

HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ (FH)
FACHBEREICH INFORMATIK

**Implementierung
einer Software - Schnittstelle
zur Einbindung eines Hyperspektralsensors
in eine Kalibrierungseinrichtung**

Diplomarbeit

erstellt am:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Oberpfaffenhofen
Institut für Methodik der Fernerkundung

vorgelegt von:

Roberto Brankatschk

geboren am:

20. September 1981 in Räckelwitz.

Betreuer: Karim Lenhard

Referent: Prof. Dr.-Ing. Reiner Böhm

Görlitz, 07.10.2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Grundlagen	9
2.1	Das Kalibrierlabor	9
2.1.1	Die Infrastruktur des Kalibrierlabors	10
2.1.1.1	Der Umlenkspiegel	11
2.1.1.2	Der Kollimator und das Spaltrad	12
2.1.1.3	Der Monochromator	13
2.1.1.4	Die Ulbrichkugeln	14
2.1.1.5	Geräte zur Überprüfung der Umweltbedingungen	15
2.2	Hyperspektrale Sensoren	15
2.3	Der Airborne Reflective Emissive Spectrometer	16
2.3.1	Die verschiedenen Arten der Messoperationen	18
2.4	Die Kalibrierung eines hyperspektralen Sensor-Systems	19
2.4.1	Spektrale Kalibrierung	20
2.4.2	Radiometrische Kalibrierung	20
2.4.3	Geometrische Kalibrierung	21
2.5	Die Software des Kalibrierlabors	21
2.5.1	Die Master-Anwendung	22
2.5.2	Die Slave-Anwendung	23
2.6	Die Kommunikation zwischen den CHB-Komponenten	24
2.6.1	Verwendung des TCP/IP Protokolls	24
2.6.2	Verwendung von Sockets und XML	25
2.7	Die ARES-Kommunikationsbibliothek	26
3	Entwicklung der Sensorsoftware	27
3.1	Eigenschaften der Sensorsoftware	27
3.2	Die Erweiterung des Masters	29

3.3	Die Kommunikation mit dem Master	30
3.4	Kommunikation Sensorsoftware und ARES-System	32
3.4.1	Die Verwendung der Callbackfunktionen	33
3.5	Konfiguration des ARES-Systems	34
3.6	Überwachung des ARES-Systems	35
4	Die Entwicklung des ARES-Calibration-Tools	37
4.1	Allgemeines	37
4.2	Aufbau der Konfigurationsdatei	37
5	Zusammenfassung und Ausblick	39
	Abbildungsverzeichnis	41
	Tabellenverzeichnis	43
6	Literaturverzeichnis	45
7	Anhang A	47
8	Anhang B	49
8.1	Aufbau der Protokolldatei des ARES-Systems	49
9	Anhang C	51
9.1	Konfigurationsschritte des ARES-Systems	51

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit nach §12 Absatz 8 der ADPO, selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Diese Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ebenfalls noch nicht veröffentlicht.

Görlitz, 15.01.2009

Roberto Brankatschk

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen herzlich für ihre Unterstützung im Studium und ihre Hilfe beim Verfassen dieser Diplomarbeit danken. Allen voran bedanke ich mich bei:

1 Einleitung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wird in Europa das Aufgabengebiet der Fernerkundung wahrgenommen. Ursprünglich in der militärischen Aufklärung angesiedelt verfolgt es heutzutage eher rein wissenschaftliche Zwecke.

Begrifflich gesehen beschreibt die Fernerkundung die Gesamtheit aller berührungsfreien Messverfahren, welche zur Gewinnung von Informationen über die Erdoberfläche und Atmosphäre genutzt werden. Entsprechend der Vielfältigkeit der Erdoberfläche sind auch die Einsatzgebiete der Fernerkundung weit gefächert.

Entsprechend der Vielfältigkeit der Erdoberfläche sind auch die Einsatzgebiete der Fernerkundung weitgefächert. Durch die einzigartige Möglichkeit, große Gebiete mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen, wird die Fernerkundung in einer Vielzahl von Fachgebieten, wie unter anderem in den Geowissenschaften, im Katastrophenschutz, in der Klimatologie, Atmosphärenphysik sowie auch in der Archäologie eingesetzt.

Bei der Fernerkundung werden passive und aktive Systeme verwendet, wobei weite Bereiche des elektromagnetischen Spektrums ausgewertet werden. Passive Systeme zeichnen die von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung sowie die von der Erdoberfläche emittierte Eigenstrahlung auf. Im Gegensatz dazu senden aktive Systeme Mikrowellen- oder Laserstrahlen aus und empfangen deren reflektierte Strahlen (zum Beispiel Radarsysteme und Laseraltimeter)[4].

Am DLR wird dieses Aufgabengebiet durch das Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) wahrgenommen. Zusammen bilden beide Institute den Verbund „Cluster Angewandte Fernerkundung“.

Das Institut leistet hauptsächlich Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Fernerkundungstechnologien. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Methoden, Techniken und Entwicklung von Verarbeitungssystemen zur Gewinnung georelevanter Informationen aus den Fernerkundungsdaten. Entwickelt werden so-

wohl theoretisch als auch praktisch Verfahren wie auch operationelle Verarbeitungssysteme, welche in die Verarbeitungsketten des DFD eingebunden werden. Das Institut wirkt ebenfalls mit seiner Erfahrung bei der Entwicklung und Konzeption neuer Sensorsysteme mit.[1]

Das IMF setzt dabei unter anderem folgende fachliche Schwerpunkte um:

- Entwicklung von Sensorkonzepten und Verarbeitungsprozessen für luftgestützte Spektrometer;
- Konzeption und Umsetzung von Algorithmen zur Auswertung von Synthetik-Apertur-Radar Daten, insbesondere Daten der Radar-Interferometrie;
- Entwicklung von photogrammetrischen und bildauswertenden Verfahren, automatisches Bildverstehen, inhaltsbasierte Suchverfahren sowie Information Mining in großen Fernerkundungsdatenbeständen;
- Kalibrierung sowie Betrieb und wissenschaftliche Begleitung flugzeugtragender abbildender optischer Spektrometer;
- Auswertung von Messkampagnen, welche von einem Satellit oder einem Flugzeug durchgeführt werden.

Das IMF betreibt am Standort Oberpfaffenhofen eine Reihe von Sensorsystemen, welche zur luftgestützten Erkundung der Erdoberfläche eingesetzt werden.

Das bestehende Sortiment wird in naher Zukunft durch das „Airborne Reflective Emissive Spectrometer“-System (ARES) erweitert. Geplant ist, dieses System unter anderem zur Erkundung der Gesteinsschichten der Erdoberfläche einzusetzen.

Um Sensor-Systeme wie das ARES-System optimal zu nutzen, wurde dafür am IMF ein Kalibrierlabor eingerichtet. Dieses Kalibrierlabor dient in erster Linie zur Realisierung von Testmessungen an den verschiedenen, zur Zeit am DLR verwendeten Spektrometern. Hierfür wird eine speziell dafür entwickelte Software und Hardware eingesetzt.

Schwerpunkt dieser Diplomarbeit ist es, Teile der bereits im Kalibrierlabor genutzte Software so anzupassen, dass es möglich ist, alle Arbeiten, wie sie bei den restlichen Sensor-Systemen durchgeführt werden, auch am ARES-System selbst zu ermöglichen. Weiterhin wurde im Rahmen der Arbeit eine Softwarelösung entwickelt, welche eine automatische Charakterisierung des ARES-Systems ermöglicht.

2 Grundlagen

Im diesem Kapitel wird das Kalibrierlabor sowie die Infrastruktur des Labors erläutert. Weiterhin wird das ARES System vorgestellt, vor allem werden seine Funktion und seine Besonderheiten näher erklärt. Darauf folgend wird auf die allgemeine Kalibrierung von Spektrometern eingegangen, insbesondere werden die verschiedenen Arten und Verfahren beschrieben. Im letzten Teil des Kapitels werden die Programme, welche bereits im Kalibrierlabor verwendet werden, sowie die Kommunikationsmethoden der Programme untereinander vorgestellt.

2.1 Das Kalibrierlabor

Im Falle der optischen Beobachtung der Erde beruht einer der Schwerpunkte auf der Erfassung von spektroradioskopischen Messungen und deren Auswertung. Um diesen Messungen physikalische Aussagekraft zu verleihen, werden mehrere unterschiedliche Arten der Kalibrierung am eingesetztem Spektrometer durchgeführt. Diese werden hauptsächlich in speziell dafür ausgerüsteten Laboren durchgeführt, da in einer solchen Einrichtung die gewünschten Umweltbedingungen, wie zum Beispiel Temperatur und Beleuchtung, realisiert werden können. Um eine optimale Arbeitsfunktion eines Sensors zu gewährleisten ist es ideal, wenn am eingesetzten Spektrometer in regelmäßigen Abständen Testmessungen und, falls erforderlich, Kalibrierungen durchgeführt werden. Da die meisten Instrumente für spezielle Aufgaben entwickelt und als Einzelstücke gefertigt wurden, richten sich an die Kalibriereinrichtungen ebenfalls stark spezialisierte Anforderungen, wie zum Beispiel die Gewährleistung der unterschiedlichen Abläufe bei Testmessungen oder Kalibrierungen sowie die Bereitstellung der dafür benötigten Instrumente.

Um diesen Anforderungen am DLR gerecht zu werden, wurde zu diesem Zweck die „Calibration Home Base (CHB)“ als optisches Labor eingerichtet. In erster Linie

ist es als Kalibrierungsumgebung für das „Airborne Prism EXperiment (APEX)“ gedacht. Das APEX-System beinhaltet einen biederzeugenden Spektrometer, welcher sowohl im sichtbarem als auch im infrarotem Wellenbereich arbeitet. Dieser wird von einem schweizerisch-belgischem Konsortium unter Leitung der ESA gebaut. Dank des modularen Aufbaus des Labors und seiner Infrastruktur kann es ebenso für andere am DLR eingesetzte Spektrometer und Feldmesser genutzt werden. In naher Zukunft wird die CHB auch für den „Airborne Reflective Emissive Spektrometer (ARES)“ als Umgebung für die Testmessungen am Sensor-System sowie für seine Kalibrierung dienen.

2.1.1 Die Infrastruktur des Kalibrierlabors

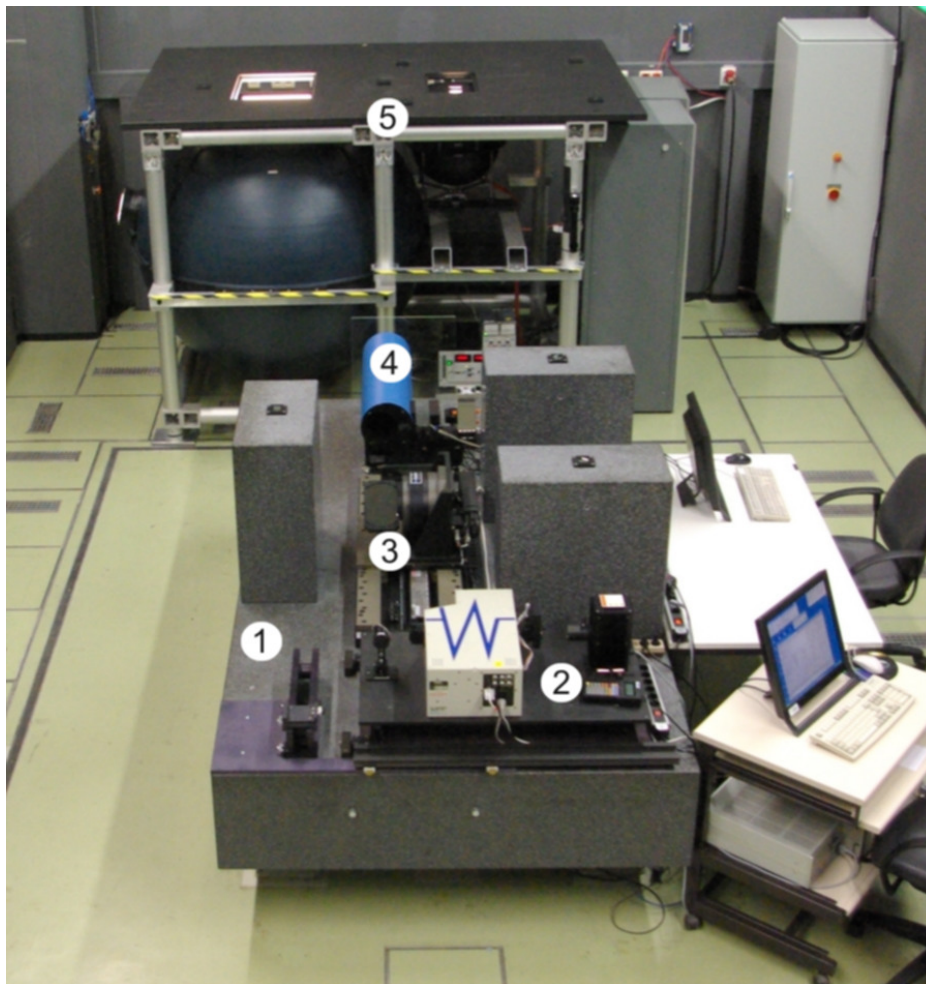


Abbildung 2.1: Komponenten der CHB: optische Bank(1), Monochromator(2), Umlenkspiegel(3), Kollimator(4), beide Ulbrichkugeln in ihrer Aufhängung(5)

Eingerichtet wurde die CHB im DLR-Standort Oberpfaffenhofen. Der Raum der CHB besitzt eine Grundfläche von $12,80 \text{ m} \times 5,50 \text{ m}$ und ist $8,00 \text{ m}$ hoch. In diesem Raum wurde für die Handhabung der zu kalibrierenden Sensor-Systeme ein Deckenkran, welcher Lasten von bis zu zwei Tonnen heben kann, eingebaut. Des Weiteren verfügt das Labor über eine Klimaanlage, welche den Raum permanent bei $22^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ hält. Weiterhin kann der Raum vollkommen abgedunkelt werden, so dass ungewollte Lichtquellen als Störfaktoren bei Messungen ausgeschlossen werden können [2].

Das Fundament des Labors ist vom restlichen Gebäudedefundament getrennt und ist mit einem Gewicht von 50 Tonnen gegen Erschütterungen relativ unempfindlich. Wichtigster Bestandteil der CHB ist die optische Bank. Auf der optischen Bank sind ein Großteil der Instrumente wie Umlenkspiegel, Kollimator, Monochromator, welche für Testmessungen und Kalibrierungen benötigt werden installiert. Auch das zu verwendende Sensor-System ist an speziellen Befestigungspunkten so angebracht, dass es sich direkt über dem Umlenkspiegel im Zentrum des Tisches befindet. Die Ulbrichkugeln sind, aufgrund ihrer Größe, die einzigen Hilfsmittel, welche separat im Labor angeordnet sind. Zur Kontrolle der Umweltbedingungen im Labor stehen ein Luxmeter sowie eine Wetterstation zur Verfügung.

2.1.1.1 Der Umlenkspiegel

Der Umlenkspiegel ist auf einem beweglichen Schlitten im zentralen Bereich der optischen Bank, direkt unter dem eingesetzten Sensor-System, installiert. Sowohl Schlitten als auch Umlenkspiegel sind luftgelagert. Des Weiteren ist der Spiegel um die horizontale Achse drehbar. Durch die hochpräzise Ansteuerung des Umlenkspiegels, welche zum Ausleuchten der Subpixelbereiche eines Detektors benötigt wird, lenkt dieser den Lichtstrahl des verwendeten Kalibriergeräts an eine bestimmte Stelle des Sensoreingangsschlitzes. Durch die verschiedenen Stellungen und Positionen des Spiegels auf dem Schlitten können gezielt bestimmte Teilbereiche des Detektorelements eines zu kalibrierenden Sensor-Systems ausgeleuchtet werden.

Wird der Spiegel um 180° gedreht, so wird zwischen einer spektralen oder geometrischen Kalibrierung umgeschaltet.

In Abbildung 2.2 wird dargestellt, wie der Einfallswinkel des vom Monochromator erzeugten Lichtstrahls durch die verschiedenen Positionen und Winkelstellungen

des Umlenkspiegels reguliert wird.

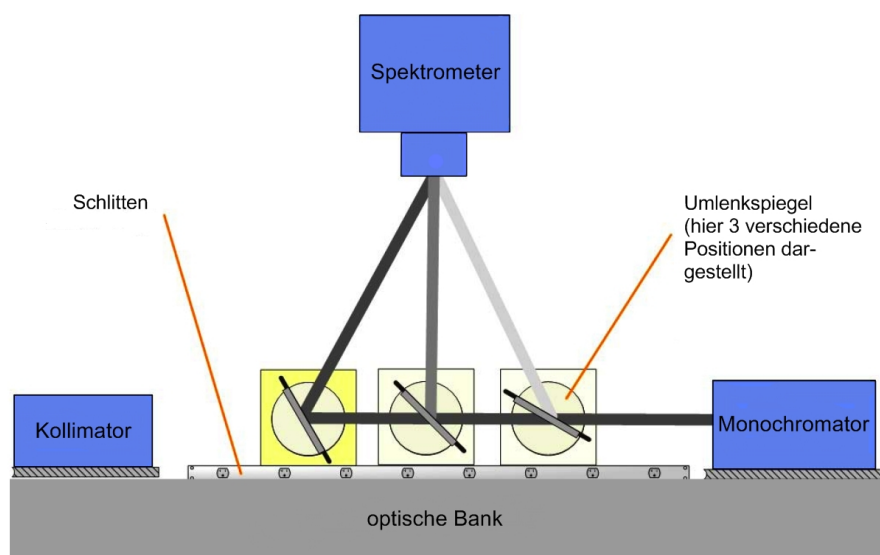


Abbildung 2.2: Ändern des Einfallswinkels des Lichtstrahl durch den Umlenkspiegel

2.1.1.2 Der Kollimator und das Spaltrad

Der Kollimator erzeugt aus einer punktförmigen Lichtquelle einen parallelen Lichtstrahl. In Verbindung mit einem Spaltrad zwischen Eingangsöffnung und Lichtquelle wird dieses Gerät zur geometrischen Kalibration verwendet. Weiterhin kann der Kollimator mit Hilfe von entsprechenden Filtern bei Polarisationsmessungen eingesetzt werden. Die Filter dafür befinden oberhalb des Umlenkspiegels, genauer gesagt, zwischen Umlenkspiegel und Detektoröffnung. Das Spaltrad besitzt 6 Schlitze, welche im Abstand von 60° zueinander liegen und sich bezüglich ihrer Breite und Ausrichtung unterscheiden. Das Spaltrad selbst ist auf einem Schrittmotor angebracht, welcher es in die gewünschte Position dreht. Diese Positionen sind abhängig vom Winkel der einzelnen Spalten des Spaltrads zum „Nadir“.

Im allgemeinen versteht man unter Nadir den Fusspunkt gegenüber dem Zenit. Ähnlich zu dieser Beschreibung wird der Begriff „Nadir“ in diesem Zusammenhang als ein Lot verstanden, an dem der erste Spalt ausgerichtet wird. Die Schlitze 1 bis 3 verlaufen der Länge nach zum Nadir während Schlitze 4 bis 6 im rechten Winkel zum Nadir angeordnet sind.

Neben dem Spaltrad ist ebenfalls die Montage eines Autokollimatorfernrohres (AKF)

möglich. Mit dem AKF wird überprüft, ob Kollimator und Umlenkspiegel korrekt zueinander ausgerichtet sind.

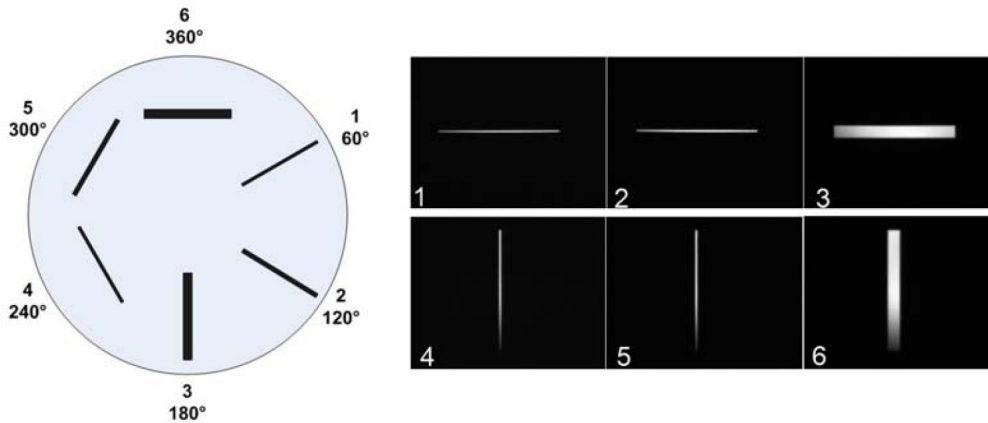


Abbildung 2.3: Darstellung des Spaltrades (links) sowie Bilder der Spalten (rechts)

2.1.1.3 Der Monochromator

Hauptaufgabe des Monochromators ist das Selektieren der gewählten Wellenlänge in einer bestimmten Bandbreite aus dem gesamten Spektrum des Lichtstrahls der Quelle. Der Monochromator wird zur spektralen Kalibrierung verwendet. Dazu fällt das Licht einer Lampe, welche sich vor der Eingangsöffnung des Monochromators befindet, in diesen ein und wird über den Umlenkspiegel zum Sensor weitergeleitet. Da nur genau definierte Wellenlängen mit bestimmter Bandbreite von Interesse sind und deshalb weitergeleitet werden sollen, wird das einfallende Licht danach gefiltert und nicht benötigte Bereiche des Spektrums verworfen.

Die Größe und Form des Lichtstrahls, welcher den Monochromator verlässt, kann durch Breite und Höhe der Ein- bzw. Ausgangsslitze angepasst werden. Durch die modulare Anordnung der Instrumente der optischen Bank wird ermöglicht, dass verschiedene Lichtquellen genutzt werden können.

Der Monochromator selbst besitzt eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten, welche bei den verschiedenen Kalibrierungsverfahren (siehe 2.4) nicht von Nöten sind. Permanent genutzte Einstellungsmöglichkeiten sind in der Tabelle 2.1 zusammengefasst. Neben den Werten, anhand derer der Monochromator eingerichtet wird, gibt

es Parameter, welche lediglich abgefragt werden und Informationen für den Plausibilitätstest liefern. Dies seien zum Beispiel der „Blaze Filter“ und die Liniendichte des verwendeten Gitters.

Parameter(-gruppe)	Beschreibung
Wellenlänge	einzustellende Wellenlänge in Nanometer
Ein-/ Ausgangsöffnungen	Parameter zur automatischen bzw. manuellen Steuerung der Öffnungsbreiten und Höhen
Filternummer	Nummer des Ordnungsfilters des Magazins.
Turm	Angabe des zu verwendenden Turmes. Dieser enthält mehrere Gitter und wird in Abhängigkeit vom zu kalibrierendem Sensor gewählt.
Gitter	Angabe des einzustellenden Gitters. Es besteht auch die Möglichkeit das Gitter automatisch auswählen zu lassen.
Lichtquelle	Auswahl der zu verwendenden Lichtquelle und Informationen über deren Einstellung(Stromspannung und -stärke).

Tabelle 2.1: verwendete Parameter des Monochromator

2.1.1.4 Die Ulbrichkugeln

Bei einer Ulbrichkugel handelt es sich um eine Kugel, welche von Innen mit einer spiegelnden Schicht zur Reflektion von Lichtstrahlen überzogen ist. Als Lichtquellen werden Quartz-Tungsten-Halogenlampen verwendet, welche an der Innenseite der Kugel angebracht wurden.

Durch die Kugelform und gleichmäßige Verteilung der Lampen wird es ermöglicht, dass die Austrittsöffnung gleichmäßig (homogen) ausgeleuchtet wird, wobei die Strahldichte des austretenden Lichts genau definiert ist. Die Lampen innerhalb der Kugel werden separat voneinander über stabilisierte Netzteile gesteuert. Dadurch wird neben den verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Lichtquellen auch die zeitliche Konstanz der Lichtintensität gewährleistet.

Das aus dem Austrittsspalt strahlende homogene Licht wird zur radiometrischen Kalibrierung von Spektrometern sowie für Polarisations- und Streulichtmessungen verwendet.

Das DLR besitzt zwei verschiedene Ausführungen von Ulbrichkugeln, welche sich

in Größe, Anzahl der Lampen und Größe der Austrittsöffnung unterscheiden. Die größere der beiden Kugeln wird eingesetzt, wenn der Austrittsspalt der kleineren Kugel nicht mehr die gesamte Eingangsöffnung des darauf montierten Spektrometers ausfüllt.

2.1.1.5 Geräte zur Überprüfung der Umweltbedingungen

Zur Überwachen und Aufzeichnen der Umweltbedingungen im Labor werden ein Luxmeter und eine Wetterstation eingesetzt. Die Wetterstation zeichnet unter anderem die Temperatur, Luftdruck sowie die Luftfeuchtigkeit auf. Die meisten Messwerte werden sowohl über interne Sensoren der Wetterstation, als auch über eine externe Komponente mit eigenen Sensoren ermittelt.

Das Luxmeter dient zur Aufzeichnung der Beleuchtungsstärke innerhalb des Labors. Es wird benötigt, damit nach einer Messung bestimmt werden kann, ob ungewollte Lichtquellen (Raumlicht oder Notausgangsbeläuchtung) als Fehlerquellen aufgetreten sind.

2.2 Hyperspektrale Sensoren

Hyperspektrale Sensorsysteme, für welche die in Kapitel 2.1 erläuterten Kalibrierlabore benötigt werden, sind in der Lage, die Oberfläche in großen Wellenlängenbereichen zu betrachten. Im Gegensatz zum herkömmlichen RGB-Farbspektrum können hyperspektrale Aufnahmen, aufgrund der beobachteten erweiterten Wellenlängenbereiche, Informationen über Erkennung und Zustand von Objekten angeben. Ein Beispiel hierfür wäre die Beobachtung der Erosion der Alpen aufgrund des Klimawandels.

Bei hyperspektralen Sensoren wird zwischen zwei Aufnahmeprinzipien unterschieden: dem „whiskbroom“ und dem „pushbroom“ scanning.

Bei einem „whiskbroom“ Scanner wird das einfallende Licht über einen rotierenden Spiegel an den Detektor weitergeleitet. Dadurch ist es möglich, für jedes einzelne Pixel den Farbspektrum aufzuzeichnen. Da bei der Aufnahme eine stetige Vorwärtsbewegung vorhanden ist, sind die Pixel in einer Bildzeile verzerrt und werden im nachhinein mittels passendem Algorithmus entzerrt.

Im Gegensatz hierzu liest ein „pushbroom“ Scanner eine gesamte Bildzeile ein. Somit ist keine Korrektur der einzelnen Pixel notwendig. Die Praxis hat bewiesen, dass bei beiden Prinzipien eine Nachbearbeitung hinsichtlich der verschobenen Positionen der Bildzeilen notwendig ist, da das Flugzeug sich nicht genau auf eine Linie vorwärts bewegt, sondern permanent minimale Kurskorrekturen vornimmt was die aufgenommenen Bereiche verschiebt.

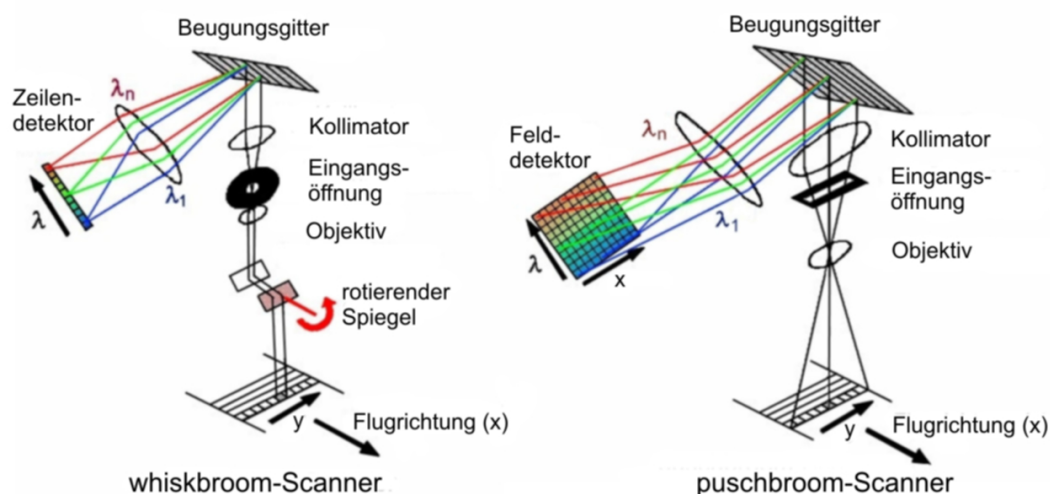


Abbildung 2.4: Darstellung des whiskbroom und pushbroom Prinzips

2.3 Der Airborne Reflective Emissive Spectrometer

Das ARES ist ein hyperspektrales Sensoren-System, welches einen rotierenden Scanspiegel, ein optisches Gitter sowie eine Reihe von Detektoren zur Abbildung der Erdoberfläche von einer luftgestützten Plattform einsetzt. Geplant ist, dass das ARES-System hauptsächlich zur Erfassung von lithosphärischen Eigenarten und Besonderheiten der Erdoberfläche eingesetzt wird (wie zum Beispiel die im vorangegangenen Abschnitt erwähnte Erosion der Alpen).

Das Aufnahmeprinzip des ARES-System entspricht dem unter Abschnitt 2.2 erläuterten „whiskbroom“-Prinzip.

Das System arbeitet mit 160 Bändern, welche Wellenlängen zwischen etwa 400 nm (sichtbares Licht) bis 2,4 μm (nahes Infrarot) erfassen werden. Darüber hinaus wird das ARES-System die Möglichkeit besitzen, die Erdoberfläche im Bereich von 8 μm bis 12 μm (langwelliges Infrarot) zu erfassen.

Eine vom ARES-System aufgenommene Bildzeile ist 813 Pixel breit. Die Anzahl der Bildzeilen ergibt sich aus der Dauer der Messung und der aufgenommenen Bildzeilen pro Sekunde. Die maximale Aufnahmezeit beträgt 25 Zeilen pro Sekunde[7]. Die maximale Dauer ist dabei durch die Größe des eingesetzten Speicherplatten (geplant ist die Verwendung von zwei etwa 80 GB große Festplatten) beschränkt.

Das ARES-System besitzt unter anderem folgende Eigenschaften und Komponenten:

- das aktuelle Gesichtsfeld des Sensors beträgt $2 \mu\text{rad}$;
- 160 Bänder von 400 nm bis $12 \mu\text{m}$;
- eine Anzahl von Detektoren, welche intern bis auf 77 K gekühlt werden;
- zur Zweck der Kalibrierung besitzt ARES eine interne Ulbrichkugel, spektrale Leuchten sowie vier Schwarzkörper;
- zwei der Schwarzkörper können auf $50 \text{ }^\circ\text{C}$ und $100 \text{ }^\circ\text{C}$ geheizt und konstant bei diesen Temperaturen gehalten werden;
- ein Kameraverschluss, welches den Spektrometer beim Starten und beim Landen schützt;
- eine integrierte Heizung sowie zwei Lüfter zur Vermeidung von Kondensation von Wasser auf dem Spektrometerobjektiv;
- zwei „shock mounted“ Festplatten;
- einfach zu wartende Hardwarekomponenten;
- die Protokollierung aller Systemnachrichten inklusive die Erfassung der Temperaturen der Schwarzkörper und des Systems;
- die Protokollierung der anliegenden elektrischen Spannung am System und Leuchten;
- die Aufzeichnung von IMU/GPS Statistiken, Statistiken des Motors, usw. auf die „shock mounted“ Festplatten.

Bei der Konstruktion wurde ein Hauptaugenmerk auf eine einfache Wartbarkeit der systemeigenen Instrumente gelegt. Ebenso wurde ein schneller und einfacher Zugriff auf die gesammelten Daten als ein sehr wichtiges Kriterium angesehen.

2.3.1 Die verschiedenen Arten der Messoperationen

Das ARES-System verfügt über die Eigenschaft, verschiedene Arten von Messoperationen durchzuführen. Im Detail unterscheidet das System unter folgenden Messoperationen:

- die Durchführung einer Kalibrationsmessung;
- die Durchführung einer Testmessung;
- die Durchführung von plötzlichen Probeaufnahmen;
- die Durchführung einer fortlaufenden Messung;

Eine **fortlaufende Messung** kommt dann zum Einsatz, wenn das System unter realen Bedingungen zum Einsatz kommt. Die ist die normale Funktionsart des ARES-Sensors. Dabei wird von einem fluggestütztem System die Erdoberfläche vom Spektrometer abgebildet und der abtastende Spiegel wird durch die internen Motoren bewegt. Die erfassten Daten werden zur späteren Analyse gespeichert. Im Kalibrierlabor wird diese Funktion zum Test der korrekten Funktionsweise der ARES-Komponenten genutzt.

Die Funktion der **Testmessung** wird zur Kontrolle der korrekten Funktionsweise des Spektrometers genutzt. Der Spektrometer erstellt, im Gegensatz zur normalen Arbeitsweise, diesem Modus Test-daten und -Abbildungen. Dabei werden die Motoren, welche den Abtastspiegel in Rotation versetzen, simuliert. Wie bei der fortlaufenden Messung besteht hier die Möglichkeit, alle gesammelten Daten in einer Datei abzuspeichern.

Wird die Funktion einer **plötzlichen Probeaufnahme** aufgerufen so erstellt das System Probeaufnahmen von allen Detektoren, welche im System vorhanden sind. Um eine plötzliche Probeaufnahme durchzuführen, wird im Vorfeld eine weitere Funktion aufgerufen, welche den anstehend Vorgang dem System meldet. Dadurch wird das System auf den folgenden Vorgang vorbereitet.

Bei der **Kalibrationsmessung** wird der Spektrometer wie bei einer Standardmessung angesprochen. Im Unterschied zur fortlaufenden Aufnahme benutzt das System, ähnlich der Testmessung, einen simulierten Motor. Diese Funktion wird in der Umgebung des Kalibrierlabors verwendet. Dabei wird der Abtastspiegel in eine bestimmte Position gedreht, auch Kalibrierposition genannt. Eine Kalibriermessung

wird bei den verschiedenen Kalibrierungsarten durchgeführt. Anhand der sich daraus ergebenden Resultate wird der Spektrometer neu justiert damit dieser optimal funktioniert.

2.4 Die Kalibrierung eines hyperspektralen Sensor-Systems

Die aus den Fernerkundungsdaten gewonnenen Parameter müssen verlässliche physikalische Messgrößen darstellen. Um dies sicherzustellen werden die Sensoren, wie bereits in vorangegangenen Abschnitten erwähnt, in Kalibrierlaboren regelmäßig überprüft.

Ein weiterer Aspekt für die Sicherstellung der korrekten Arbeitsweise ist die Charakterisierung des Spektrometers. In diesem Verfahren werden Vergleichsdatensätze erstellt, welche bei den Kalibrierungen verwendet werden. Durch regelmäßiges Charakterisieren und dem Kalibrieren ist man in der Lage, rechtzeitig sensortypische Veränderungen, Verschleißerscheinungen oder Defekte zu erkennen. Diese können aufgrund von mechanischen und thermischen Einwirkungen während des Einsatzes in einem Flugzeug während einer Messreihe auftreten.

Die Kalibrierung wird in folgende Arten untergliedert: die Pre-, In- und Postflight Kalibrierung.

Während eines Messflugs wird die „Inflight Kalibrierung“ als ein Instrument zur Anpassung der aufgenommenen Daten an die Einsatzparameter des Spektrometers verwendet. Diese ist aufgrund von Verschiebungen der Zentralwellenlängen der Spektralkanäle notwendig und wird nach jeder abgeschlossenen Messung durchgeführt.

Die Pre- und Postflight Kalibrierung wird im Gegensatz zur Inflight Kalibrierung vor resp. nach einem Messflug in einem Kalibrierlabor durchgeführt. Alle Kalibrierarten lassen sich in 3 Schwerpunkte einteilen: die radiometrische, geometrische und das spektrale Kalibrierung.

2.4.1 Spektrale Kalibrierung

Ziel der spektralen Kalibrierung ist die Erfassung des Verhaltens von gezielt ausgewählten Sensorpixeln hinsichtlich der relativen spektralen Empfindlichkeit, sowie die Ableitung der zentralen Wellenlänge und Bandbreite aller Kanäle. Darüber hinaus wird die spektrale Überlappung von benachbarten Kanälen bestimmt.

Würde man daher jedes einzelne Pixel wie beschrieben untersuchen, würde die Auswertung der generierten Messdaten zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Aus diesem Grund ist es üblich bestimmte Pixel zu untersuchen. Mit Hilfe der dadurch ermittelten Messwerte werden die Werte der nicht untersuchten Pixel durch Interpolation bestimmt.

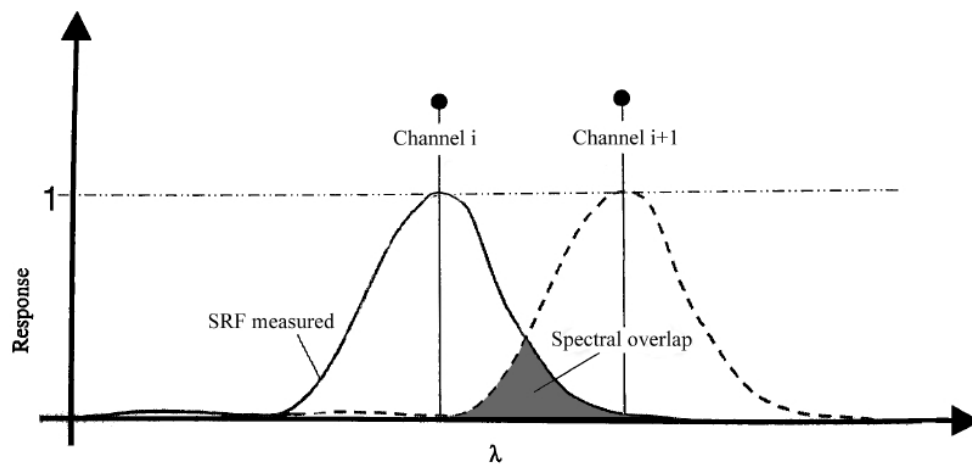


Abbildung 2.5: Die spektrale Überlappung zweier benachbarter Kanäle[9]

2.4.2 Radiometrische Kalibrierung

Während der radiometrischen Kalibrierung wird das gesamte FOV mit Licht einer definierten Strahldichte ausgeleuchtet. Hilfsmittel hierfür sind die Ulbrichkugeln. Ziel der Kalibrierung ist die Ermittlung der Strahldichteempfindlichkeit für jeden einzelnen Kanal und Scanwinkel, sowie der Nachweis der Linearität der Radiometric Response Function.

Um die für eine Messung benötigten Lichtintensitäten zu erzeugen, nutzt man zwei Vorgehensweisen. Die Erste ist eine selektive Ansteuerung der Leuchten innerhalb der Ulbrichkugel. Dadurch ist es möglich, verschiedene Helligkeiten zu

erzeugen, um so die Strahldichteempfindlichkeit des Spektrometers zu ermitteln. Bei der zweiten Vorgehensweise handelt es sich um den Einsatz von Filtern mit verschiedenen Transmissionsgraden, welche in den Strahlengang zwischen Spektrometer und Ulbrichkugel eingefügt werden.

Des Weiteren wird durch die radiometrische Kalibrierung das Systemrauschen des Spektrometers bestimmt.

2.4.3 Geometrische Kalibrierung

Bei der geometrischen Kalibrierung wird die richtungsabhängige Empfindlichkeit der Pixel bestimmt sowie eine Korrektur jener ermöglicht. In diesem Verfahren wird die Line-Spread-Function (LSF) ermittelt, welche als Maß für die optische Qualität des untersuchten Spektrometers dient. Um die LSF zu bestimmen erzeugt der Kollimator einen beinahe parallelen, homogenen Lichtstrahl, welcher die maximale Breite von $\frac{1}{4}$ der Größe eines Pixels hat. Dieser wird schrittweise über die CCD geführt.

Dies geschieht einmal entlang und einmal quer zur Flugrichtung um die along bzw. die across Line Spread Function zu ermitteln. Die across track LSF beschreibt die Ermittlung der optischen Qualität der Bilder. Ihre Fourier Transformation beschreibt die quantitative Unterscheidbarkeit von einander angrenzenden Objekten.

Die along track LSF ermittelt die Verschiebung der Lichtintensität der Bildzeilen zueinander.

2.5 Die Software des Kalibrierlabors

Um den umfangreichen Einsatz der verschiedenen Sensor-Systeme im Kalibrierlabor zu gewährleisten, ist es notwendig, ein hohes Maß an Software zu verwenden. Dies beruht auf der Tatsache, dass jedes Sensor-System eigene Steuerrechner verwendet und verschiedene Parameter vom Master übernehmen muss. Auch das ARES-System verwendet einen eigenen Steuerrechner über das Sensor-System konfiguriert wird. Weiterhin wird das Verhalten des Sensors während als auch der Beginn einer Messung über den Steuerrechner festgelegt. Der Server sowie die grafische Bedienoberfläche (GUI) befindet sich auf einem separaten Rechner und ist über das Netzwerk mit dem Steuerrechner verbunden.

Da die Arbeiten während der Kalibrierungen weitestgehend automatisch ablaufen sollen, bietet sich das Konzept der verteilten Softwaresysteme an, das heißt alle Bestandteile der CHB-Software sind über ein Netzwerk miteinander verbunden sind. Durch dieses Prinzip ist es möglich, die geforderte Flexibilität und Modularität des gesamten Systems zu gewährleisten da jede der drei Bestandteile (Master, Slave und Sensorsoftware) austauschbar sind.

Zur Veranschaulichung befindet sich im Anhang eine Darstellung des Aufbaus der Netzwerkstruktur von zwischen Master, Slave und dem ARES-System (Siehe Abbildung: 71).

Weiterer Vorteil ist die voneinander unabhängige Weiterentwicklung der Master-, Slave- und Sensorsoftware. Dadurch ergibt sich für auswärtige Sensorbetreiber die Möglichkeit, eigene Masteranwendungen sowie eine eigene Sensorsoftware zu entwickeln und damit benötigte Kalibrierprozeduren DLR-unabhängig umzusetzen und dennoch die Möglichkeit zu besitzen, die CHB des DLR zu nutzen.

Um mit den Instrumenten der CHB Kalibrierungen bzw. Testmessungen durchzuführen können, wurden bereits im Rahmen vorangegangener Diplomarbeiten Softwarelösungen zu verschiedenen Sensor-Systemen, wie zum Beispiel ROSIS und AISA, entwickelt.

Die bereits erprobten Programme, der „Master“ und der „Slave“, beschreiben die Bestandteile der CHB-Software, welche benötigt werden, um mit den Instrumenten des Labors zu arbeiten und Testmessungen bzw. Kalibrierungsprozeduren zu verwalten.

Als ein weiterer Bestandteil wird die sogenannte Sensorsoftware angesehen, welche es ermöglicht, das entsprechende Sensor-System anzusteuern und Parameter wie zum Beispiel Status des Sensors oder aktuell erfasste Messwerte an den Master zu übergeben.

2.5.1 Die Master-Anwendung

Im allgemeinen als Master bezeichnet dient dieses Programm als Bindeglied zwischen den Instrumenten der CHB und dem verwendeten Sensorsystem.

Im einzelnen wurde der Master für folgende Aufgaben ausgelegt:

- Verwaltung der Sensor- und Slaveanwendungen;

- Erstellung, Verwaltung (Editieren und Löschen) von Datensätzen, welche bei Testmessungen eingesetzt werden;
- Ausführung von Testmessungen wobei mehrere Datensätze nacheinander abgearbeitet werden können.

Die zur Testmessung benötigten Datensätze werden in zwei Kategorien unterschieden: „Scan Batches“ und „Scan Suites“. Bei der Erstellung einer Scan Batch wird neben den Einstellungen der CHB-Instrumente auch der zu verwendende Sensor sowie besondere Anweisungen in jeder Scan Batch sind alle für eine Messung benötigten Informationen und Anweisungen, welche die Sensor- und die Slaveanwendung betreffen, zusammengefasst. Während der Abarbeitung einer Scan Batch wird zuerst der Slave angewiesen, alle benötigten CHB-Instrumente einzurichten. Erst anschließend übermittelt der Master der Sensorsoftware eine Nachricht mit Informationen über die Konfiguration des Sensor-Systems sowie der Anzahl der zu tätigen Messschritte.

Da die Vorbereitung der Scan Batches langwierig ist und sich oftmals wiederholt, besteht die Möglichkeit, diese in einer Scan Suite abzuspeichern. Bei der Ausführung ist es möglich, dass mehrere „Scan Suites“ nacheinander abgearbeitet werden.

Bestandteil	Beschreibung
Slaveanweisung	Parameter und Einstellungen für die CHB-Instrumente
Sensoranweisung	Parameter und Einstellungen für das Sensorsystem

Tabelle 2.2: Aufbau einer Scan Batch

2.5.2 Die Slave-Anwendung

Die Slave-Anwendung dient zur Ansteuerung und Kontrolle jener CHB-Instrumente, welche bei einer Testmessung/Kalibrierung in der CHB verwendet werden. Die für diese Aufgaben benötigten Parameter werden über eine Netzwerkverbindung vom Master in XML-Form übermittelt. Dabei überprüft der Slave die Korrektheit der vom Master gesendeten Daten. Erhält der Slave vom Master ungültige Daten bzw. treten bei der Einstellung der CHB-Instrumente Fehler auf, so kann dies aus

der Antwort des Slaves an den Master entnommen werden. Sind alle Parameter des Master korrekt und arbeiten alle Instrumente fehlerfrei, sendet der Slave dem Master die aktuellen Einstellungen aller eingesetzten CHB-Instrumente. Neben der Überwachung der Laborinstrumente werden die Instrumente, welche die Umgebungsbedingungen im Labor permanent messen, vom Slave angesteuert.

In diese Kategorie fallen unter anderem:

- der Grad der Beleuchtungsstärke;
- die Luftfeuchtigkeit;
- der Luftdruck;
- die aktuelle Temperatur im Labor.

Da bei einzelnen Testmessungen bzw. Kalibrierschritten nicht alle Umweltbedingungen eine entscheidende Rolle spielen, besitzt der Operator die Möglichkeit, die Überwachung der Umweltbedingungen manuell zu unterdrücken[6].

2.6 Die Kommunikation zwischen den CHB-Komponenten

Die bereits bestehenden Komponenten kommunizieren miteinander unter Verwendung der TCP/IP-Protokollierung auf Netzwerkebene und XML-Strukturen auf Anwendungsebene. Die Abbildung 72 stellt den prinzipiellen Aufbau der Kommunikation der einzelnen Komponenten dar.

2.6.1 Verwendung des TCP/IP Protokolls

Die Verwendung der TCP/IP-Protokollierung lässt sich darauf zurückführen, dass einer zuverlässigen Datenübertragung größere Bedeutung zugemessen wurde.

Um eine Verbindung zwischen zwei Programmen aufzubauen, ist die Kenntnis der IP-adressen und Portnummern des Senders und Empfängers wichtig. Diese befinden sich im Header eines jeden zu versendenden Paketes. Neben dem hohen Maß an Sicherheit enthält das Protokoll umfangreiche Funktionen zur Fehlererkennung und dadurch zur Vorbeugung von Datenverlust.

Im Gegensatz zum UDP-Protokoll sind beim TCP/IP-Protokoll alle Datenpakete fortlaufend gekennzeichnet und werden vom Empfänger dem Sender quittiert. Tritt eine Störung auf, welche zum Verlust von Datenpaketen führt, so werden die nicht quittierten Pakete erneut an den Empfänger versendet.

Die Verzögerungen, welche dadurch entstehen sind im Rahmen dieses Projektes vernachlässigbar.

2.6.2 Verwendung von Sockets und XML

Socketimplementationen sind in den Anwendungsschicht des OSI-Modells angesiedelt. Sie beschreiben eine API, welche es ermöglicht, einfache Netzwerkverbindungen zu erzeugen. Des Weiteren beinhalten sie bereits alle notwendigen Funktionen zum Versand und Empfang von TCP/IP Paketen. Die Socketkommunikation besitzt gegenüber anderen Techniken, wie zum Beispiel „Remote Procedure Calls (RPC)“, noch weitere Vorteile wie zum Beispiel die relativ einfache Handhabung der gesendeten und empfangenen Pakete, die Möglichkeit zur asynchronen Kommunikation wird unterstützt sowie die Entwicklung und Benutzung auf unterschiedlichen Plattformen.

Durch XML wird eine Beschreibungssprache geboten, welche ein eigenes Dateiformat definiert und anhand dieser Definition eingehende Daten auf syntaktische und semantische Korrektheit überprüft. Hierbei kommen diverse Parser zum Einsatz, welche im Internet zur freien Verfügung stehen (zum Beispiel tinyXML und xerces). Das W3C¹ stellt mit dem „Document Object Model (DOM)“ ein standardisiertes Interface für den Zugriff auf XML Strukturen bereit. Dabei werden XML-Objekte in Baumstrukturen verwaltet. Die Spezifikationen der Baumstrukturen lassen sich in der objektorientierten Programmierung mittels Implementation von Klassen mit den dazugehörigen Methoden und Attributen umsetzen. Dadurch ist es Programmen möglich Inhalt, Struktur und Layout der Daten dynamisch zu verändern.

Für den semantischen Teil der Daten stehen Schemasprachen, zu denen unter anderen die hier eingesetzte „XML Schema Definition (XSD)“ gehört, zur Verfügung.

¹World Wide Web Consortium - ist das Gremium, welches die Standards der das World Wide Web betreffenden Techniken festlegt. Beispiele für durch das W3C standardisierte Techniken sind HTML, XHTML, XML, CSS, SVG, RSS und WCAG.

2.7 Die ARES-Kommunikationsbibliothek

Zur Realisierung der Entwicklung und Umsetzung der Kommunikation mit dem ARES-System wurde die Kommunikationsbibliothek „ARESlib.dll“, welche zeitgleich zum Bau des ARES-Systems vom Hersteller entwickelt wird, eingesetzt. Mit dieser Bibliothek werden dem Programmierer alle Funktionen bereitgestellt, welche benötigt werden, um sämtliche Komponenten des ARES-Systems anzusprechen und sich nutzbar zu machen. Darüber hinaus bietet die Bibliothek zwei Call-backfunktionen, welche zum Abfangen von Systemnachrichten und Statusmeldungen des ARES-Systems genutzt werden sowie Strukturen zur weiteren Nutzung der erhaltenen Informationen an.

Die Strukturen, Funktionen und Prozeduren für den Aufruf der Elemente der Bibliothek und Handhabung der Meldungen des ARES-Steuerrechners wurden aus einer in der Programmiersprache „Delphi“ geschriebenen Vorlage in MFC übersetzt.

3 Entwicklung der Sensorsoftware

Eine der Hauptaufgaben der Diplomarbeit war es, den zu entwickelnden ARES-Server so zu gestalten, dass Messprozeduren automatisiert durchgeführt werden können. Dies folgt der Grundidee des Kalibrierlabors, dass unabhängig vom verwendeten Sensor-System, die Durchführung von langwierigen Messung hochgradig automatisiert ablaufen soll. Dies betrifft zum Einem die Steuerung der Hardwarekomponenten des Kalibrierlabors, welche durch den Slave automatisch durchgeführt wird. Zum Anderem soll ebenfalls die Konfiguration des Sensor-Systems als auch die Durchführung von Testmessungen automatisiert durchgeführt werden. Wie schon mit anderen Sensor-Systemen bewiesen, erhofft man sich auch beim ARES-System dadurch eine Reduzierung des personellen und zeitlichen Aufwandes.

Da die Komponenten des ARES-Systems vollständig elektronisch angesteuert werden, besteht hier die Möglichkeit, durch die Entwicklung eines Programms, welche Konfigurationen und Messabläufe automatisch behandelt, den Aufwand einer Testmessung einzuschränken.

Aus diesem Grund wurde eine Software entwickelt, welche als Schnittstelle zwischen dem Ares-System und Master dient. In allgemeinen Beschreibungen wird diese Software als Sensorsoftware betitelt. Zusammen mit dem Master und dem Slave bildet sie die Gesamtheit der im Kalibrierlabor eingesetzten Software.

3.1 Eigenschaften der Sensorsoftware

Die Sensorsoftware, im weiterem Verlauf als ARES-Server bezeichnet, hat grundsätzlich folgende Aufgaben:

- Umgang mit neuen Verbindungsanfragen;

- Verwaltung von bereits bestehenden Verbindungen;
- Verwaltung der Kommunikation mit dem Master und dem Steuerrechner;
- Überwachung der Konfigurationsschritte;
- Speichern von Systemstatusmeldungen sowie Systemereignissen.

Um zeitgleiche Kommunikation mit dem Master und dem Steuerrechner zu ermöglichen wurde der ARES-Server so konzipiert, dass er zwei Netzwerkverbindungen parallel verwalten kann. Aus der Sicht des Masters agiert der ARES-Server als eine Serveranwendung, welche eine Verbindung mit dem Master erwartet. Sobald diese etabliert ist, werden alle weiteren Verbindungsanfragen an den ARES-Server abgelehnt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Kommunikation zwischen Master und ARES-Server nicht unterbrochen und der Datenaustausch zwischen ihnen nicht abreißen kann. Gleichzeitig erstellt der ARES-Server mit dem Server, welcher auf dem Steuerrechner liegt, eine Clientverbindung. Wurde Verbindung erfolgreich hergestellt, so ist Server ebenfalls für jeden weiteren Verbindungsversuch gesperrt. Neben der Kommunikationsverwaltung zwischen Master und ARES-System besitzt der ARES-Server die Eigenschaft, besondere Ereignisse (wie zum Beispiel der Eingang einer Nachricht vom Master) und Statusveränderungen dem Operator anzuzeigen und in einer Datei abzuspeichern.

3.2 Die Erweiterung des Masters

Generell wird bei der Erstellung einer Scan Batch das einzusetzende Sensorsystem angegeben. Um die Auswahl eines Sensorsystems zu ermöglichen, ist es notwendig, den Master um diese Funktionalität zu erweitern. Darüber hinaus ist, abhängig vom Sensorsystem, eine individuelle Liste von Einstellungen und Parametern bereitgestellt werden. Die Liste wird bei der Durchführung an die Sensorsoftware weitergeleitet.

Bei der Programmierung des Masters wurde darauf geachtet, dass eine solche Erweiterung im Rahmen des Überschaubaren bleibt. Im folgendem wird der Dialog zur Zuweisung des ARES-Sensors näher erläutert. Abbildung Der Einstellun-

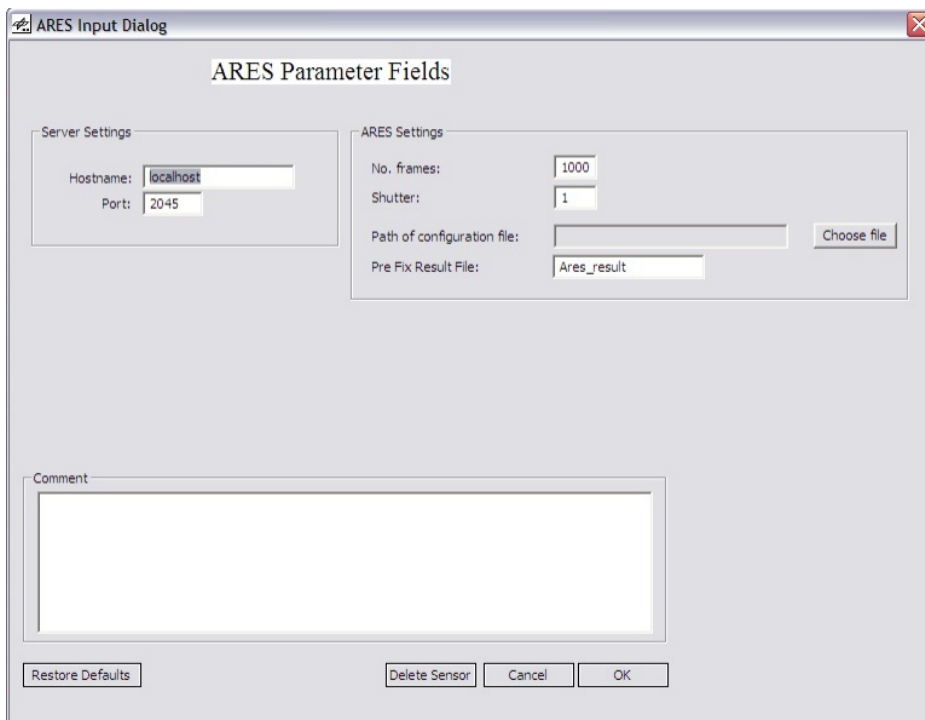


Abbildung 3.1: Dialog zur Zuweisung des Aressensors einer Scan Batch

gen, welche im Bereich **Server Settings** getroffen werden, dienen zu Kommunikation mit dem ARES-Server. Dazu werden hier die IP-Adresse und Portnummer des ARES-Servers angegeben.

Im Bereich **ARES Settings** werden die Einstellungen des ARES-Systems bzw. der Pfad der Konfigurationsdatei, welche benötigt wird, festgelegt. Des Weiteren kann neben dem Namen der Datei, in welche die ermittelten Daten gespeichert werden,

zusätzlich die Stellung des Kammeraverschlusses und die Anzahl der zu erstellenden Abbildungen bestimmt werden.

Die eingegebenen Parameter werden anschließend durch Einsatz eines XML-Schemas in ein vorgegebenes XML-Format (siehe Abbildung 3.2) gebracht.

Zusätzlich waren noch weitere Änderungen und Erweiterungen an anderen Komponenten des Master notwendig, welche mitunter zur Speicherung der im eingebundenen Dialogfenster eingegebenen Datei dienen. Ebenfalls wurden die Klassen, welche zur Generierung einer XML-Nachricht benötigt werden um den Einsatz des ARES-Schemas erweitert. Mit dem so erweiterten Master ist eine Kommunikation mit dem ARES-Server ermöglicht.

3.3 Die Kommunikation mit dem Master

```
<xsd:schema xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:ares="http://www.caf.dlr.de/chb/ares"
  targetNamespace="http://www.caf.dlr.de/chb/ares">
  <xsd:complexType name="aresprot_t">
    <xsd:all>
      <xsd:element name="request_id" type="xsd:int" />
      <xsd:element name="shutter">
        <xsd:simpleType>
          <xsd:restriction base="xsd:int">
            <xsd:minInclusive value="0" />
            <xsd:maxInclusive value="1" />
          </xsd:restriction>
        </xsd:simpleType>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="frames" type="xsd:int" />
      <xsd:element name="config_file" type="xsd:string" />
      <xsd:element name="output_file" type="xsd:string" />
      <xsd:element name="comment" type="xsd:string" />
      <xsd:element name="error_code" type="xsd:int" minOccurs="1" maxOccurs="1" />
      <xsd:element name="error_message" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1" />
    </xsd:all>
  </xsd:complexType>
  <xsd:element name="aresprot" type="ares:aresprot_t" />
</xsd:schema>
```

Abbildung 3.2: Eingesetztes XML Schema zur Kommunikation mit dem Master

Wie schon in Abschnitt 2.5.1 beschrieben sendet der Master zu Beginn einer Messung der ARES-Server sämtliche relevanten Informationen, welche zur korrekten Inbetriebnahme des ARES-System benötigt werden, zu. Dazu werden die bei der Zuweisung des Sensors getroffenen Parameter mittels XML-Schema in eine Nachricht verfasst und an den ARES-Server gesendet.

Inhaltlich gesehen besteht eine Nachricht vom Master aus folgenden Parametern:

- Identifikationsnummer der Messung in einer Messprozedur;
- Anzahl der abzubildenden Frames;
- Position des Blendenverschlusses;
- Verzeichnisangabe und Dateiname der Konfigurationsdatei;
- Verzeichnisangabe und Dateiname der abzuspeichernden Protokolldatei;
- Kommentare des Experimentators.

Um die eine Messprozedur handhaben zu können, wird allen Nachrichten vom Master eine Identifikationsnummer, eine sogenannte „request ID“ als Parameter übergeben. Durch diese wird dem Operator der Vergleich der einzelnen Messergebnisse, welche mit unterschiedlichen Konfigurationen des ARES-Systems durchgeführt wurden, erleichtert.

Mit der Angabe der Frames als weiteren Parameter wird die Anzahl der zu erstellenden Abbildungen festgelegt. Bei einigen Sensor-Systemen (mitunter auch bei ARES) tritt der Fall auf, dass unter dem Begriff des „Frames“ um die Beschreibung einer Pixelzeile handelt anstatt um die Darstellung eines zweidimensionalen Bereiches. Mit der Position des Blendverschlusses wird angegeben, ob die Blenden des Sensor-Systems geöffnet oder geschlossen sind. Generell wird dem Sensor-System ein geöffneter Verschluss als Parameter übergeben.

Als weitere Parameter werden der Sensorsoftware die Verzeichnispfade sowie die Dateinamen der Konfigurations- und der Ergebnisdatei übergeben. Die Konfigurationsdatei beschreibt alle Einstellungen, welche am Sensor-System vor einer Messung vorgenommen werden. Der genauere Aufbau der Konfigurationsdatei wird im Abschnitt 4.2 des nächsten Kapitels näher erläutert.

Die Pfadangabe der Protokolldatei wird an den Steuerrechner weitergereicht. Der genaue Aufbau dieser Datei wird im Abschnitt 8.1 des Anhanges veranschaulicht. Im Allgemeinen beinhaltet die Protokolldatei alle ARES-Systemnachrichten, Messergebnisse der aktuellen Messung gespeichert sowie Zustandsmeldungen der ARES-Komponenten. Ebenso beinhaltet die Datei alle während einer Messprozedur aufgetretenen Fehlermeldungen innerhalb des ARES-Systems.

Das eingesetzte XML-Schema bietet die Möglichkeit, eine Zeichenfolge als Kommentar zu übernehmen. Dadurch besitzt der Operator die Möglichkeit, auf besondere Einstellungen der Konfigurationsparameter hinzuweisen bzw. zu Vermerken für welche Art der Kalibrierung die zu nutzende Konfiguration geeignet ist. Diese Kommentare werden weiter an den Steuerrechner übergeben ebenfalls in der Protokolldatei abgespeichert.

Des Weiteren besitzt das XML-Schema die Möglichkeit den Code eines aufgetretenen Fehlers als auch die dazugehörigen Meldungen in einer Nachricht aufzunehmen.

Tritt in der ARES-Server ein Fehler in der Abarbeitung einer Messung auf, so werden die dafür vorgesehenen Tags mit den entsprechenden Werten befüllt. Danach wird der gesamte Inhalt der vom Master empfangenen Nachricht mitsamt der Fehlerbenachrichtigungen zurück an diesen gesendet.

Der Master liest die ihm zugeschickte Fehlermeldung aus und informiert den Operator.

Fehlermeldungen, welche vom ARES-System gesendet werden, werden ebenfalls hier hineingeschrieben und so weiter an den Master geleitet.

3.4 Kommunikation Sensorsoftware und ARES-System

Im Gegensatz zu dem XML-basierten Nachrichtenaustausch zwischen Master, Slave und dem ARES-Server geschieht die Kommunikation zwischen ARES-Server und dem ARES-System auf andere Art und Weise.

Dafür wird die bereits in Abschnitt 2.7 beschriebene Kommunikationsbibliothek verwendet. Wie in dem Abschnitt bereits erwähnt, wurde die Bibliothek von der Firma, welche das ARES-System baut, programmiert und wird derzeit weiterentwickelt.

Die Bibliothek selbst wird als dynamische Bibliothek (dynamic linked library) bezeichnet. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass Bibliotheken dieser Art leicht handzuhaben sind.

Die Steuerung der einzelnen Komponenten des ARES-Systems geschieht durch das Aufrufen der jeweiligen Bibliotheksfunktionen.

Im folgendem Beispielcode wird die Funktion, welche für die Initialisierung einer Verbindung mit dem ARES-System zuständig ist, vorgestellt.

```
Initialize(CHANNEL_CAL, messagedispatcher, statusdispatcher);
```

Das erste Argument gibt an, ob das ARES-System kalibriert wird oder ob eine tatsächliche Messung durchgeführt werden soll. Das zweite und dritte Argument sind jeweils zwei Funktionszeiger auf spezielle Funktionen, auch Callbackfunktionen genannt, und dienen dem ARES-System zur Kommunikation mit dem ARES-Server. Da man die Funktionen der Bibliothek nicht direkt aufrufen kann, ist es vorher notwendig, die Speicheradressen jener Funktionen an die jeweils dafür deklarierten Funktionszeiger zu übergeben. Danach kann man die Funktionszeiger im Projekt wie alle anderen Funktionen aufrufen.

Keine der Bibliotheksfunktionen gibt einen Wert zurück, was den Einsatz von schon erwähnten Callbackfunktionen erforderlich macht.

3.4.1 Die Verwendung der Callbackfunktionen

Die resultierenden Werte eines Aufrufs einer Funktionsbibliothek werden mithilfe eines „message dispatching systems“, welches durch Callbackfunktionen realisiert wurde, bereitgestellt. Aktuell stehen zwei verschiedene Callbackfunktionen in der Kommunikationsbibliothek zur Verfügung:

- eine Callbackfunktion für Nachrichten welche die ARES-Komponenten betreffen (im weiterem Verlauf Messagedispatcher genannt);
- eine Callbackfunktion für Statusmeldungen des ARES-Systems (weiter als Statusdispatcher bezeichnet).

Beim Messagedispatcher werden als Argumente eine Identifikationsnummer der Nachricht und ein Zeiger auf den Speicherbereich einer bestimmten Struktur, welche durch die Identifikationsnummer eindeutig gekennzeichnet ist, übergeben. Eine dailierte Darstellung der zu Verfügung stehenden Strukturen in Amhang zu finden.

Gegensatz zum Messagedispatcher übernimmt der Statusdispatcher eine Zeichenfolge mit der dazugehörenden Identifikationsnummer. Der Statusdispatcher dient

sowohl zur Ausgabe von Statusnachrichten als auch zur Ausgabe von Warnungen und Fehlermeldungen, welche im ARES-System auftreten könnten.

Die Verwendung beider Callbackfunktionen ergibt sich aus der Konzipierung des ARES-Systems als Multitasking-System und dass alle abarbeitenden Funktionen nicht blockiert werden können. Dadurch wird eine Zeitüberschreitung und die daraus resultierenden Probleme, wie das Blockieren der in Prozess befindliche Sensorsoftware und die daraus resultierende Verminderung des Datendurchsatzes, vorgebeugt [8].

3.5 Konfiguration des ARES-Systems

Der ARES-Server besitzt, neben der Verwaltung der Kommunikation, die Fähigkeit, Einstellungen hochzuladen und so das ARES-System für Messungen vorzubereiten.

Neben den Parametern, welche aus der Nachricht des Master entnommen worden sind, werden auch Parametereinstellungen aus einer Konfigurationsdatei geladen und verwendet.

Die geladenen Parameter umfassen folgende Werte:

- Daten des Operators;
- Art und Eigenschaften der Motoren des Abtastspiegels;
- Parameter bezüglich des Speichermediums;
- Art der Messoperation;
- alle Parameter welche die internen Komponenten des ARES-Systems betreffen;
- sowie Dateipfade aller, zur Justierung des ARES-Systems, benötigten Dateien.

Der Name des Operators zur Protokollierung des Messvorganges benötigt.

Um die Motoren anzusprechen, verwendet das ARES-System zwei verschiedene Arten. Im ersten Fall gibt der Operator entweder eine vom System vorgegebene Kalibrierposition an oder definiert diese selbst. In der zweiten Möglichkeit definiert der Operator durch Angabe der Schrittgeschwindigkeit, der Start- und Endposition

sowie durch die Schrittweite den Bereich in welchem der Abtastspiegel eingesetzt werden soll.

Mit der Angabe der zu verwendenden internen Festplatte wird das Speichermedium festgelegt. Zusätzlich ist hier der Name der ARES-Ergebnisdatei vermerkt.

Wie schon in Abschnitt 2.3.1 hingewiesen gibt es verschiedene Arten von Messoperationen. In der Konfigurationsdatei ist vermerkt, welche der verschiedenen Operationen zum Einsatz kommt.

Da während des Einsatzes des ARES-Systems ebenfalls die internen Komponenten verwendet werden, ist es ebenfalls notwendig, die gewünschten Parameter abzuspeichern und bei Verwendung dem ARES-System zu übergeben. Dies betrifft vor allen Dingen die Schwarzkörper, das Heizaggregat, die Lampen, die Profil, die Ventilatoren sowie die Anzahl der Abbildungen pro Sekunde und die verwendete Bandbreite.

Im Rahmen der Konfiguration werden aus der Konfigurationsdatei Pfade von Dateien, welche im Zuge einer Kalibration entstanden sind, ausgelesen. Diese Dateien beschreiben im einzelnen die Werte der Wellenlängenbereiche und ihre Benennung, die Registrierung der Operators, weiterhin Datensätze, welche bei der radiometrischen Kalibrierung erfasst wurden sowie Werte für die Kalibrierung der Motoreffsets (die Offset-Werte ändern sich im Regelfall nur bei einer Neujustierung des Abtastspiegels).

Diese Dateien sind, neben der Bestimmung der Motorgeschwindigkeit und des Aufnahmeverfahrens, mit die wichtigsten Komponenten einer jeden Konfiguration. Ohne die Werte, welche sie beinhalten, ist das ARES-System weder betriebsbereit noch überhaupt funktionsfähig.

3.6 Überwachung des ARES-Systems

Das ARES-System unterscheidet sich gegenüber anderen Sensor-Systemen darin, dass es vollkommen abhängig vom ARES-Server ist. Im einzelnen bedeutet dies, dass das ARES-System nicht selbst erkennen kann, wie weit die Konfiguration seiner internen Komponenten abgeschlossen ist. Wird beispielsweise ein Schwarzkörper aufgeheizt, so sendet das ARES-System dem Server alle betreffenden Werte, wie zum Beispiel Temperatur und Zustand der Heizaggregate, zu.

Nun liegt es am ARES-Server zu bestimmen, ob die Temperatur und der Zustand der Heizaggregate den Parametern entspricht. Ist dies der Fall und sind alle weiteren Schritte der Konfiguration bereits ausgeführt worden, so kann die eigentliche Messoperation beginnen.

Bevor eine Messoperation durchgeführt werden kann, kontrolliert der Server den Status der Motoren. Je nach Art der Messoperation (siehe Abschnitt 2.3.1, werden entweder die Motoren gestartet oder dem System wird mitgeteilt, dass die Motoren simuliert werden sollen.

Nach Inbetriebnahme der Motoren benötigt das System eine kurze Zeitspanne, um den Abtastspiegel auf die für ihn bestimmte Rotationsgeschwindigkeit zu beschleunigen. Die minimalste Rotationsgeschwindigkeit entspricht der Aufnahme von fünf Abbildungen pro Sekunde während die maximale Geschwindigkeit bei 25 Abbildungen pro Sekunde liegt. Wird die gewünschte Rotationsgeschwindigkeit erreicht, so werden beide Motoren für die Dauer der Messung gesperrt. Dadurch wird ein äußerer Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit ausgeschlossen.

Während der Messung übernimmt der Server ebenfalls die überwachende Funktion über das ARES-System. Bei Beginn einer Messung wird dem ARES-System mitgeteilt, wieviele Abbildungen pro Sekunde durchgeführt werden müssen aber nicht wieviele Abbildungen insgesamt erstellt werden sollen. Aus der Gesamtzahl der Abbildungen und der Anzahl der Abbildungen pro Sekunde ergibt sich die geschätzte Dauer einer Messoperation. Der Zeitpunkt, wann eine Messoperation abgeschlossen ist, wird vom ARES-Server bestimmt. Erreicht die Gesamtzahl der aufgenommenen Abbildungen die vorher vom Master übermittelte, geforderte Anzahl, so ruft der Server die entsprechende Funktion zur Beendigung der Messoperation auf.

Da bis dato das ARES-System sich noch im Bau befindet, wurde der Server zusätzlich so erweitert, dass er die Abarbeitung einer Messoperation zwei verschiedenen Modi behandeln kann: im simuliertem und reeltem Modus.

Wird der Server im Simulationsmodus ausgeführt, so wird keine Verbindung zum ARES-System aufgebaut. Sämtliche Kommunikation, welche sonst durch Funktionsaufrufe stattfindet, geschieht hier durch die Ausgabe und Protokollierung von entsprechenden Nachrichten. Zusätzlich wurde der Server so ausgelegt, dass jederzeit die Möglichkeit besteht zwischen beiden Modi zu wechseln.

4 Die Entwicklung des ARES-Calibration-Tools

4.1 Allgemeines

4.2 Aufbau der Konfigurationsdatei

5 Zusammenfassung und Ausblick

Abbildungsverzeichnis

2.1	Komponenten der CHB	10
2.2	Lenkung des Lichtstrahls durch den Umlenkspiegel	12
2.3	Darstellung des Spaltrades	13
2.4	Darstellung des whiskbroom und pushbroom Prinzips	16
2.5	Spektrale Überlappung zweier Kanäle	20
3.1	Dialog zur Zuweisung des Aressensors einer Scan Batch	29
3.2	XML Schema zur Kommunikation mit dem Master	30
71	Kommunikationsaufbau zwischen CHB und ARES	47
72	Kommunikation zwischen den CHB-Komponenten	48

Tabellenverzeichnis

- 2.1 verwendete Parameter des Monochromator 14
- 2.2 Aufbau einer Scan Batch 23

6 Literaturverzeichnis

- [1] ÖFFENTLICHKEITSARBEIT, DLR Presse und: *Institut für Methodik Fernerkundung*. Broschüre, 2006
- [2] GEGE, Peter ; FRIES, Jochen ; HASCHBERGER, Peter ; SCHÖLZ, Paul ; SCHWARZER, Horst ; STROBL, Peter ; SUHR, Birgit ; ULBRICH, Gert ; VREELING, Willem J.: *Calibration facility for airborne imaging spectrometers*. September 2008. – manuscript
- [3] HTTP://WWW.WIKIPEDIA.COM: *Document Object Model*.
http://de.wikipedia.org/wiki/Document_Object_Model, 2008
- [4] HTTP://WWW.WIKIPEDIA.COM: *Fernerkundung*.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fernerkundung>, 2008
- [5] HTTP://WWW.WIKIPEDIA.COM: *XML Schema*.
http://de.wikipedia.org/wiki/XML_Schema, 2008
- [6] LEISTENSCHNEIDER, Stefan: *Software zur automatisierten Kalibrierung optischer Sensoren*. März 2007. – Diplomarbeit
- [7] STEWART, Alistair: *ARES - User's Manual*. Februar 2006. – Draft manuscript Issue 1, Revision 2
- [8] STEWART, Alistair: *Dynamic Linked Library*. Mai 2007. – User's Manual For ARES
- [9] STROBL, Peter: *Entwicklung von Verfahren zur Datenaufbereitung und Kalibrierung eines abbildenden Spektrometers am Beispiel des DAIS 7915*. Dezember 2000. – PhD-Thesis/Habil

7 Anhang A

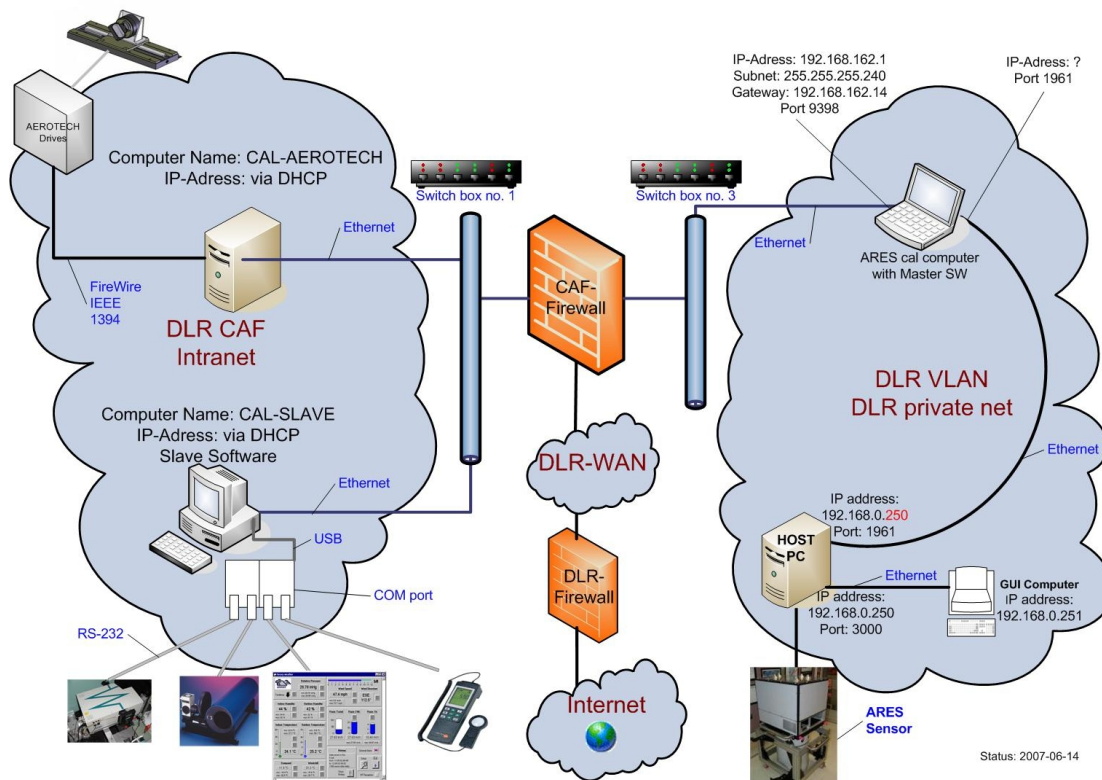


Abbildung 71: Darstellung des Kommunikationsaufbaus zwischen CHB und ARES

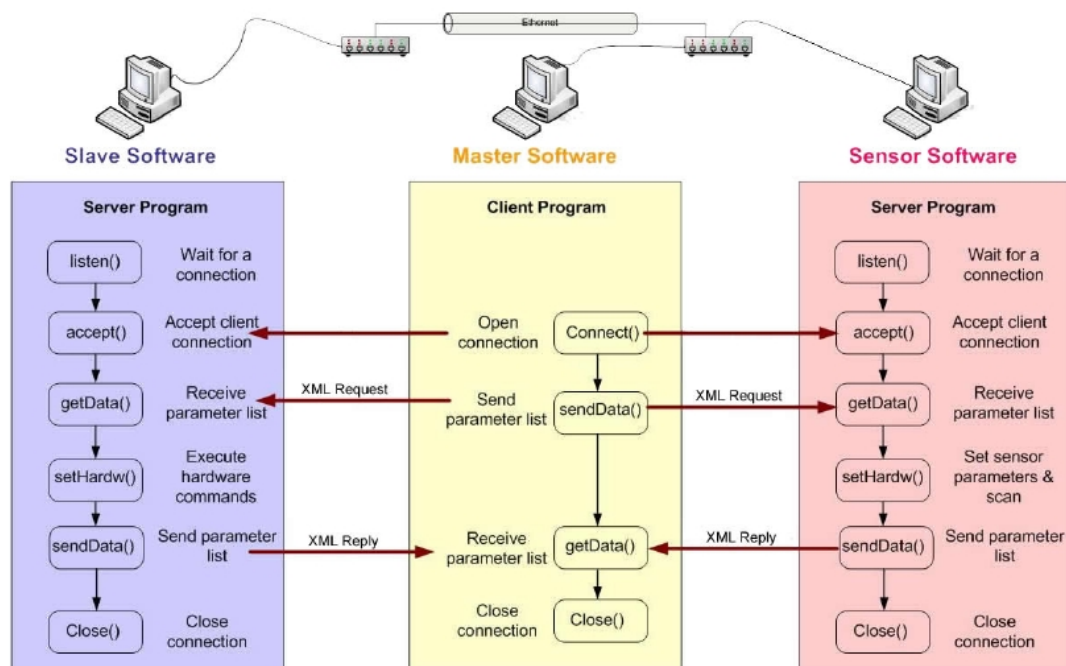


Abbildung 72: Darstellung der Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten der CHB[6]

8 Anhang B

8.1 Aufbau der Protokolldatei des ARES-Systems

9 Anhang C

9.1 Konfigurationsschritte des ARES-Systems