelliten in den kommenden Jahren. Alleine diese Option verspricht für hochauflösende (also bzgl. räumlicher und zeitlicher Auflösung) eine interessante Entwicklung in der Zukunft.

In Kapitel 5 wurde die grundlegende Entscheidung gefällt, für das Mosaik auf die GEOS-Daten der Dundee Satellite Receiving Station in Form von JPEGs zurückzugreifen. Eine einfache Weiterentwicklung wäre das Zurückgreifen auf hochauflösendere bzw. nicht mit destruktiven Kompressionsalgorithmen geschaffene Daten bzw. Bilder, z.B. PNG oder in nativen Formaten wie NetCDF oder HDF5.

Hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung der Präsentationshardware, z.B. beim taktilen Hyperglobe in Form leistungsstärkerer Projektoren, scheint es aber nur schlüssig, in Betracht zu ziehen, globale Cloud Cover Mosaike auch aus LEOS-Daten zu konstruieren. Zwar müssten hinsichtlich der zeitlichen Auflösung (von gegenwärtig drei Stunden) beim derzeitigen Mosaik Abstriche angenommen werden, allerdings stünde dem ein exponentieller Anstieg der Auflösung entgegen. Diese Weiterentwicklung wäre potentiell auch über reine Präsentationszwecke hinausgehend interessant, da bis dato extrem hochauflösende, globale Cloud Cover Mosaike unter Open Source Lizenz nicht existieren (bzw. dem Autor nicht bekannt sind).

Eine weitere Option verspricht "Super-Resolution Imaging", bei dem niedrig aufgelöste Bilder lokal durch hochauflösende Bilder verbessert werden können. Praktisch würde dies dann die lokale Verwendung von LEOS-Daten in einem globalen Mosaik aus GEOS-Daten bedeuten, wodurch Regionen mit qualitativ schlechter Satellitenabdeckung (wie es derzeit noch großräumig über den USA durch GEOS-15 der Fall ist) sukzessive verbessert werden könnten.

Weitere Optimierungen betreffen den hier präsentierten Algorithmus an sich, der als Prototyp weder auf Geschwindigkeits- noch Ressourcenoptimierung ausgelegt wurde. Eine potentielle Verbesserung wäre z.B. das Verwenden eines JIT (Just-in-Time) Interpreter wie PyPy, der im Gegensatz zum üblichen Standard-Interpreter CPython größere Geschwindigkeiten aufweist [vgl. PYP-17]. Aber auch das automatisierte Abrufen der exakten Satellitenparameter, also bezüglich des exakten Längengrades, z.B. via <http://www.satellite-calculations.com>, wäre eine zwar kleine, aber dennoch praktische Weiterentwicklung, um die exakte Registrierung der Einzelbilder der Satelliten für das globale Mosaik auch über längeren Zeitraum zu gewährleisten.

9 Literatur

- [AGA-04] AGARWALA, A., DONTCHEVA, M., AGRAWALA, M., DRUCKER, S., COLBURN, A., CURLESS, B., SALESIN D., COHEN, M. (2004): Interactive digital photomontage, ACM Trans. Graph., Bd. 23, Nr. 3, S. 294–302.
- [AGR-02] AGRAWAL, D., ZENG, Q.-A. (2002): Satellite Systems, Chapter 11, http://faculty.csie.ntust.edu.tw/~hwferng/file_dir/MblCpt03/Chapt-11.pdf
- [ARI-05] ARIF, F., AKBAR, M. (2005): Resampling Air Borne Sensed Data Using Bilinear Interpolation Algorithm, Proceedings of the 2005 IEEE, International Conference on Mechatronics, July 10-12, 2005, Taipei, Taiwan
- [BAR-12] BARBOSA, R. C. (2012): China launches Tianhui-1B via Long March 2D, NASA Space Flight, <https://www.nasaspaceflight.com/2012/05/china-launches-tianhui-1b-long-march-2d/>
- [BIG-12] BIGNALET-CAZALET, F., BAILLARIN, S., GRESLOU, D. (2012): Automatic and generic mosaicing of multisensor images: an application to pleiades hr.
- [BUR-83] BURT, P. J., ADELSON, E. H. (1983): A multiresolution spline with application to image mosaics, ACM Transactions on Graphics (TOG), Bd. 2, Nr. 4, S. 217–236.
- [CAR-17] Cartopy (2017): Cartopy, Met Office, British Crown, Online: <http://scitools.org.uk/cartopy>
- [CAP-01] CAPEL, D.P. (2001): Image Mosaicing and Super-resolution, Robotics Research Group, Department of Engineering Science, University of Oxford, <http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/publications/papers/capel01a.pdf>
- [CCC-17] Creative Commons Corporation (2017): Creative Commons. Online: <https://creativecommons.org>, letzter Aufruf 10.02.2017
- [CEO-17] CEOS (2017): Committee on Earth Observation Satellites, Online: <http://ceos.org/>, letzter Aufruf: 15.04.2017
- [CGM-99] CGMS (1999): LRIT/HRIT Global Specification, Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS-03), ftp://ftp.ingv.it/pub/luca.merucci/per%20Dario%20e%20Severin/SEVIRI/Navigazione/PDF_CGMS_LRIT_HRIT_2_6.pdf
- [CGM-11] CGMS (2011): Change Of Geographical Reference System in the HRIT/LRIT Global Specification, Coordination Group for Meteorological Satellites, www.cgms-info.org/documents/documents-cgms/cwpt_97~2.pdf
- [CGM-14] CGMS (2014): Report of the 42nd Meeting of the Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS-42), Guangzhou, China, 19-23 Mai 2014, Online: http://www.cgms-info.org/documents/CGMSMR42_00_FullReport.pdf
- [CGM-13] CGMS (2013): LRIT/HRIT Global Specification, Version 2.8, Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS-03), [https://www.cgms-info.org/documents/cgms-lrit-hrit-global-specification-\(v2-8-of-30-oct-2013\).pdf](https://www.cgms-info.org/documents/cgms-lrit-hrit-global-specification-(v2-8-of-30-oct-2013).pdf)
- [CLA-17] CLASS (2017): Comprehensive Large Array-Data Stewardship System, NOAA, <https://www.class.ncdc.noaa.gov>
- [CMA-17] CMA (2017): China Meteorological Administration, Online: <http://www.cma.gov.cn>
- [COM-09] COMBAL, B., NOEL, J. (2009): Projection of Meteosat images into WorldGeodetic system WGS-84 matching Spot/Vegetation grid, Institute for Environment and

- Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, Online: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC52438/combal_noel_msg_final.pdf
- [DEL-99] DELU, P., SHUJIN, L., ZHIHUA, M. (1999): The activities of ocean colour remote sensing in China, In: Space Policy, 1999, Vol.15(1), pp.19-22 [Peer Reviewed Journal]
- [DIE-17] DIEPOLD, K. (2017): Image Resampling, Lehrstuhl für Datenverarbeitung, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität München, https://www.ldv.ei.tum.de/fileadmin/w00bfa/www/content_uploads/Vorlesung_3.4_Resampling.pdf
- [DUC-95] DUCHOSSOIS, G., MARTIN, P. (1995): ERS-1 AND ERS-2 TANDEM OPERATIONS, In: Esa Bulletin-European Space Agency, 1995 Aug, Issue 83, pp.54-60 [Peer Reviewed Journal]
- [DUN-17] Dundee Satellite Receiving Station (2017): Dundee Satellite Receiving Station, NERC Earth Observation DataAcquisition and Analysis Service, University of Dundee, <http://www.sat.dundee.ac.uk/>
- [EOG-17] Earth Observation Group (2017): Earth Observation Group, National Center for Environmental Information, National Oceanic and Atmosphere Administration, <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/>
- [EOP-17] Earth Observation Portal (2017): Earth Observation Portal, Sharing Earth Observation Ressources, ESA, <https://eoportal.org/web/eoportal>
- [ERN-16] ERNESTI, J., KAISER, P. (2016): Python 3, Das umfassende Handbuch, 4., aktualisierte und erweiterte Auflage, Rheinwerk Verlag, 1032 S.
- [ESA-15] ESA (2015): Sentinel-2 User Handbook, https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
- [ESA-17] ESA (2017): European Space Agency, <http://www.esa.int>
- [ESR-17] ESRI (2017): How To: Create projection metadata (.prj) files for shapefiles, <http://support.esri.com/en/technical-article/000001897>
- [EPS-17] EPSG (2017): IOGP's EPSG Geodetic Parameter Dataset, Online: <http://www.epsg.org/>
- [EUM-17] EUMETSAT (2017): European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, <http://www.eumetsat.int>
- [EVE-90] EVENDEN, G. (1990): Cartographic Projection Procedures for the UNIX Environment - A User's Manual, USGS, <http://download.osgeo.org/proj/OF90-284.pdf>
- [EVE-17] EVENDEN, G. (2017): proj4 Documentation, Release 4.9.3, <https://raw.githubusercontent.com/OSGeo/proj.4/gh-pages/proj4.pdf>
- [FER-14] FERREIRA-SNYMAN, A. (2014): Legal challenges relating to the commercial use of outer space, with specific reference to space tourism, Potchefstroom Electronic Law Journal, 2014, Vol.17(1), pp.1-50 [Peer Reviewed Journal]
- [GDA-17] GDAL (2017): GDAL - Geospatial Data Abstraction Library: Version 2.2.2, Open Source Geospatial Foundation, <http://gdal.osgeo.org>
- [GEO-17] Geopandas (2017): Geopandas Documentation, <http://geopandas.org>
- [GIS-17] Gisgeography.com (2017): Resampling Techniques in GIS, <http://gisgeography.com/raster-resampling>

- [GLO-18] Globocess (2018): Globocess – Digital Globes – Spherical Displays – Animated Earth, <http://globocess.de/>
- [GOE-17] GOES-R (2017): GOES-R, Geostationary Operational Environmental Satellite — R Series, A collaborative NOAA & NASA program, Online: <http://www.goes-r.gov/>
- [GON-13] GONZALES, R.A. (2013): Compression Based Analysis of Image Artifacts: Application to Satellite Images, Thèse pour obtenir le grade de docteur délivré par, Télécom ParisTech Spécialité “Signal et Images”, 158 S, https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/687314/filename/A._Roman-Gonzalez_-_Satellite_Image_Artifacts_Detection_Based_on_Complexity_Distortion_Theory_-_2011.pdf
- [HDF-17] HDF Group (2017): What is HDF5?, <https://support.hdfgroup.org/HDF5/whatishdf5.html>
- [HEC-89] HECKBERT, P. (1989): Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping, Master's Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, <https://www.cs.cmu.edu/~ph/texfund/texfund.pdf>
- [HIL-14] HILLGER, P., SEAMAN, C., LIANG, C., MILLER, S., LINDSEY, D., KOPP, T. (2014): Suomi NPP VIIRS Imagery evaluation, Journal of Geophysical Research, Volume 119, Issue 11, 16 June 2014, S. 6440–6455
- [IET-16] IETF (2016): The GeoJSON Format, Internet Engineering Task Force (IETF), <https://tools.ietf.org/html/rfc7946>
- [HOF-02] HOFFMANN, G. (2002): Gaussian Filter, A Gaussian filter smoothes an image by calculating weighted averages in a filter box, <http://users.utcluj.ro/~baruch/resources/Image/gauss25092001.pdf>
- [JAX-17] JAXA (2017): Japan Aerospace Exploration Agency, Online: <http://global.jaxa.jp/>
- [JPS-17] Joint Polar Satellite System (2017): Joint Polar Satellite System, NOAA, <http://www.jpss.noaa.gov/>
- [KAŇ-11] KAŇÁK, J. (2011): Overview of the IR channels and their applications, EUMeTrain, 14 June 2011.
- [KAL-99] KALYANARAMAN, S. (1999): Remote sensing data from IRS satellites — past, present and the future, In: Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 1999, Vol.27(2), S. 59-69 [Peer Reviewed Journal]
- [KEL-07] KELKAR, R. R. (2007): Satellite Meteorology, BSP, BS Publications, Hyderabad, Indien, 267 S.
- [KIM-05] KIM, B.-S., KIM, H. S., MORGENTHALER, G. W. (2005): The KOMPSAT Program to Provide Various Applications in the Field of Earth Observation covering Land, Sea, and Coastal Zones,” Proceedings of the 56th IAC 2005, Fukuoda, Japan, Oct. 17-21, 2005, IAC-05-B1.1.06
- [KIM-13] KIMURA, T. (2013): Up-to-date Information on the Japanese Next-Generation Himawari-8/9 Satellites for Users' Preparedness, Mai 13, 2013, Online: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/EC-65-SideEvent-UserPrep_Doc_02_JMA.pdf
- [KIN-07] KING, M. D. (2007): Our Chaning Planet, Apendix 1: Satellites and Satellite Orbits, Cambridge University Press
- [KÖP-12] KÖPKE, P., SACHWEH, M. (2012): Satellitenmeteorologie, 2012, 416 S.

- [KUZ-15] KUZETSOV, V.D., SINELNIKOV, V.M., ALPERT, S.N. (2015): Yakov Alpert: Sputnik-1 and the first satellite ionospheric experiment. - In: Advances in Space Research, 15 June 2015, Vol.55(12), pp.2833-2839 [Peer Reviewed Journal]
- [LEE-01] LEE, S.-R., KIM, H.-J., LEE, J.-J., KIM, Z.-C. (2001): System Design of the KOMPSAT-2, 6 th Asia-Pacific Conference on Multilateral Cooperation in Space Technology and Applications (APC-MCSTA), Sept.. 18-21, 2001, Beijing, China
- [LEE-14] LEE, D.-H., SEO, D.-C., KIM, H.-S., LEE, E.-S., CHOI, H.-J. (2014): Calibration and Validationfor KOMPSAT-3," Proceedings of JACIE 2014 (Joint Agency Commercial Imagery Evaluation) Workshop, Louisville, Kentucky, March 26-28, 2014, Online: https://calval.cr.usgs.gov/wordpress/wpcontent/uploads/14.027_KOMPSAT3_CalVal.pdf
- [LIA-17] LIANG, K., SHI, H., YANG, P. (2017): An Integrated Convective Cloud Detection Method Using FY-2 VISSR Data, Atmosphere, 01 February 2017, Vol.8(2), p.42 [Peer Reviewed Journal], <http://www.mdpi.com/2073-4433/8/2/42>
- [LIN-08] LIN, M. (2008): The Contribution of Global Ocean Observation of Continuity of HY-2 Satellite, http://www.coastalt.eu/files/pisaworkshop08/pres/08-HY-2_satellite_contribution.pdf
- [LIU-11] LIU, H., BAO, L., CHEN, Q., CHEN, Z. (2011): A high-precision 1D dynamic angular measuring system based on linear CCD for Fengyun-2 meteorological satellite, In: Optics and Laser Technology, 2011, Vol.43(7), pp.1306-1313 [Peer Reviewed Journal]
- [LOY-13] LOYD, C. (2013): Landsat 8 Bands, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>
- [LUN-91] LUNETTA, R.S., CONGALTON, R.G., FENSTERMAKER, L.K., JENSEN, J.R., MCGWIRE, K.C., TINNEY, L.R. (1991): Remote Sensing and Geographic Information System Data Integration: Error Sources and Research Issues, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, June 1991, pp. 677-687.
- [MAP-99] MapInfo Corporation (1999): The MapInfo Interchange File (MIF) - Format Specification, Troy, NY, http://read.pudn.com/downloads138/sourcecode/others/592839/Mapinfo_Mif.pdf
- [MAP-09] Mapnik (2009): XML Schema Reference for the Map Definition File, <http://gis.19327.n8.nabble.com/attachment/5340415/0/MapnikXMLDescription.pdf>
- [MAP-17] MapServer (2017): MapServer, Open Source Web Mapping, <http://www.mapserver.org>
- [MAY-01] MAYER, H. (2001): Projekt Engineering, Ingenieursmäßige Softwareentwicklung in Projektgruppen, Fachbuchverlag Leipzig, 294 S.
- [MSC-17] Meteorological Satellite Center (2017): Meteorological Satellite Center (CMA) of JMA, <http://www.jma-net.go.jp/msc/en/>
- [OSP-17] Office of Satellite and Product Operations (2017): Office of Satellite and Product Operations, National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Online: <http://www.ospo.noaa.gov>
- [OPE-16] Open Knowledge International (2016): Open Data Handbook. Online: <http://opendatahandbook.org/guide/en/what-is-open-data/>, letzter Aufruf 15.05.2016
- [OPE-17] OpenCV (2017): OpenCV 3.0.0-dev documentation, OpenCV API Reference, <https://docs.opencv.org/3.0-beta/modules/core/doc/intro.html>

- [OWE-15] OWEN, T. (2016): TERRA, The EOS Flagship, Online: <http://terra.nasa.gov/>, letzter Aufruf 15.07.2016
- [NAS-12] NASA (2012): NOAA-N Prime Booklet, Online: www.nasa.gov/pdf/298662main_NOAA-N%20Prime%20Booklet%2012-16-08.pdf, letzter Aufruf 12.04.2017
- [NAS-15] NASA (2015): Sputnik 1, letztes Update 05.11.2015, letzter Aufruf 03.04.2017
- [NAS-17a] NASA Space Science Data Coordinated Archive (2017): Nimbus 1, NSSDCA/COSPAR ID: 1964-052A, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1964-052A>, letzter Aufruf 11.04.2017
- [NAS-17b] NASA Goddard Space Flight Center Missions Archive (2017): ATS, <https://www.nasa.gov/centers/goddard/missions/ats.html>, letzter Aufruf 12.04.2017
- [NEO-16] NASA Earth Observatory (2016): NASA Earth Observatory, <http://earthobservatory.nasa.gov>
- [NRC-13] National Research Council (U.S.), Committee on Implementation of a Sustained Land Imaging Program; National Research Council (U.S.), Space Studies Board; National Research Council (U.S.), Division on Engineering and Physical Sciences (2013): Landsat and beyond : sustaining and enhancing the nation's land imaging program, Washington, D.C., National Academies Press
- [NRL-17] Navy Research Laboratory (2017): U.S. Navy Research Laboratory Marine Meteorology Division, <http://www.nrlmry.navy.mil>, letzter Aufruf 03.01.2017
- [NSM-10] NSMC (2010): National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, <http://www.nsmc.org.cn>
- [NSM-17] NSMC (2017): FengYun Satellite Data Center, National Satellite Meteorological Center, <http://satellite.nsmc.org.cn>
- [NMS-17] NMSC (2017): National Meteorological Satellite Center of KMA, <http://nmkc.kma.go.kr>
- [OGC-15] OGC (2015): Geographic information - Well-known text representation of coordinate reference systems, Open Geospatial Consortium, <https://portal.opengeospatial.org/files/12-063r5>
- [OGC-17] OGC (2017): Geography Markup Language, Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>
- [OSG-17] OSGeo Live (2017): OSGeo Live, Online: <https://live.osgeo.org>
- [PES-14] PESHKUN, A. (2014): Resurs-P capabilities and standard products, The 14th International Scientific and Technical Conference, 'From imagery to map digital photogrammetric technologies,' China, Oct. 20-22, 2014, Online: <http://conf.racurs.ru/images/presentations/Peshkun.ppsx>
- [PÉR-03] PÉREZ, P., GANGNET, M., BLAKE, A. (2003): Poisson image editing, ACM Transactions on Graphics (TOG), Bd. 22, Nr. 3, S. 313–318.
- [PYG-17] PyGeoprocessing (2017): PyGeoprocessing Documentation, <https://pythonhosted.org/pygeoprocessing>
- [PYP-17] PyPy (2017): PyPy Documentation, <http://pypy.org>
- [PYT-15] Pytroll (2015): Pytroll Documentation, Release 1.0, Online: <https://media.readthedocs.org/pdf/pytroll/latest/pytroll.pdf>

- [RAJ-82] RAJ, A., MOHAN, V. C. (1982): INSAT: Evolution and Prospects, In: Economic and Political Weekly, 14. August 1982, Vol.17(33), pp.1326-1331
- [RAL-70] RALPH E. (1970): Cloud cover. Glossary of Meteorology (2nd ed.). Boston: American Meteorological Society.
- [REI-17] REITZ, K. (2017): Requests: HTTP for Humans, Documentation, docs.python-requests.org/en/master/
- [RIE-00] RIEDL, A. (2000): Virtuelle Globen in der Geovisualisierung - Untersuchungen zum Einsatz von Multimediatechniken in der Geopräsentation. - Dissertation, Grund- und Integrativwissenschaftliche Fakultät der Universität Wien, 196 S.
- [RIE-10a] RIEDL, A., KRISTEN, J. (2010): Der Einsatz sphärischer Displays zur Visualisierung globaler Phänomene. - In: Kartographische Nachrichten, 60, 3, 129-137.
- [RIEb-10b] RIEDL, A. (2010): Entwicklungsgeschichte digitaler Globen. - In: Der Globusfreund 57/58, Wien, Internat. Coronelli Ges. für Globen u. Instrumentenkunde 2010
- [SAY-15] SAYAR, A., EKEN, S. (2015): Kd-tree and quad-tree decompositions for declustering of 2D range queries over uncertain space, O. Frontiers Inf Technol Electronic Eng (2015) 16: 98.
- [SER-13] SERR, P. (2013): Vollautomatisches Mosaikieren von Satellitenbildern, 2013, 105 S.
- [SHI-00] SHILU, C., HUI, Y., YUANLI, C., XIAOPING, Z. (2000): Progress and development of space technology in China, In: Acta Astronautica, 2000, Vol.46(9), pp.559-563 [Peer Reviewed Journal]
- [SOK-13] SOKOLIK, I. N. (2013): Introduction to NASA satellite data products, Georgia Institute of Technology, http://irina.eas.gatech.edu/EAS6145_Spring2013/Intro-NASA-data.pdf
- [SOS-16a] Science On a Sphere (2016): Science On a Sphere, User Manual, Version 5.1.0+ http://sos.noaa.gov/_downloads/docs/sos-user-manual.pdf, letzter Aufruf 19.08.2016, sos.gsd@noaa.gov
- [SOS-16b] Science On a Sphere (2016): Science On a Sphere, http://sos.noaa.gov/What_is_SOS/, letzter Aufruf 02.11.2016, sos.gsd@noaa.gov
- [SOS-17] Science On a Sphere (2017): Dataset (Content) Creation Guidelines, <https://sos.noaa.gov/sos-explorer/dataset-content-creation-guidelines.pdf>
- [SPA-17a] Space View (2017): Superview-1 Datasheet, <http://www.siweidg.com/uploads/soft/170503/1-1F503150046.pdf>
- [SPA-17b] Spatial Reference (2017): Spatial Reference, about spatial reference, Online: <http://spatialreference.org>
- [STU-13] STUBENRAUCH, C. J., ROSSOW, W. B., KINNE, S., ACKERMAN, S., CESANA, G., CHEPFER, H., DI GIROLAMO, L., GETZEWICH, B., GUIGNARD, A., HEIDINGER, A., MADDUX, B. C., MENZEL, W.P., MINNIS, P., PEARL, C., PLATNICK, S., POULSEN, C., REIDI, J., SUN-MACK, S., WALTHER, A., WINKER, D., ZENG, S., ZHAO, G. (2013): Assessment of global cloud datasets from satellites: Project and Database initiated by GEWEX Radiation Panel. Bulletin of the American Meteorological Society 94.
- [SZE-06] SZELISKI, R. (2006): Image alignment and stitching: a tutorial, Found. Trends. Comput. Graph. Vis., Bd. 2, Nr. 1, S. 1–104.

- [SZE-11] SZELISKI, R., UYTENDAELE, M., STEEDLY, D. (2011): Fast poisson blending using multisplines, in Computational Photography (ICCP), 2011 IEEE International Conference on, IEEE, 2011, S. 1–8.
- [TAY-00] TAYLOR, A. E. F. (2000): Illumination Fundamentals, Lightning Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.
- [UNI-18] Unidata (2018): What is netCDF?,
<https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/faq.html>
- [XPL-16] XPlanet (2016): XPlanet, <http://xplanet.sourceforge.net>, letzter Aufruf 25.12.2016
- [WAN-12] WANG, W., WANG, J., LAN, L., JIANG, H., ZHANG, R., WANG, C. (2012): PMS Camera For ZY-1(02C) Satellite, Proceedings of the ICSO (International Conference on Space Optics), Ajaccio, Corse, France, Oct. 9-12, 2012, paper: ICSO-041, http://www.congrexprojects.com/custom/icso/2012/papers/FP_ICSO-041.pdf
- [WHI-06] WHITAKER, J. (2006): Pyproj Documentation, <https://jswhit.github.io/pyproj/>
- [WIN-12] WINTNER, S. (2012): Digital Storytelling angewandt auf einen taktilen Hyperglobus. - Diplomarbeit, Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien, 159 S.
- [WMO-15] WMO (2017): Manual on the WMO Integrated Global Observing System - Annex VIII to the Technical Regulations,
Online: http://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/documents/WIGOS-RM/1160_en.pdf
- [WMO-17] WMO (2017): World Meteorological Organisation, <http://www.wmo.int>, letzter Abruf 16.04.2017
- [WWF-17] WWF (2017): The Natural Capital Project, World Wildlife Fund, <https://www.worldwildlife.org/projects/the-natural-capital-project>

Abbildungsquellen:

- [ARC-18] ArcGIS Help (2018): Zellengröße und Resampling bei der Analyse, ArcGIS Online Help, <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/guide-books/extensions/spatial-analyst/performing-analysis/cell-size-and-resampling-in-analysis.htm>
- [EAR-08] Earthzine (2008): Coordinating Satellite Observations during the International Polar Year 2007-2008, earthzine, Fostering Earth Observation & Global Awareness, IEEE Oceanic Engineering Society, <https://earthzine.org/2008/03/09/coordinating-satellite-observations-during-the-international-polar-year-2007-2008/>
- [SCH-06] SCHMALTZ, J. (2006): Sunlint off northern Australia, National Aeronautics and Space Administration (NASA) - NASA (Image galleries).

Anhang

```
#!/usr/bin/python3

""" Creates global cloud cover mosaics via data from Dundee SRS.

Usage in terminal: "python3 cloudcover.py <user> <password>"

This script downloads images from geostationary satellites (GEO) via
Dundee

Satellite      Receiving      Station      (get      logindata      at
http://www.sat.dundee.ac.uk/),

resamples them to plate carree and creates a global cloud cover mosaic via
euclidean distance weighting in 8192x4096 pixel images.

Credit for original images: NERC Satellite Receiving Station, Dundee
University,

Scotland.

Done in Python 3.5.
"""

import time
import os
import multiprocessing as mp
import gc
import shutil
from argparse import ArgumentParser
from scipy import ndimage as sp
import numpy as np
import requests
import cv2
from pyresample import geometry, image
#from pycoast import ContourWriter #For Coastlines.
```

```
__author__ = "Reinhard Resch"
__copyright__ = "Copyright 2017"
__license__ = "GPL"
__version__ = "3"
__maintainer__ = "Reinhard Resch"
__email__ = "reinhard.resch@univie.ac.at"
__status__ = "Prototype"

def downloader(user, pw):
    """Automatically downloader for Dundee-Satellite-receiving-station
       GEOS-Images - checks every three hours for new images and
       downloads them.
    """
    curtime = time.gmtime()
    year = str(curtime[0])
    month = str(curtime[1])
    day = str(curtime[2])
    hour = str(curtime[3])
    minute = str(curtime[4])
    #set download-hour on last possible hour (modulus 3 == 0)
    dlhour = str(curtime[3] - (curtime[3] % 3))
    user = user
    pw = pw
    if dlhour != "0":
        apxzero = "00"
    else:
        apxzero = ""
    srvfileappendix = year + "/" + month + "/" + day + "/" \
```

```

        + dlhour + apxzero + "/" + year + "_" + month + "_" + day + "_" \
        + dlhour + apxzero

satlist = [
    ["GOES-West", "135.0W/GOES/" + srvfileappendix +
    "_GOES15_4_S1.jpeg"],
    ["GOES-East", "075.0W/GOES/" + srvfileappendix +
    "_GOES16_13_S1.jpeg"],
    ["MSG-0Deg", "000.0E/MSG/" + srvfileappendix + "_MSG3_9_S1.jpeg"],
    ["MSG-IODC", "041.5E/MSG/" + srvfileappendix + "_MSG1_9_S1.jpeg"],
    ["Himawari-8", "140.7E/MTSAT/" + srvfileappendix +
    "_MTSAT3_13_S1.jpeg"]
]

print("[-] Scanning for images at: {}:{} UTC".format(hour,curtime[4]))
s = requests.Session()
s.auth = (user, pw)
for sat, sourcename in satlist:
    url = "http://www.sat.dundee.ac.uk/xrit/" + sourcename
    try:
        requ = s.get(url, stream=True)
    except requests.exceptions.ConnectionError:
        print("[!] Please check your internet connection")
        filename = "{}_{}_{}_{}_{}.jpg".format(sat, year, month, day,
dlhour)
    if requ.status_code == 200 and filename not in localimg:
        print("[+] Downloading {}".format(filename))
        with open(os.path.join("rawimgs", filename), "wb") as fobj:
            localimg.append(filename)
            for chunk in requ.iter_content():
                fobj.write(chunk)
    """else:
        timetorock = 3 - (curtime[3] % 3) + curtime[3]

```

```
        print("[-] Idling until {}:00 UTC (now: {}:{}".format(timeto rock,
hour,
        minute))

    """
def verifier():
    """Verifies if all (5) downloaded files are from the same hour.
    """
    hours = []
    for i in localimg:
        hours.append(i.split(".")[0][-2:])
    if len(set(hours)) == 1:
        return True

def earthcutter():
    """Cuts earth-disc from rest of image which it makes transparent
    and saves as PNG (for transparent pixels).
    """
    for i in localimg:
        img = cv2.imread(os.path.join("rawimgs", i),0)
        print("[-] Cropping: {}".format(i))
        if "GOES-East" in i:
            crop_img = img
        elif "GOES-West" in i:
            crop_img = img[273:2970, 51:2761]
        elif "MSG-0Deg" in i:
            crop_img = img[55:3656, 55:3657]
        elif "MSG-IODC" in i:
            crop_img = img[58:3658, 55:3655]
        elif "Himawari" in i:
```

```

        crop_img = img[40:5460, 30:5468]
    else:
        print(r"[!] Dont copy any images in \rawimgs folder!")
        exit(0)

    filename = i.split(".")[0] + ".png"
    print("[+] Saving cropped image: {}".format(filename))
    cv2.imwrite(os.path.join("cuts", filename), crop_img)
    cutimg.append(filename)

del img, crop_img

def resample():
    """Registers the images in the new CRS, resamples them and saves them.
    """
    cpucount = mp.cpu_count()
    mosaic_extent = (-20037508.34, -10018754.17, 20037508.34, 10018754.17)
    mosaic_prj4 = {"a": "6378137", "b": "6356752.3", "proj": "eqc"}
    mosaic_def = geometry.AreaDefinition("plat", "Plate Carree", "plat",
        mosaic_prj4, 8192, 4096, mosaic_extent)

    for i in cutimg:
        img = cv2.imread(os.path.join("cuts", i), 0)
        print("[-] Georeferencing: {}".format(i))
        y_size, x_size = img.shape[:2]

        if "GOES-West" in i:
            long = "-135.22"
            xextent = 5420000
            yextent = 5394000

        elif "GOES-East" in i:
            long = "-75.18"

```



```

        xextent = 5424000
        yextent = 5424000
    elif "MSG-0Deg" in i:
        long = "0"
        xextent = 5403000
        yextent = 5401500
    elif "MSG-IODC" in i:
        long = "41.5"
        xextent = 5400000
        yextent = 5400000
    elif "Himawari-8" in i:
        long = "140.65"
        xextent = 5438000 #5450000
        yextent = 5420000

    proj_dict = {
        "a": "6378137.0", "b": "6356752.3", "lon_0": long,
        "h": "35785831", "proj": "geos"
    }
    area_extent = (-xextent, -yextent, xextent, yextent)
    area_def = geometry.AreaDefinition(
        "geos", "geos", "geos", proj_dict, x_size, y_size,
area_extent)

    imgcontainer = image.ImageContainerNearest(img, area_def,
        radius_of_influence=50000, nprocs=cpucount)
    print("[-] Resampling: {}".format(i))
    imgresample = imgcontainer.resample(mosaic_def)
    resampled = imgresample.image_data

    #alpha_channel = np.ones(resampled.shape, dtype=resampled.dtype)
*255

    #imgwa = cv2.merge((resampled, resampled, resampled,

```

```

alpha_channel))

    filename = i.split(".")[0] + ".png"

    print("[+] Saving resampled image: {}".format(filename))

    cv2.imwrite(os.path.join("resampled", filename), resampled)

    rsmplimg.append(filename)

del resampled, imgresample, imgcontainer, img

"""
    For Coastlines:

                                                    CW      =
ContourWriter("/home/reini/programmieren/python/cloudcover/pycoast-
shapes")

    cw.add_coastlines_to_file(os.path.join("resampled", i.split(".")
[0] + ".png"), mosaic_def, resolution="1", level=4, outline="red")
    """

def weightmask():
    """Calculates a (8-bit) weight mask based on euclidean distance.
    """

    if len(maskimg) == 0:

        for i in rsmplimg:

            filename = i.split("_")[0] + "_mask.png"

            print("[-] Creating weightmasks for blending")

            img = cv2.imread(os.path.join("resampled", i), 0)

            #Create binary mask for two-pass algorithm.

            ret, binmask = cv2.threshold(img,0,1, cv2.THRESH_BINARY)

            #Apply median filter to cleanup dark data areas.

            median = cv2.medianBlur(binmask, 181)

            #Calculate exact euclidean distance.

            eucl = sp.distance_transform_edt(median)

            #Normalize values between 0 and 1, then multiply with 255
saving.

```

```

        dist = (eucl/np.max(eucl))*255

        print("[+] Saving weightmask: {}".format(filename))

        cv2.imwrite(os.path.join("masks", filename), dist)

        maskimg.append(filename)

del img, ret, binmask, median, eucl, dist

def blending():
    """Blends images to a global mosaic.
    """
    print("[-] Building global mosaic")
    mosaic = np.zeros((4096, 8192))
    for i in rsmplimg:
        img = cv2.imread(os.path.join("resampled", i), 0)
        maskname = i.split("_")[0] + "_mask.png"
        #Load mask and normalize values between 0 and 1.
        alpha = cv2.imread(os.path.join("masks", maskname), 0)/255
        #Add data to global mosaic.
        mosaic = mosaic + img*alpha
    #Normalize values for 8-bit.
    mosaic = mosaic/np.max(mosaic)*255
    mosaic = mosaic.astype("uint8")
    #Apply CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)
    print("[-] Applying CLAHE")
    clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=30.0, tileGridSize=(8,8))
    cl1 = clahe.apply((mosaic))
    filename = "cloudcover_" + i.partition("_")[2]
    print("[+] Saving global mosaic {}".format(filename))
    cv2.imwrite(os.path.join("cloudcovers", filename), cl1)
    cloudimg.append(filename)
del mosaic, img, alpha

```

```
def cloudmask():
    """Creates a transparent cloud mask based on cloud intensity.
    """
    for i in cloudimg:
        print("[-] Creating cloud mask")
        img = cv2.imread(os.path.join("cloudcovers", i), 0)
        #Apply threshold to filter dark/cloudless areas.
        ret, alpha = cv2.threshold(img, 10, 255, cv2.THRESH_TOZERO)
        imga = cv2.merge((img, img, img, alpha))
        filename = "cloudmask_" + i.partition("_")[2]
        print("[+] Saving cloud mask: {}".format(filename))
        cv2.imwrite(os.path.join("cloudmasks", filename), imga)
    del img, alpha, imga

def killdaemon():
    """Removes temporary files and cleans lists.
    """
    curtime = time.gmtime()
    hour = str(curtime[3])
    minute = str(curtime[4])
    print("[-] Performing data cleanup...")
    for i in rsmplimg:
        try:
            os.remove(os.path.join("resampled", i))
        except:
            print("[!] Please close all opened files!")
    for i in cutimg:
        try:
            os.remove(os.path.join("cuts", i))
```

```
        except:
            print("[!] Please close all opened files!")
    for i in localimg:
        try:
            os.remove(os.path.join("rawimgs", i))
        except:
            print("[!] Please close all opened files!")
    for i in maskimg:
        try:
            os.remove(os.path.join("masks", i))
        except:
            print("[! Please close all opened files!")

    maskimg[:] = []
    rsmplimg[:] = []
    cutimg[:] = []
    localimg[:] = []
    cloudimg[:] = []

    gc1 = gc.collect()
    print("[-] Unreachable objects: {}".format(gc1))
    #Set sleep-time until next possible image download:
    timetorock = 3 - (curtime[3] % 3) + curtime[3]
    print("[-] Idling until {}:00 UTC (now: {}: {})".format(timetorock,
hour,
        minute))

    sleeptime = 10800 - time.time()%10800
    time.sleep(sleeptime)

def main():
    parser = ArgumentParser(description="Creates a global cloud cover
mosaic.",
```

```
    epilog=r"Get logindata at http://www.sat.dundee.ac.uk/")
parser.add_argument("user", help="Username for Dundee", type=str)
parser.add_argument("pw", help="Password for Dundee", type=str)
args = parser.parse_args()
user = args.user
pw = args.pw
global localimg
localimg = []
global cutimg
cutimg = []
global rsmplimg
rsmplimg = []
global maskimg
maskimg = []
global cloudimg
cloudimg = []
folders = ["rawimgs", "cuts", "resampled", "masks", "cloudcovers",
           "cloudmasks"]
for i in folders:
    try:
        os.mkdir(i)
    except FileExistsError:
        if i in folders[0:3]:
            print("[-] Cleaning up working directory {}".format(i))
            shutil.rmtree(i)
            os.mkdir(i)
        else:
            continue
    except:
        print("[!] Please provide sufficient file and directory
```

```
rights.")

    while True:

        downloader(user, pw)

        time.sleep(60)

        if len(localimg) == 5:

            if verifier():

                earthcutter()

                resample()

                weightmask()

                blending()

                cloudmask()

            else:

                print("[!] Couldn't aquire all images for global mosaic")

                killdaemon()

        #In case...

        elif len(localimg) >= 6:

            killdaemon()

if __name__ == "__main__":

    main()
```

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift