

**Aufnahme von Objektoberflächen des Campus der Hochschule und  
Untersuchung auf verwendete Baumaterialien mithilfe der  
Hyperspektralkamera VISNIR HS-CC-30-V10E von Specim und der  
dreidimensionalen kartographischen Darstellung mithilfe von  
SketchUp**

**Bachelorarbeit**

Vorgelegt von: Eric Klingelhöfer

09. September 2013

Zum Erlangen des akademischen Grades  
„Bachelor of Engineering“ (B.Eng.)

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse  
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Ernst Heil

Bearbeitungszeitraum: 09. Juli 2013 – 09. September 2013  
URN: nbn:de:gbv:519-thesis2013-0127-2

## Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung der verwendeten Baumaterialien der Hochschule Neubrandenburg mit Hilfe der hyperspektralen Fernerkundung. Im ersten Abschnitt gibt es eine Einführung in die hyperspektrale Fernerkundung. Danach folgt die Beschreibung, Funktionsweise und Einstellung der jeweiligen Komponenten, um eine hyperspektrale Aufnahme aufzunehmen, von der Hardware über die Software bis hin zur Fokussierung der hyperspektralen Kamera. Im letzten Teil der Arbeit werden die hyperspektralen Aufnahmen analysiert und korrigiert, um einen klaren Nachweis der Baumaterialien zu erhalten. Abschließend wird mit SketchUp eine dreidimensionale kartographische Darstellung der Baumaterialien der Hochschule erzeugt.

## Abstract

This work deals with the study of materials used in the construction of the University Neubrandenburg using hyperspectral remote sensing. In the first section there is an introduction to hyperspectral remote sensing. This is followed by the description, operation and adjustment of the respective components to accommodate a hyperspectral recording, from hardware to software to the focusing of the hyperspectral camera. In the last part, the hyper-spectral images are analyzed and corrected in order to obtain a clear proof of the construction materials. Finally, a three-dimensional representation of cartographic materials of the university is recreated with SketchUp.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Abstract .....	2
1 Aufgabenstellung.....	3
2 Einleitung .....	3
3 Voraussetzungen für die Durchführung .....	4
4 Planung und Ablauf.....	4
5 Ausgangssituation .....	4
6 Grundlagen der Fernerkundung.....	6
6.1 Elektromagnetische Strahlung .....	7
7 Hyperspektrale Fernerkundung.....	10
8 Hardware .....	12
8.1 Kamera .....	12
8.1.1 Spektrometer „IMSpector V10E“ .....	14
8.1.2 Objektiv „OLE23“ .....	14
8.1.3 Sensor „Imperex IPX-2M30“ .....	14
8.1.3.1 „Interline-CCD-Zeilensenor“.....	14
8.2 Zusätzliche Hardware und Geräte zur Verwendung der Kamera.....	16
8.2.1 Drehbarer Stativaufsat.....	16
8.2.2 Stativ .....	16
8.2.3 Personal Computer.....	16
8.2.4 Stromerzeuger.....	16
8.2.5 Schnittstellen .....	16
8.2.6 Framegrabber.....	17
9 Software .....	18
9.1 Lynx Configurator.....	18
9.2 SpectralDAQ .....	18
9.3 Envi .....	19
9.3.1 Darstellung von Bildern und Spektren.....	19
9.3.2 Rechnungen mit Spektren.....	20
9.3.3 Vergleich von Spektren.....	20
9.3.4 Klassifizierung .....	21

9.4 SketchUp .....	22
9.4.1 Menüleiste .....	23
9.4.2 Werkzeuge .....	24
10 Fokussierung .....	26
10.1 Siemensstern .....	26
10.2 Dunkel- und Hellbildkalibrierung .....	26
11 Durchführung der Aufnahmen/ Messungen .....	27
12 Analyse .....	28
13 Kartografische Darstellung in SketchUp .....	34
13.1 Modellierung des Campus .....	34
13.1.2 Gebäudeumrisse .....	34
13.1.3 Klötzchenmodell .....	35
13.2 Kartografische Darstellung .....	36
14 Fazit .....	36
15 Glossar .....	37
16 Abbildungsverzeichnis .....	38
17 Quellen .....	39
17.1 Printmedien .....	39
17.2 Internet .....	40
Eidesstattliche Erklärung .....	45

## 1 Aufgabenstellung

Aufnahme von Objektoberflächen des Campus der Hochschule und Untersuchung auf verwendete Baumaterialien mithilfe der Hyperspektralkamera VISNIR HS-CC-30-V10E von Specim und der dreidimensionalen kartographischen Darstellung mithilfe von SketchUp.

Ziel der Arbeit ist es, einen dreidimensionalen kartographischen Überblick über die verwendeten Baumaterialien des Campus der Hochschule Neubrandenburg mithilfe der hyperspektralen Fernerkundung zu verschaffen. Dabei liegen die Schwerpunkte in der Vorbereitung der Messungen, der Fokussierung der Hyperspektralkamera und der Analyse der Aufnahmen auf verwendete Baustoffe.

## 2 Einleitung

Jeder Blick, den wir Menschen in unsere Umwelt werfen, ist erfüllt von tausenden Farben, die sich alle in kleinstem Detail unterscheiden. Dadurch ergibt sich eine große Vielfalt, durch die wir Gegenstände voneinander abgrenzen und unterscheiden können. Eine wichtige Komponente, um diese Farben wahrzunehmen, ist das Licht. Dieses sichtbare Licht ist eine elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 400 nm und 750 nm. Die Grundvoraussetzung zur Wahrnehmung einer Farbe ist die Wellenlänge beziehungsweise die spektrale Zusammensetzung des Lichtes (rot, blau), die Intensität des Lichtes (hellgrün, schwarz), der jeweilige Oberflächeneffekt (silbern, mattschwarz) und die Reflektion und Absorption des Lichtes am jeweiligen Objekt. Elektromagnetische Strahlung beinhaltet allerdings noch weitere Komponenten als nur das sichtbare Licht. Es besteht weiterhin aus den Gamma - und Röntgenstrahlen, den UV-Strahlen, dem Infrarot und den Mikro- und Radiowellen. Diese weiteren Bestandteile kann das bloße Auge nicht erkennen. Um auch dieses Gebiet des Lichtes zu erkunden, entwickelte man viele besondere Spezialkameras. Eine, die wohl auf der Leiter der Erfindungen sehr weit oben steht und auch Hauptbestandteil dieser Arbeit ist, ist die Hyperspektralkamera.

Hyperspektralkameras sind digitale Kamerasysteme, die räumlich und zugleich spektral hoch aufgelöste Bilder liefern. Sie eröffnen schon durch ihre große Bandbreite des elektromagnetischen Spektrums unglaublich viele Anwendungsfelder. Digitale Kamerasysteme, die neben einer hohen spektralen Auflösung auch noch räumlich hoch aufgelöste Bilder liefern, sind für eine qualitative und quantitative Analyse von Prüfobjekten unterschiedlichster Art geradezu ideal. Die Funktionsweise wird im Kapitel 8.1 erläutert.

### 3 Voraussetzungen für die Durchführung

Diese Arbeit wurde unter den Bedingungen der oben genannten Aufgabe durchgeführt. Die erfolgreiche Bearbeitung soll zum Erlangen des akademischen Grades „Bachelor of Engineering“ führen. Dabei wurden die allgemeinen Voraussetzungen für die Durchführung, wie Hyperspektralkamera, Personal Computer, Stromerzeuger, Stativ und die Programme „SpectralDAQ“, „ENVI“, „SketchUp“ von der Hochschule Neubrandenburg bereitgestellt. Trockenes und sonniges Wetter waren zur Optimierung der Aufnahmen nötig.

### 4 Planung und Ablauf

Um der Aufgabenstellung gerecht zu werden und die exakte Erfüllung der Aufgabe gewährleisten zu können, war es notwendig, sich als erstes einen Überblick über die vorhandenen Softwareprogramme und die Hardware zu machen, deren Funktionsweise und Eigenschaften zu erkunden.

Danach wurden die Rahmenbedingungen zur Durchführung der Messungen geschaffen, in dem die Fokussierung und Dunkel- und Hellbildkalibrierung der Kamera optimal eingestellt wurden. Nach der Messung erfolgt die Analyse und Auswertung der Messungen.

### 5 Ausgangssituation

Die Fernerkundung hat in den letzten zwanzig Jahren eine hohe Zahl von Klassifikationsansätzen und mathematischen Vorschriften hervorgebracht, durch die es möglich ist, Luft- und Satellitenbilder zu analysieren und zu interpretieren. Die Klassifikationsverfahren in der Fernerkundung werden in überwachte und unüberwachte Ansätze geteilt [1].

Da diese Arbeit ihren Fokus auf einen überwachten Ansatz legt, wird in diesem Kapitel nur Wert auf diesen Teil der Fernerkundung gelegt. Hierbei wäre dann zunächst auf ein weit verbreitetes Klassifikationsverfahren hinzuweisen, zu dem nach Albertz [2] die Ansätze Minimum Distance und Maximum Likelihood (ML) sowie das Parallelepiped Classifier gehören.

Minimum Distance beschreibt Trainingsdaten, die durch den Mittelpunkt der sogenannten Punktwolke im Merkmalsraum festgelegt werden. Die darauf folgende Zuweisung der unbekannten Pixel erfolgt, indem die einzelnen Pixel der Klasse mit dem geringsten Abstand dem Merkmalsraum zugeordnet werden [1][3]. Beim Maximum Likelihood wird wiederum einem unbekannten Pixel die Klasse zugewiesen, zu der es die höchste Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit hat [1][4]. Der Parallelpiped Classifier legt um jede Klasse rechteckige Entscheidungsgrenzen und ermöglicht somit die genaue Zuweisung von unbekannten Pixeln [5]. Auch die Support Vector Mashine (SVM) ist ein weit verbreiteter Ansatz, beschrieben bei Gualtieri und Cromp [6]. Sie basiert auf Stützvektoren, die Verwendung in der Grenzliniendefinition zwischen zwei benachbarten Klassen finden.

Weitere Arten überwachter Klassifikationsverfahren werden durch Artificial Neuronal Networks (ANN) und der Fuzzy Classification beschrieben. Auf eine genaue Beschreibung der Grundlagen von ANN sei auf Carty [7] Garcia-Pedrajas et al. [8] und Petropoulos et al. [9] verwiesen. Die theoretischen Grundlagen zur Fuzzy Classification sind in Wang [10], Lillesand et al. [5] und Schowengerdt [11] aufgezeigt.

Ein weiterer Meilenstein ist die Spectral Mixture Analysis (SMA), die Pixel mit Mischungen des Materials qualitativ und quantitativ durch Spektren modelliert [5]. Zu dem tragen auch die Entmischungssätze Matched Filtering (MF), die eine teilweise Entmischung [12] nach einem Materialspektrum vollziehen oder auch der hybride Entmischungsansatz, der auf MF und SMA basiert und Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF), der in Boardman [12] erläutert wird. Ein weiterer wichtiger Entmischungsansatz ist die Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA). [22] Die Ausführungen dieses Entmischungssatzes sind bei Roberts et. Al. [13] und Bachmann [14] erläutert.

Neben den vielen Klassifikationsansätzen ist der gegenwärtige Wissensstand durch die umfangreichen Kenntnisse zu den einzelnen Reflexionseigenschaften der natürlichen und künstlichen Oberflächenmaterialien gekennzeichnet [14][15][16]. Dadurch wird eine detaillierte Differenzierung der Oberflächenmaterialien nach der Art der chemischen Zusammensetzungen ermöglicht.

## 6 Grundlagen der Fernerkundung

Die Gesamtheit aller Verfahren, die Informationen über Gebiete, Objekte und Phänomene durch Aufnahmen mit beliebigen Sensoren, die nicht mit den zu untersuchenden Gegenständen in Verbindung stehen, gewinnen und analysieren, werden als Fernerkundung bezeichnet. Grenzt man dies genauer ein, so ist die Fernerkundung eine Verfahrenstechnik zur Gewinnung von Informationen über die Erdoberfläche, in dem man das von ihr ausgehende Energiefeld misst und interpretiert. [31] Ziele dieses Verfahrens sind vor allem die Erfassung des Zustandes der Umwelt und die Veränderung dieser durch anthropogene und naturbedingte Einflüsse aus der Ferne. Man spricht hierbei auch von indirekten Beobachtungsverfahren, da sich das Messgerät in einiger Entfernung zum Beobachtungspunkt befindet. Dies ist daher möglich, da das zu messende Gebiet bzw. Objekt elektromagnetische Strahlung reflektiert oder auch emittiert und daraus die zu messende Größe abgeleitet wird.

Passive Systeme emittieren selbst keine Strahlung. Sie nehmen die von der untersuchten Fläche (FOV; field of view) emittierte oder aus Sekundärquellen reflektierte Strahlung auf. Passive Systeme sind beispielsweise multispektrale Scanner, abbildende Spektrometer, abbildende Infrarotradiometer und scannende Mikrowellenradiometer. Aktive Systeme emittieren Eigenstrahlung und messen die daraus vom FOV reflektierte Strahlung. Unter diese Systeme fallen abbildende Radarsysteme (SAR), Radar-Altimeter, LIDAR und Scatterometer (Streustrahlungsmesser). [30]

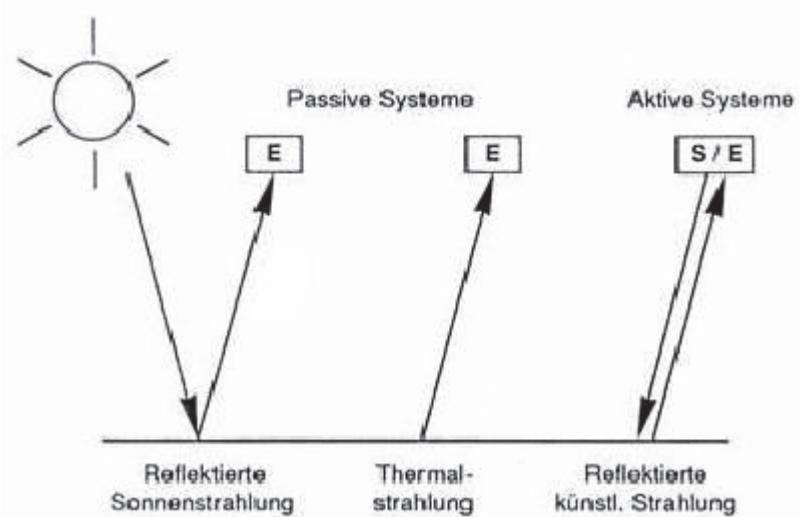


Abbildung 1 Passive und aktive Systeme [16]

## 6.1 Elektromagnetische Strahlung

Die passiven Fernerkundungssysteme messen die von der Erde ausgesandte elektromagnetische Strahlung. Elektromagnetische Strahlungen durchlaufen auf ihrem Weg vom Objekt zum Empfänger die Atmosphäre. [17] Dadurch unterliegt sie den Einflüssen der Refraktion, der Absorption und der Streuung. Unter der Refraktion versteht man die atmosphärische Strahlenbrechung, die durch die Veränderung der Luftdichte hervortritt, während die Absorption eine Energieumwandlung ist, bei der ein Teil der elektromagnetischen Strahlung in Wärme oder andere Energien umgesetzt wird. [17] [26] Die Streuung hingegen ist die Ablenkung der Strahlung durch Aerosole (flüssige und feste in der Luft suspendierte Partikel) in alle Richtungen. [17] Die Intensität und die Streuungscharakteristik hängen hierbei von Art und Größe der Teilchen und der Wellenlänge der Strahlung ab. [17] Die Absorption und Streuung führen zu einer Schwächung der die Atmosphäre durchlaufenden Strahlung. [17] [44] Die sichtbaren Spektralbereiche erfassen die reflektierte Sonnenstrahlung und die Infraroten- und Mikrowellenbereiche die thermische Schwarzkörperstrahlung der Erde. Im Gegensatz dazu stehen die aktiven Fernerkundungssysteme. Sie erzeugen ihre Strahlung selbst durch Laser und Radare und messen somit die Reflektivität des jeweiligen Objektes. Beide Systeme haben die elektromagnetischen Wellen gemeinsam, die die Informationsträger sind und die Informationen von den Objekten zu den Aufnahmegeräten leiten. Elektromagnetische Strahlungen übermitteln also die Informationen vom jeweiligen Objekt zum Sensor des Messgerätes.

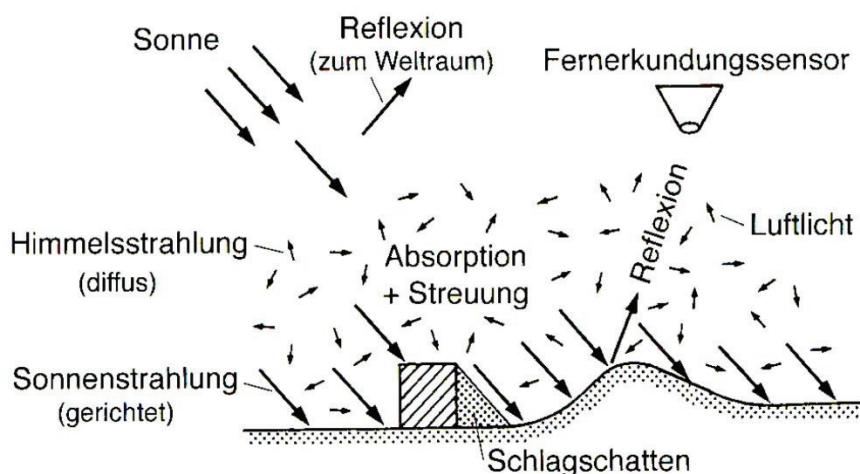
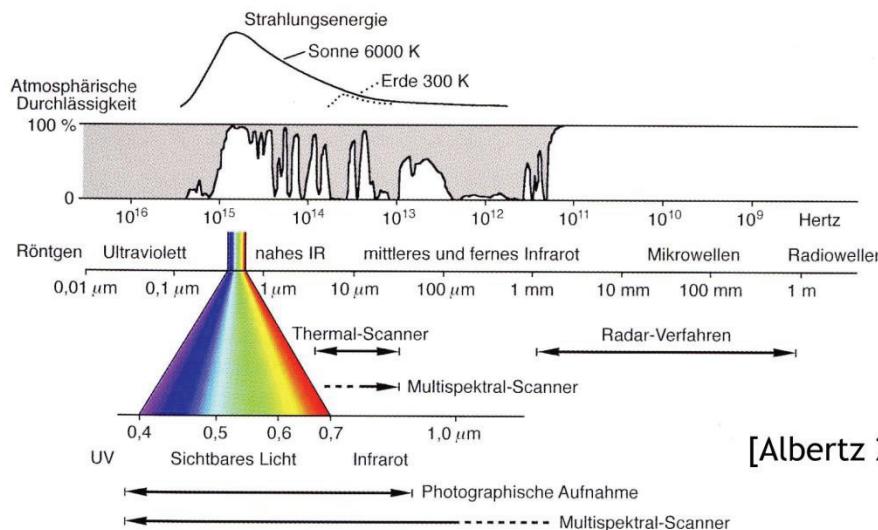


Abbildung 2 Reflexion, Absorption, Streuung

Hierbei gibt es verschiedene Wellenlängenbereiche, die jeweils unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Man unterscheidet hierbei die Röntgenstrahlen, die ultravioletten

Strahlen, das sichtbare Licht, das Infrarot, die Mikro- und die Radiowellen. [29] Alle bei der elektromagnetischen Strahlung vorkommenden Wellenlängen werden in einem elektromagnetischen Spektrum dargestellt. [17] [29] Ein elektromagnetisches Spektrum entsteht durch die Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen und der Materie. Diese elektromagnetischen Wellen bestehen aus einem elektrischen und einem magnetischen Wechselfeld. Ein elektromagnetisches Spektrum stellt ein Kontinuum dar, in dem es keine klar abgrenzbaren scharfen Grenzen und Umsprünge zwischen den jeweiligen Wellenlängen gibt.



[Albertz 2007]

Abbildung 3 Elektromagnetische Strahlung nach Albertz 2007

Das sichtbare Licht stellt im elektromagnetischen Spektrum nur einen kleinen Teilbereich dar, der zwischen 400 nm und 700 nm Wellenlänge liegt. Als Infrarot wird der Wellenlängenbereich bezeichnet, der sich in zwei grundverschiedene Strahlungen unterteilt. Einmal in die kurzwellige, zwischen 700 nm und 3000 nm Wellenlänge liegende Infrarotstrahlung, die direkt an das sichtbare Licht anknüpft. Diese Strahlung wird auch als reflektiertes (oder nahes/ solares) Infrarot bezeichnet, da sie direkt von der Sonne herröhrt. Das ferne Infrarot dagegen stellt die Wärmestrahlung von der Erde bzw. von der Wolkendecke dar. Die ferne Infrarotstrahlung wird auch als thermisches Infrarot bezeichnet. Daraus wird ersichtlich, dass die Atmosphäre der Erde lediglich in den sichtbaren und infraroten Bereichen sowie in den Mikrowellenbereichen für die Strahlung durchlässig ist und somit nur hier eine Fernerkundung stattfinden kann.

Bezeichnung	Wellenlänge
$\gamma$ -Strahlen	$< 10^{-4}$ $\mu\text{m}$
Röntgen-Strahlung	$10^{-5} - 10^{-1}$ $\mu\text{m}$
UV-Strahlung C	0.1 - 0.280 $\mu\text{m}$
B	0.280 - 0.315 $\mu\text{m}$
A	0.315 - 0.400 $\mu\text{m}$
Sichtbares Licht violett	0.400 - 0.436 $\mu\text{m}$
blau	0.436 - 0.495 $\mu\text{m}$
grün	0.495 - 0.566 $\mu\text{m}$
gelb	0.566 - 0.589 $\mu\text{m}$
orange	0.589 - 0.627 $\mu\text{m}$
rot	0.627 - 0.760 $\mu\text{m}$
Infrarot-Strahlung	0.760 - 1000 $\mu\text{m}$
Mikrowellen	0.1 - 100 cm
Radiowellen UKW	1 - 10 m
KW	10 - 100 m
MW	100 - 1000 m
LW	1 - 10 km

Abbildung 4 Überblick über die Wellenlängen und den zugehörigen Strahlungen

## 7 Hyperspektrale Fernerkundung

Das menschliche Auge nimmt die Umgebung nur in den Farben Rot, Grün und Blau wahr. [25] Aktuelle Hyperspektralsensorik hingegen unterteilt das Spektrum in mehrere hundert schmalbändige Kanäle.

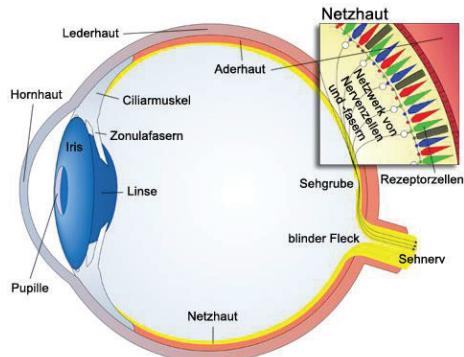


Abbildung 5 Farbwahrnehmung des Auges [18]

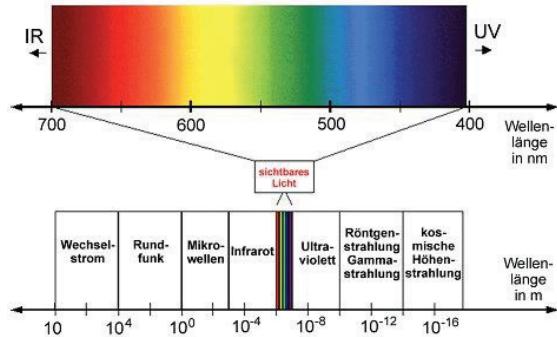


Abbildung 6 Das elektromagnetische Spektrum [20]

Diese Informationsvielfalt ermöglicht eine wesentlich feinere Unterscheidung von Materialien und physikalischen Einflüssen. [21]

Die multispektralen Remote – Sensoren sowie die Landsat Thematic Mapper und Spot XS produzieren Bilder mit einigen Bändern von relativ breiter Wellenlänge. Die hyperspektralen Remote - Sensoren andererseits sammeln gleichzeitig Bilddateien in dutzenden oder hunderten schmalen benachbarten Spektralbändern. Diese Messungen machen es möglich, ein kontinuierliches Spektrum für jede Bildzelle abzuleiten. Nachdem die Sensoren für die Umgebung und das Gelände eingestellt wurden, können Bildspektren mit Feld- oder Laborreflexionsspektren verglichen werden, um Oberflächen, wie bestimmte Vegetationen oder bestimmte durch Erz und Mineralien geprägte Ablagerungen, zu erkunden.

Hyperspektrale Bilder beinhalten sehr viele Daten, benötigen aber ein genaues Verständnis von den Eigenschaften des Bodens und den Materialien, die wir zu messen versuchen und wie sie sich eigentlich auf die Messungen der Hyperspektralsensoren beziehen.

Hyperspektrale Bilder werden durch bildgebende Spektroskopie erzeugt. Die Entwicklung dieser komplexen Sensoren stammt aus der Konvergenz der beiden beteiligten verwandten, aber unterschiedlichen Technologien der Spektroskopie und Digitalfotografie.

Spektroskopie ist die Wissenschaft vom Licht, das von Materialien abgestrahlt oder reflektiert wird. Die abgegebene Energie wird in Wellenlängen gemessen. Angewandt bedeutet dies auf dem Gebiet der optischen Fernerkundung, dass sich die Spektroskopie diffus mit dem von Materialien der Erdoberfläche reflektierten Spektrum des Sonnenlichtes beschäftigt.

Als Spektrometer bezeichnete Instrumente werden genutzt, um boden- oder laborgestützte Messungen von reflektiertem Licht zu machen. Ein optisches Auflockerungselement wie ein Gitter oder ein Prisma splittet das Licht des Spektrometers in viele schmale benachbarte Bänder. Die Energie in jedem Band wird von einem separaten Detektor gemessen. Durch die Nutzung hunderter oder sogar tausender Detektoren kann das Spektrometer spektrale Messungen von Bändern so schmal wie  $0,1 \mu\text{m}$  über einen breiten Wellenlängenbereich von bis zu  $0,4 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m}$  machen (sichtbar durch den mittleren infraroten Wellenlängenbereich).

Remote Sensors wurden hingegen entwickelt, um das Licht, das von vielen benachbarten Arealen der Erdoberfläche reflektiert wird, zu fokussieren und zu messen. In einigen digitalen Remote Sensors werden sequenzielle Messungen von kleinen Bereichen in einem konsistenten geometrischen Muster gemacht, bis sich die Sensorplattform bewegt und die anschließende Bildbearbeitung folgt.

## 8 Hardware

Dieses Kapitel befasst sich mit der Beschreibung aller Hardwarekomponenten, die notwendig sind, um eine hyperspektrale Messung durchzuführen. Dazu gehören die Kamera selbst und seine einzelnen Komponenten sowie alle zusätzlichen Geräte, die zur Aufnahme von hyperspektralen Bilddaten notwendig sind.



Abbildung 7 Ausrüstung bestehend aus Kamera, Stativ, PC, Stromerzeuger

### 8.1 Kamera

Hyperspektralkameras bestehen aus Sensoren, die neben dem zweidimensionalen Raum weiterführend auch noch die Intensitätsverteilung des elektromagnetischen Spektrums messen und speichern. Die daraus gewonnenen Daten werden als Data-Cube, eine Art 3D-Würfel, angezeigt und letztendlich in ein Koordinatensystem mit x für die fortschreitenden Nanometer und y für den Grad der Reflektion des Objektes gelegt.

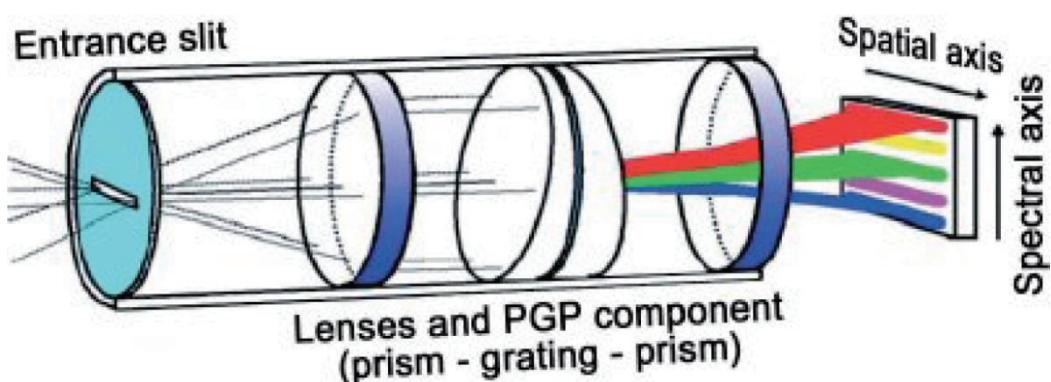


Abbildung 8 Funktionsweise der Hyperspektralkamera

Diese Kamera kann innerhalb eines Messschrittes sowohl die Intensitätswerte an mehreren Wellenlängen als auch an einer Zeile mit Pixeln bestimmen. Eine bildliche Darstellung im zweidimensionalen Raum wird durch einen Spiegel erreicht. Dieser Spiegel ist am Eingangsschlitz eingebaut und wurde zuvor auf die richtige Winkeleinstellung kalibriert. Da an jeder Position eine neue Pixelzeile auf den Sensor projiziert wurde, ergibt sich die Auflösung orthogonal zur Rotationsachse, der Anzahl der angefahrenen Position des Spiegels (durch die Winkelbestimmung). Die auftretenden Intensitäten werden mit einem handelsüblichen CCD-Sensor gemessen. Ein eingebautes Prisma spaltet das einfallende Licht in seine Anteile. Somit treffen diese in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Wellenlänge auf verschiedene Orte des CCD-Sensors. Die Auflösung einer räumlichen und spektralen Dimension wird daher durch den CCD-Sensor bestimmt, während die Auflösung anderer räumliche Dimensionen von der definierten Position des Spiegels abhängig ist. [22]

Die Hochschule Neubrandenburg ist im Besitz der Hyperspektralkamera VISNIR HS-CC-30-V10E, die von der europäischen Technologie Firma „Specim“ in Finnland entwickelt wurde. Die Hyperspektralkamera besteht aus einem Spektrometer vom Typ „IMSpector V10E“ für den Wellenlängenbereich von 400nm -1000nm und einer Hochgeschwindigkeits-CDD-Zeilenkamera vom Typ „Imperx IPX-2M30“. Beide Komponenten sind in einem Metallgehäuse von 330 x 85 x 90 mm verbaut. Die optimale Betriebstemperatur wird mit +5°C bis +40°C, nicht kondensierend, angeben.



Abbildung 9 Hyperspektralkamera ohne Gehäuse

### **8.1.1 Spektrometer „IMSpec tor V10E“**

Der Spektralbereich des Spektrometers reicht von 400nm bis 1000nm bei 848 Bändern. Die spektrale Auflösung beträgt 2,8 nm bei einer Höhe des Spaltes beim Spektrometereingang von 30  $\mu\text{m}$ .

### **8.1.2 Objektiv „OLE23“**

Das Objektiv „OLE23“ hat eine Brennweite von 23 mm und eine Blendezahl von 2,4. Die maximale räumliche Ausdehnung eines Bildes beträgt 14,4 mm. Die optische Ausgabe erfolgt als bildseitig telezentrischer Strahlengang. Er dient der Parallelisierung des Strahlenganges, um Pixel Vignettierung zu verhindern. Die Lichtdurchlässigkeit ist größer als 85 %. Der Mindestabstand zum Objekt soll 50 cm betragen. Durch den verwendeten optischen Erweiterungsring ist es möglich, den Mindestabstand auf 10 cm zu reduzieren. Das Objektiv besteht aus eloxiertem Aluminium und ist 43 mm lang und 41 mm breit im Durchmesser.

### **8.1.3 Sensor „Imperex IPX-2M30“**

Der Sensor „Imperex IPX-2M30“ arbeitet nach dem Interline-CCD-Zeilensensor Prinzip. CCD-Sensoren sind lichtempfindliche elektronische Bauelemente, die auf dem inneren Photoeffekt beruhen. [33] [34] [35] [36] Mit den CCD-Sensoren können 2-dimensionale Bilder aufgenommen werden. Seit 1983 werden CCD-Sensoren als Bildsensoren in der Astronomie und der Satellitenfernerkundung eingesetzt. [32] [33] [34] [35] Der „Imperex IPX-2M30“ nimmt 1600 räumliche und 848 spektrale Pixel pro Zeile auf. Die Pixelbreite beträgt 7,4  $\mu\text{m}$ .

#### **8.1.3.1 „Interline-CCD-Zeilensensor“**

Interline-CCD-Sensoren bestehen aus einem streifenförmigen Muster von lichtempfindlicher Sensorfläche (Belichtungsbereich) und lichtundurchlässigen Schieberegistern. [24] Die in den lichtempfindlichen Bereichen aufgenommenen Ladungen werden parallel in die angrenzenden Schieberigster übernommen. [24] [25] Daraufhin werden die Ladungen in den vertikalen Schieberegistern zeilenweise in das horizontale Ausleseschieberegister geschoben. [24] [25] Von dort werden sie seriell an einem Verstärker in Spannungssignale umgewandelt und ausgelesen. [24] [25]

Folgend wird die Funktionsweise in einzelnen Schritten beschrieben:

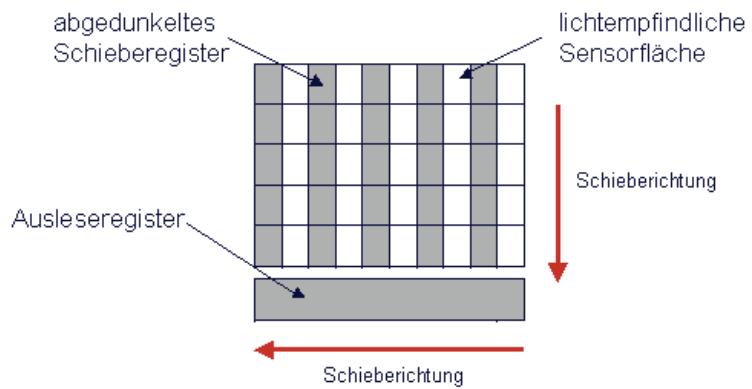


Abbildung 10 Schieberegister [24]

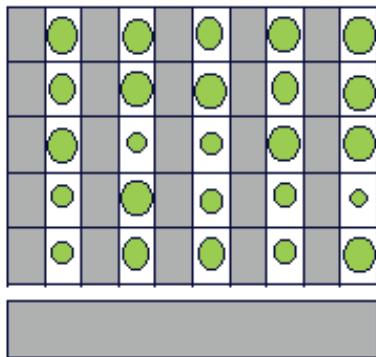


Abbildung 11 Belichtungsphase [24]

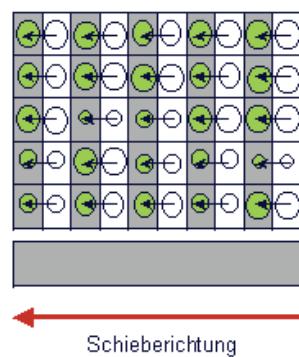


Abbildung 12 Übernehmen der Ladungen [24]

1. Durch den Photoeffekt werden durch auftreffende Photonen Ladungspakete erzeugt.

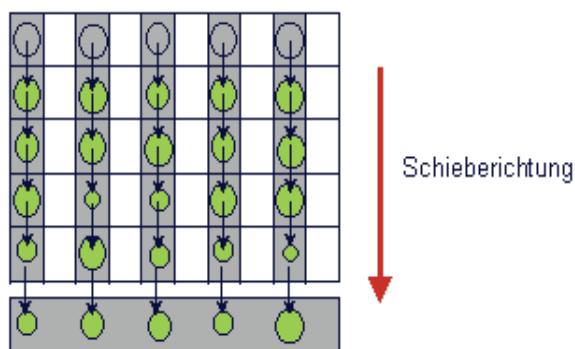


Abbildung 13 Vertikale Verschiebung [24]

2. Paralleles Übernehmen der Ladungen in die abgedunkelten Schieberegister

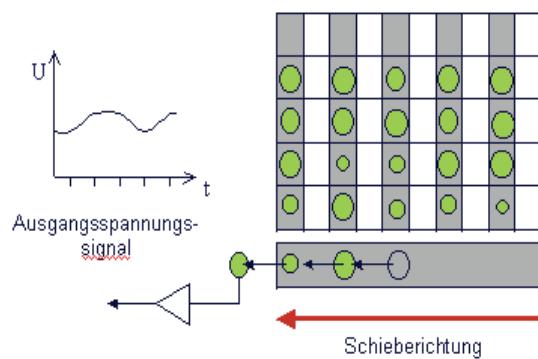


Abbildung 14 Ausleseregister [24]

3. Übertragen der ersten Zeile ins Ausleseregister

4. Serielles Abarbeiten des Ausleseregisters

## 8.2 Zusätzliche Hardware und Geräte zur Verwendung der Kamera

### 8.2.1 Drehbarer Stativaufsatz

Da die aufzunehmenden Objekte sich nicht vor der Kamera bewegen können, muss die Kamera sich bewegen. Dazu wird der drehbare Stativaufsatz verwendet. Er verfügt über einen Winkel, an dem die Kamera um 90° gekippt angeschraubt wird. Bei der Aufnahme bewegt sich die Kamera horizontal von links nach rechts oder entgegengesetzt. Der drehbare Stativaufsatz verfügt außerdem über einen Notschalter, der in Gefahrensituationen getätigten werden kann. Gelöst wird der Notschalter, indem der Schalter nach rechts gedreht wird. Angetrieben wird der Stativaufsatz über einen Elektromotor im Inneren des Gehäuses.

### 8.2.2 Stativ

Das Stativ, Gewicht 6,5 kg, ist ein handelsübliches Vermessungsstativ aus Holz mit Schnellklemmen und Schultertrageriemen. Der Stativkopf ist ein Flachkopf. Die Höhe des Stativs kann zwischen 105 cm - 170 cm reguliert werden.

### 8.2.3 Personal Computer

Auf dem Personal Computer, der von der Hochschule im Rahmen des Projektes gestellt wurde, laufen alle Daten zusammen und können dort mit Hilfe von Software ausgewertet, bearbeitet und gespeichert werden. Folgende Hardware besitzt der Personal Computer der Hochschule:

- Intel Core 2 CPU 6400 mit 2,13 GHz Taktrate
- 2 GB RAM Arbeitsspeicher

### 8.2.4 Stromerzeuger

Der Stromerzeuger ist notwendig für die Stromerzeugung, da die Messungen im freien Gelände stattfinden und keine Stromversorgung über Hausanschlüsse möglich ist. Es handelt sich hierbei um einen Stromerzeuger der über zwei Stromanschlüsse verfügt.

### 8.2.5 Schnittstellen

Die Hyperspektralkamera der Hochschule benutzt eine „Base Camera Link“ Schnittstelle von der Firma „National Instruments“ für den Datenfluss. „Camera Link“ ist eine Hochgeschwindigkeitsschnittstelle in der industriellen Bildbearbeitung. Diese Schnittstelle

wurde durch die Industrie im Jahre 2000 eingeführt, um eine einfache Verbindung zwischen Kamera und PC zu schaffen. Der „Base Camera Link“ ermöglicht eine Übertragung von 24 Bit pro Takt. Die Datenrate ist bis zu 2,3 GB/s möglich. Neben dem „Base Camera Link“ gibt es noch die Varianten „Medium“ (48 Bit pro Takt) und „Full“ (64 Bit pro Takt). Mittlerweile ist es möglich, nicht nur den Datenfluss über die „Camera Link“ Schnittstelle zu realisieren, sondern auch die Stromversorgung. Der momentane Preis für 5m Kabel liegt bei 138,- €. [37]

### **8.2.6 Framegrabber**

Die Aufgabe des Framegrabber ist es, sich an das Datenformat der Kamera anzupassen und das gelieferte Bildmaterial im Zielformat weiterzugeben oder zu speichern. Es handelt sich hierbei um einen digitalen Framegrabber der Firma National Instruments des Typs „PCI NI 1428“. Der Framegrabber verfügt über einen integrierten programmierbaren Bildausschnitt (ROI), 4 Referenztabellen (LUTs) mit 256 \* 8 Bit, eine Standardverkabelung für den Camera Link, eine Pixeldezimierung, eine Bildskalierung und einen Onboard-Speicher von 16 MB. Der momentane Preis des Framegrabber „PCI NI 1428“ liegt bei 1460,- €. [37]

## 9 Software

Für die Erzeugung und Weiterverarbeitung der hyperspektralen Aufnahmen werden drei verschiedene Programme benötigt. Ein Programm wird zur dreidimensionalen kartographischen Darstellung der Baumaterialien benötigt. Für die Voreinstellung des Ausgabesignals wird der „Lynx Configurator“ verwendet. Die hyperspektralen Aufnahmen werden mit „SpectralDAQ“ erzeugt. Die anschließende Auswertung erfolgt mit „Envi“ und die Darstellung mit „SketchUp“. Nachfolgend werden alle Programme mit ihren benötigten Funktionen beschrieben.

### 9.1 Lynx Configurator

Der „Lynx Configurator“ bietet die Möglichkeit, auf die Firmware der Hyperspektralkamera zuzugreifen und Änderungen vorzunehmen. Der „Lynx Configurator“ kann über die Website der Firma „Imperex“ heruntergeladen werden. Imperex ist ein amerikanischer Kamerahersteller mit Sitz in Boca Raton (Florida) und hat die Software für seine eigenen Kameras entwickelt. Die Software lässt sich trotzdem problemlos für andere Kamerasysteme verwenden. Der Download ist kostenlos. Es ist eine Registrierung auf der Website nötig unter Angabe eines Gewerbes, um den Download tätigen zu können. Nötig wird der Download des Programms „Lynx Configurator“, da die mitgelieferte Software der hyperspektral Kamera „SpectralDAQ“ nicht die Funktion liefert, das Ausgabesignal zu konfigurieren. Nach dem ersten Start erkennt das Programm automatisch die vorhandenen Ports und führt die installierten Kameras auf. Nach Auswahl der Kamera stehen viele Konfigurationsmöglichkeiten zur Verfügung. Für die Hyperspektralkamera ist nur der Bereich „Video Amp“ wichtig, da alle anderen Einstellungen auch über „Spectral DAQ“ vorgenommen werden können. In „Video Amp“ können die Offset- und Gain Werte verändert werden. Offset und Gain beeinflussen das Ausgangssignal, wobei Offset das gesamte Bild aufhellt und Gain eine Erhöhung des Kontrastes des Bildes bewirkt.

### 9.2 SpectralDAQ

„SpectralDAQ“ ist das hauseigene mitgelieferte Programm der Firma Specim zur Ansteuerung der Kamera und des Drehtisches. Aufnahme und Speichern sowie Framerate und Belichtungszeit können hierüber eingestellt werden. Über → *View* lassen sich weitere Fenster, wie das räumliche- und spektrale Profil, öffnen. Das räumliche und spektrale Profil wird in Echtzeit dargestellt. Über den Reiter → *Original Scanner* wird der Drehtisch gesteuert. Es lassen sich hier die Geschwindigkeit der Bewegung sowie der Start- und Endpunkt der Kamera bestimmen.

## 9.3 Envi



ENVI ist ein Produkt der amerikanischen Firma EXELIS Visual Information Solutions INC. zur Verarbeitung und Analyse geographisch-räumlicher Bilddaten. [28] [47] ENVI steht für Environment for Visualizing Images. Es verbindet die Verarbeitung spektraler Bilddaten und Bildanalysetechnologien in einer modernen benutzerfreundlichen Oberfläche. [28] In dieser Arbeit wurde ENVI in der Version 4.7 und 5.0 benutzt.

### 9.3.1 Darstellung von Bildern und Spektren

Die mit Hilfe des Programms „SpectralDAQ“ aufgenommenen RAW Dateien (Rohdatenformat) können von ENVI direkt eingelesen und dargestellt werden. ENVI ist für Bildformate großer Speicherkapazitäten ausgelegt und stellt diese fehlerfrei und ohne Konvertierung zügig dar.

Über *File -> Open* wird die Quelldatei ausgewählt und geladen. Beim Laden weist ENVI dem Bild automatisch die RBG Wellenlängen den entsprechenden Bändern zu. Das Spektrum eines einzelnen Pixels kann über *Display -> Spectral Profile* angezeigt werden. Hier öffnet sich ein neues Fenster „Spectral Profile“. Mit Linksklick auf dem Bild wird in dem Fenster „Spectral Profile“ das Spektrum des angeklickten Pixels dargestellt. Wird ein anderes Pixel ausgewählt, aktualisiert sich das Spektrum automatisch. Werden mehrere Bilddateien ausgewählt, können diese untereinander und nebeneinander angezeigt werden. Der Hauptbildschirm von ENVI 5.0 lässt sich in 4 Bereiche einteilen, Menüleiste oben, Layout Manager links, Ansichtsbildschirm in der Mitte und der Toolbox rechts. Über den Menüpunkt „Display“ lassen sich weitere Fenster wie „Spectral Library Viewer“ und „Spectral Profil“ aufrufen. Diese Fenster werden über dem Hauptbildschirm dargestellt und lassen sich verschieben.

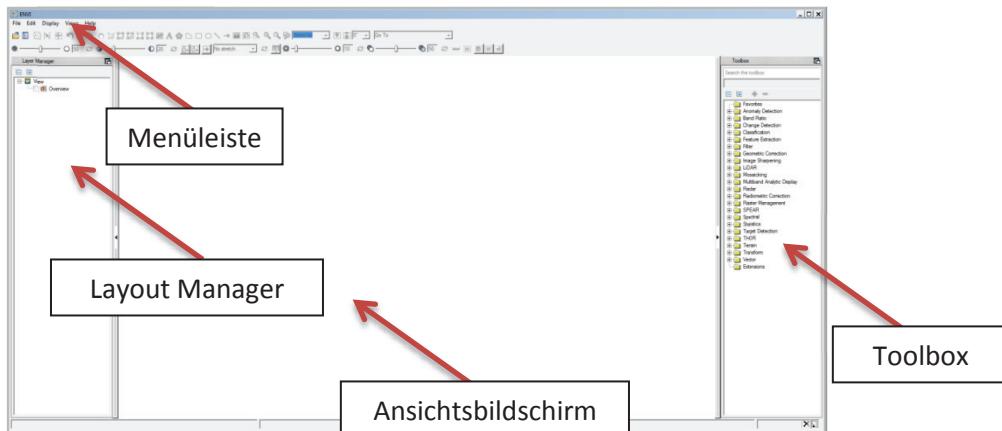


Abbildung 15 Programmoberfläche ENVI

### 9.3.2 Rechnungen mit Spektren

ENVI bietet in der Toolbox das Modul „*Spectral Math*“ an, mit dem mathematische Ausdrücke selbst definiert und ausgeführt werden können. Die Ausdrücke werden in das Feld „*Enter an expression:*“ eingeben und über „*Add to List*“ abgespeichert. Zu beachten ist, dass die Variablen immer mit einem „s“ und einer darauf folgenden Zahl bezeichnet werden müssen. Jede Variable steht für ein Bild/ Karte oder ein Spektrum. Nach dem Abspeichern öffnet sich ein neuer Bildschirm, und die Variablen müssen einem Bild, einer Karte oder einem Spektrum zugeordnet werden. Dabei ist zu beachten, dass nur Bilder/Karten zugeordnet werden können, die auch in ENVI geöffnet wurden. Ebenso verhält es sich mit den Spektren. Dazu muss im Vorhinein das Spektrum über *Display -> Spectral Profil* geöffnet und angezeigt werden. Beim Zuordnen eines Bildes oder einer Karte über die „*Map Variable to Input File*“ wird mit der Variablen jedes Pixel des Bildes gespeichert.

### 9.3.3 Vergleich von Spektren

Über *Display -> Spectral Library* lassen sich die im Programm enthaltenen Spektralbibliotheken aufrufen. ENVI verfügt über 5 Hauptbibliotheken:

**igcp264**      enthält 5 Mineralbibliotheken, in denen jeweils die gleichen Stoffe erfasst sind, jedoch mit verschiedenen Spektrometern aufgezeichnet wurden

**jhu\_lib**      enthält Bibliotheken für Gesteine, Mineralien, Vegetation, Wasser und von Menschenhand geschaffene Stoffe

**jpl\_lib**      beinhaltet 160 unterschiedliche Mineralien

**usgn\_min**      Bibliothek für verschiedene chemische Elemente

**veg\_lib**      Vegetationsbibliothek für grüne- und trockene Pflanzen

In jeder Bibliothek befindet sich eine *readme.txt* Datei, in der die Stoffe der Bibliothek aufgelistet sind und erklärt werden.

### 9.3.4 Klassifizierung

ENVI beinhaltet 3 verschiedene hyperspektrale Klassifizierungsmethoden.

**Spectral Angle Mapper (SAM)** - ist ein automatisiertes Verfahren zum Vergleich von Bild-Spektren,

einzelner Spektren oder einer spektralen Bibliothek. Der Algorithmus bestimmt die Ähnlichkeit zwischen zwei Spektren durch die Berechnung der spektralen Winkel zwischen ihnen, behandelt sie als Vektoren im n-D Raum, wobei n die Anzahl der Bänder ist. Je kleiner der Winkel ist, desto größer ist die Übereinstimmung. Die Länge der Vektoren spielt dabei keine Rolle. Dieser Algorithmus wurde zur überwachten Klassifikation verschiedener Oberflächentypen entwickelt (Mineralien, landwirtschaftliche Kulturen).

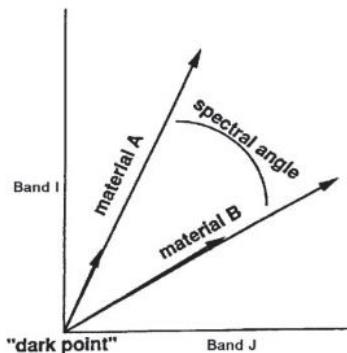


Abbildung 16 Funktionsweise des Spectral Angle Mapper

**Spectral Feature Fitting (SFF)** – ist die Methode der kleinsten Quadrate, angewendet, um Aufnahme und Referenzspektrum gegenüber zu stellen. Es kann definiert werden, in welchen Wellenlängenbereich sich signifikante Eigenschaften befinden.

**Binary Encoding (BE)** – kodiert Daten- und Endmemberspektren in 0 und 1, je nachdem, ob ein Spektralband über oder unter dem Spektrenmittelwert liegt.

Um alle Methoden gleichwertig in das Ergebnis einfließen zu lassen, wird jede Methode mit dem Gewicht 0,33 angegeben. Wenn man nur eine Methode einfließen lassen möchte, wählt man als Gewicht 1 und bei den anderen Methoden 0. Die Achsen der Spektren lassen sich über *Options – Edit (x,y) Scale Factors* auf eine gleiche Länge umskalieren.

## 9.4 SketchUp

SketchUp ist in seiner Grundausführung ein kostenfreies CAD Programm und dient zum Konstruieren und Präsentieren von dreidimensionalen Objekten. [40] Ursprünglich ist SketchUp ein Produkt der Firma „Last Software“ und wurde im Jahre 2006 von „Google INC.“ aufgekauft. 2012 trennte sich „Google INC.“ wieder von SketchUp und verkaufte es an „TRIMBLE“. [38] Der Verkauf an „TRIMBLE“ hat SketchUp bis jetzt in seinen Funktionen nicht beeinträchtigt. In dieser Arbeit wurde die Version 8 verwendet.

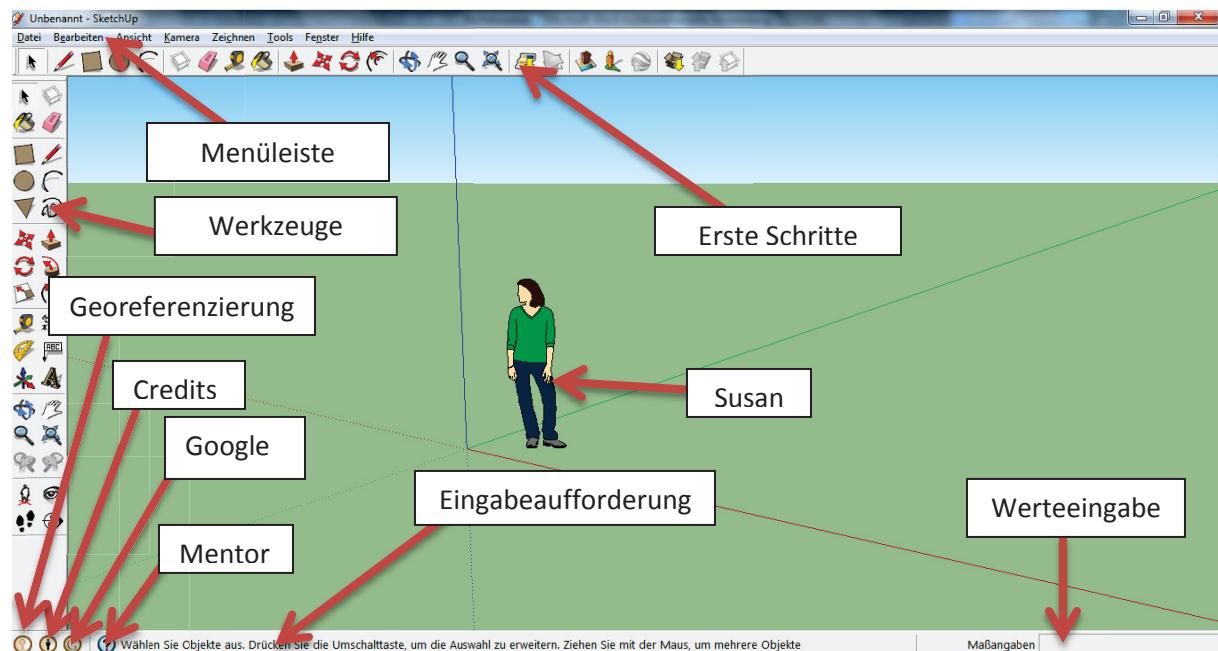


Abbildung 17 Programmoberfläche SketchUp

#### 9.4.1 Menüleiste

Die Menüleiste besteht aus **DATEI** – **BEARBEITEN** – **ANSICHT** – **KAMERA** – **ZEICHNEN** – **TOOLS** – **FENSTER** und **HILFE**. Nachfolgend werden die Eigenschaften der jeweiligen Reiter erklärt.

- |                   |   |
|-------------------|---|
| <b>DATEI</b>      | hier befinden sich alle Dateiverwaltungsaufgaben zum Erstellen, Speichern und Öffnen von Dateien  |
| <b>BEARBEITEN</b> | enthält die Funktionen zum Zurücknehmen und Wiederherstellen von Aktionen sowie die Zwischenablage  |
| <b>ANSICHT</b>    | die Sichtbarkeit verschiedener Elemente der Benutzeroberfläche und verschiedener Darstellungseffekte kann hier gesteuert werden                 |
| <b>KAMERA</b>     | enthält die Ansichtssteuerung, Blickrichtung, Art der perspektivischen Darstellung, und die Manipulation des Bildausschnitts wird hier bestimmt |
| <b>ZEICHNEN</b>   | wird unter 4.4.2 beschrieben  |
| <b>TOOLS</b>      | beinhaltet die wichtigsten Funktionen zur Bearbeitung von Objekten  |
| <b>FENSTER</b>    | Ansteuerung der Symbolleisten und Informationen zum Ein- und Ausblenden   |

## 9.4.2 Werkzeuge

Bis vor kurzem befand sich auf der Supportseite von SketchUp noch eine Kurzübersichtskarte der Werkzeuge und deren Funktionen. Mit der Übernahme durch TRIMBLE wurde diese Seite gelöscht. Der Funktionssatz im Überblick:

Großer Funktionssatz:

	Auswählen		Maßstab		Komponente erstellen		Abmessung
	Farbeimer		Winkelmaß		Radiergummi		Text
	Rechteck		Achsen		Linie		3D Text
	Kreis		Rotieren		Bogen		Hand
	Vieleck		Zoomen		Freihand		Alles zeigen
	Verschieben		Letzte Ansicht		Drücken/Ziehen		Nächste Ansicht
	Drehen		Kamera positionieren		Folge mir		Umschauen
	Skalieren		Gehen		Versatz		Schnittebene

Abbildung 18 Großer Funktionssatz SketchUp

Dynamische Komponente

	Interagieren		Komponentenoptionen		Komponentenattribute
--	--------------	--	---------------------	--	----------------------

Abbildung 19 Dynamische Komponenten in SketchUp

## Sandkiste

	Aus Konturen		Formen		Fläche verbinden		Kante spiegeln
	Neue weiche Fläche		Fläche abbilden		Detail hinzufügen		

Abbildung 20 Sandkiste in SketchUp

## Standardsichten

	Iso		Rechts		Links
	Vorne		Hinten		Oben

Abbildung 21 Standardansichten in SketchUp

## Stile

	Röntgenmodus		Hinterkanten		Drahtgitter		Linienausblendung
	Schattiert		Schattiert mit Texturen		Monochrom		

Abbildung 22 Stile in SketchUp

## Google

	Neues Gebäude hinzufügen...		Ort hinzufügen		Modelle übernehmen		Komponente gemeinsam verwenden
	Modellvorschau in Google Earth		Fototexturen		Gelände anzeigen		Model gemeinsam verwenden

Abbildung 23 Google-Funktionen in SketchUp

## 10 Fokussierung

Bevor die Messungen beginnen können, müssen Objektiv und bestimmte Parameter der Kamera, wie Offset und Gain, eingestellt werden, um qualitativ hochwertige Aufnahmen durchführen zu können.

### 10.1 Siemensstern

Die Fokussierung des Objektivs erfolgte mit Hilfe eines Siemenssterns. Beim Siemensstern



Abbildung 24 Siemensstern

handelt es sich um ein Testmuster, einen Kreis mit abwechselnd weißen und schwarzen Sektoren. Die Kamera wird dazu mittig und senkrecht auf den Siemensstern ausgerichtet. Das Objektiv wird fest an die Kamera geschraubt und

die 2mm Inbusschraube an dem silbernen Ring des Objektivs gelöst. Durch das Lösen des Ringes lässt sich der untere Teil des Objektivs herein- und herausschrauben. Dabei gilt, je geringer der Abstand zum Objekt, desto weiter muss das Objektiv von der Kamera entfernt sein. Das Objektiv ist dann ordentlich eingestellt, wenn ein klares Balkenmuster zu erkennen ist (Abbildung 26).

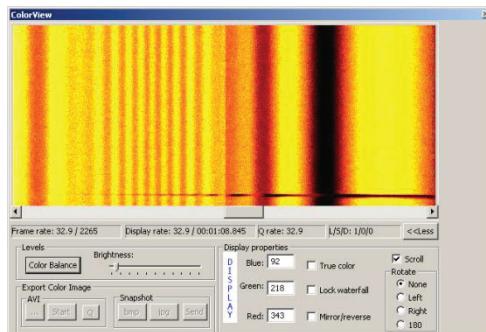


Abbildung 25 Siemensstern ohne Korrektur

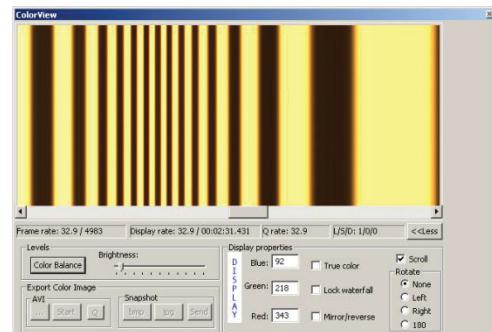


Abbildung 26 Siemensstern mit Korrektur

### 10.2 Dunkel- und Hellbildkalibrierung

Die Dunkel- und Hellbildkalibrierung erfolgt mit Hilfe der unter 4.1 Lynx Configurator beschriebenen Software. Der Interline-CCD-Zeilensensor gibt die Bildinformationen über zwei separate Kanäle jeweils an den Analog-Digital-Wandler aus. Dies führt dazu, dass sich die linke Bildhälfte meist von der rechten Bildhälfte unterscheidet. Hier wurden die Offset-

und Gainwerte der beiden Kanäle so angepasst, dass auf beiden Kanälen das gleiche Bild ausgegeben wird.

## 11 Durchführung der Aufnahmen/ Messungen

Die hyperspektralen Aufnahmen wurden am 26.06.2013 zwischen 11.00 Uhr und 14.00 Uhr gemacht. Die Lufttemperatur lag im Durchschnitt bei 15°C. Die Bewölkung lag bei 7/8 (fast bedeckt), und es kam zu geringer Sonneneinstrahlung. Es wurden die maximale Framerate mit 33 Hz und Belichtungszeit mit 29 ms an der Kamera eingestellt. Zu jedem aufgenommen Bild wurden die Lichtverhältnisse mit Hilfe einer weißen und schwarzen Folie sowie einem weißen Blatt Papier aufgenommen, um den Lichteinfluss später aus der Aufnahme berechnen zu können.

## 12 Analyse

Zurzeit gibt es noch sehr wenige Spektral-Bibliotheken, die vom Menschen geschaffene Stoffe („man made“) beinhalten. Wenn sie vom Menschen geschaffene Stoffe enthalten, dann nur sehr wenige und explizite. Vor allem enthalten Spektral-Bibliotheken Daten zur Vegetation, Gesteinen und Mineralien. Aufgrund dessen wurde versucht, die verwendeten Baustoffe mit Hilfe ihrer chemischen Zusammensetzungen nachzuweisen. Hauptbestandteile der Gebäudeoberflächen waren Fensterglas, Klinker, Kalkzementputz und Metalle. Die Reflexionseigenschaften der Baustoffe hängen vor allem von den physiko-chemischen Materialeigenschaften, dem Beleuchtungswinkel, der Wellenlänge, den morphologischen und geometrischen Verhältnissen ab. [26] Nur ein Teil der Sonneneinstrahlung wird von den Objekten reflektiert. [26] Die Art der Reflexion wird von der Oberflächenstruktur bestimmt. [42]

Die Reflexion vom Objekt ist der ausschlaggebende Parameter für die optisch-reflektierte Fernerkundung. Nach dem Energieerhaltungsgesetz ergibt sich:

$$E_I = E_A + E_T + E_R$$

$E_A$  ist hierbei die Absorption,  $E_T$  die Transmission und  $E_R$  die entscheidende Reflexion. Bei der Interaktion von elektromagnetischer Strahlung und dem Objekt wird bei der Absorption die Strahlung vom Objekt absorbiert und in eine andere Form der Energie umgewandelt (Strahlung anderer Wellenlänge). Die Transmission durchdringt das Objekt, ohne dass sich die Wellenlänge ändert. Bei der Reflexion wird die Strahlung reflektiert. Hier unterscheidet man nach gerichteter und diffuser Reflexion. [43]

Fensterglas ist ein amorpher Feststoff. Die Grundelemente, aus denen Glas besteht, sind Siliziumdioxid, Natriumdioxid und Kalziumdioxid. Die Stoffe sind für das Erstarren, das Schmelzen und den Korrosionsschutz des Glases verantwortlich. Wenn weitere Bestandteile dazugegeben werden, kann die Härte oder die Farbgebung des Glases verändert werden. Glas besitzt keine Anordnungen wie z. B. ein Kristall.

Klinker werden durch Brennen von geformtem Lehm, Ton und tonigen Massen mit Zuschlägen von Sand, Ziegelmehl, Hochofenschlacke oder Asche hergestellt. [23] [41] Die Farbe der Klinker hängt von der Zusammensetzung der Rohstoffe, insbesondere von dem Eisen- und Kalkgehalt, und der Verarbeitung ab. [23] Beim normalen oxidierenden Brennen ergibt hoher  $Al_2O_3$ -Gehalt braune, hoher Kalk-Gehalt gelbe und hoher  $Fe_2O_3$ -Gehalt rote

Farbtöne. [23] Bei hohen Brenntemperaturen unter reduzierenden Bedingungen geht hingegen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in  $\text{FeO}$  über, was den Ziegeln eine blaugraue bis blauschwarze Farbtönung verleiht. [23] In unserem Fall liegt ein hoher Kalk-Gehalt vor, da es sich vor allem um gelbe Klinkersteine handelt.

Bei der Unterscheidung von Putzen nach dem Material handelt es sich in der Regel um eine Unterscheidung nach dem Bindemittel, da dieses einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften und den Verwendungszweck des Putzes hat. Der Kalkzementputz besteht aus dem Bindemittel Kalk, Zement, Lehm.

Metalle reflektieren das einfallende Licht extrem. Sind Metalle gebürstet, mattiert oder sandgestrahlt, streuen sie sehr viel Licht an der Oberfläche, und die optische Prüfung vereinfacht sich stark. [45]

Nachdem mit der Funktion „Math Spectral“ in ENVI das Spektrum des Lichtes aus den Aufnahmen nach der Formel

$$\mathbf{s}_1/\mathbf{s}_2$$

berechnet worden ist, wurde über „Spectral Analyst“ zur Klassifizierung die Methode Binary Encoding mit einer Gewichtung von 1 genommen, da sie die besten Ergebnisse lieferte. Die Variable „ $s_1$ “ steht in diesem Fall für jeden Pixel der Aufnahme, das durch die Variable „ $s_2$ “, die für den Wert des Lichtspektrums steht, geteilt wurde. Das Lichtspektrum wurde aus jeder Aufnahme von der weißen Folie entnommen. Die Referenzspektren haben einen größeren Wellenlängenbereich als die Aufnahmen. Um einen Vergleich zwischen Aufnahme und Referenzspektrum zu schaffen, wurden bei allen Referenzspektren die X-Werte mit dem Faktor 0,01 oder 0,001 multipliziert.

Es kommt bei allen Analysen nicht zu einer 100 % Übereinstimmung, da die Messungen nicht unter den gleichen Bedingungen wie die Referenzspektren aufgenommen werden konnten, beziehungsweise die Aufnahmebedingungen der Referenzspektren nicht bekannt waren. Es reichen schon kleinste Helligkeitsunterschiede zwischen Start und Endpunkt der Aufnahme, um die Aufnahme zu beeinflussen, da aus jeder Aufnahme nur ein Lichtspektrum gerechnet wird, das in der Aufnahme gemacht wurde. Wissenswert wäre auch, ob die Referenzspektren aus multispektralen Aufnahmen oder aus hyperspektralen Aufnahmen stammen. Der Unterschied zwischen multispektral und hyperspektral ist enorm. Es gibt bei multispektralen Aufnahmen noch Lücken zwischen einzelnen Bändern und bei

hyperspektralen Aufnahmen keine. So muss bei einer multispektralen Aufnahme die spektrale Signatur noch gemittelt werden, bei der hyperspektralen Aufnahme nicht. In Folge dessen, kann es zu unterschiedlichen Spektren kommen.

In den folgenden Abbildungen entspricht die rote Skala den Spektren der Aufnahme, während die weiß dargestellten Spektren den Referenzspektren entsprechen. Warum die Spektren der untersuchten Stoffe nicht über die 900 nm Wellenlänge hinausreichen, kann nicht geklärt werden. Die Hyperspektralkamera war bis zu einer Wellenlänge von 1000 nm eingestellt.

Probleme, die bei hyperspektralen Aufnahmen auftreten können und berücksichtigt werden müssen, sind Sensorrauschen, atmosphärische Verzerrung, zu geringe Auflösung und hoch dimensionale Daten.

Beim verwendeten Fensterglas der Hochschule konnte ein Anteil an Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) und Kupfer (Cu) nachgewiesen werden. Kupfer sorgt für die blaue Färbung des Fensterglases. Der Kurvenverlauf der beiden Spektren liegt hier nicht überein, aber es lässt sich der ähnliche Kurvenverlauf erkennen. Gegenüber dem Referenzspektrum ist zu erkennen, dass das gemessene Spektrum stark verrauscht ist und im nahen Infrarotbereich einen starken Anstieg und Abfall hat.

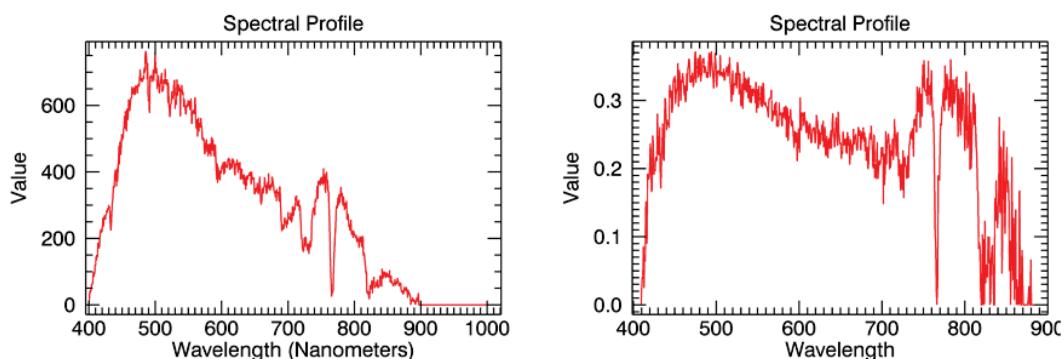


Abbildung 27 Spektrum des Fensterglases mit und ohne Licht

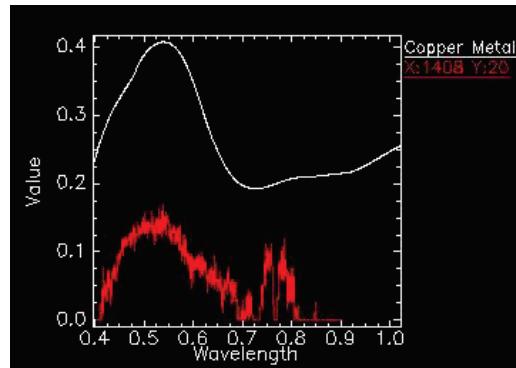


Abbildung 28 Vergleich des Spektrums mit dem des Kupfers (Cu)

Bei den Fensterrahmen wurde Aluminium verwendet, was die nachfolgende Abbildung widerspiegelt. Hier konnte eine sehr gute Übereinstimmung analysiert werden. Der monotone Abfall zu 400 nm Wellenlänge kommt daher, da die Kamera erst ab 400 nm Wellenlänge anfängt, Aufnahmen zu machen.

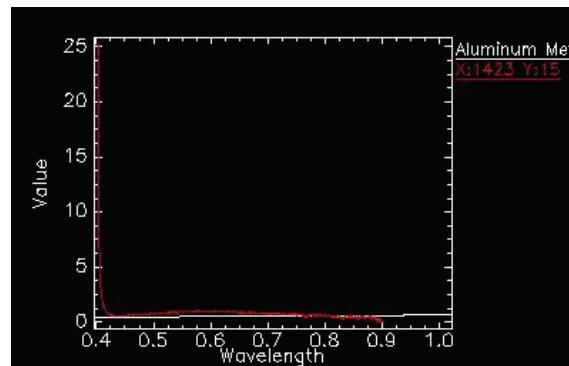


Abbildung 29 Vergleich des Spektrums mit dem des Aluminiums (Al)

Weiter wurde bei den Fensterrahmen das Mineral Grossular analysiert. Grossular ist ein Mineral aus der Gruppe der Granate. Chemisch gesehen ist es ein Calcium-Aluminium-Inselsilikat.

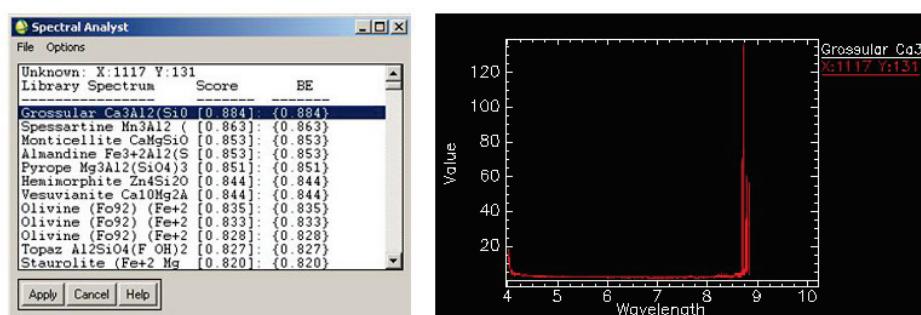
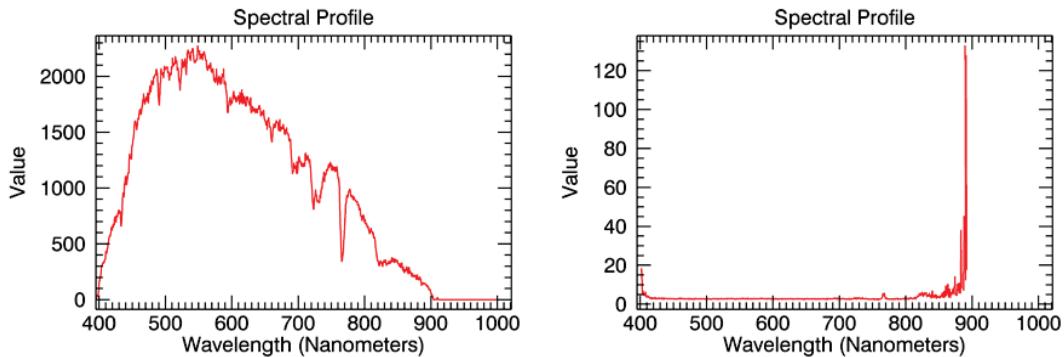
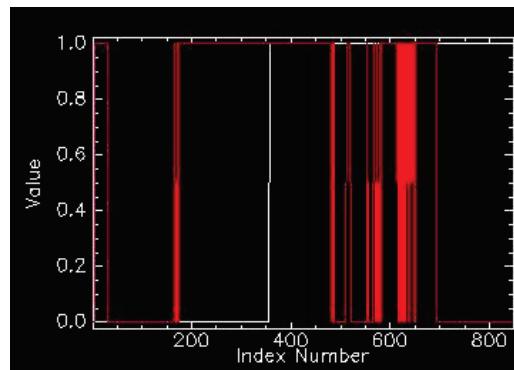


Abbildung 30 Auswertung der Fensterrahmen

Bei der Analyse der Fassade am Eingangsgebäude des Haus 1 wurde das Ergebnis Beton erwartet und bestätigt. In der **Abbildung 32** ist das Ergebnis im Binary Encoding verfahren zu sehen.



**Abbildung 31 Spektrum des Betons am Eingang des Haus 1 mit und ohne Licht**



**Abbildung 32 Darstellung der Spektren in Binary Encoding**

Im Weiteren sind die Spektren der untersuchten Aufnahmen zu sehen. Links sind die Spektren mit Lichteinfluss und rechts ohne. Beim Klinker konnte eine Beton-Konstruktion analysiert werden, welche auch erwartet wurde. Des Weiteren wurde die gelbe Verblendung am Haus 1 und der Mensa, der Putz am Haus 1, Pflastersteine auf dem Campus, die Außenwände der Hochschulwohnungen und die Asphaltstraße auf dem Campus analysiert. Bis auf die Asphaltstraße konnte bei allen Baumaterialien Bau-Beton nachgewiesen werden (Construction Concrete). Weitere chemische Zusammensetzungen konnten nicht analysiert werden. Typisch für die spektrale Signatur von Bau-Beton ist, dass es um den Wert 10, von 400 nm bis 1000 nm Wellenlänge, ein konstantes Ergebnis gibt. Es kommt zu keinen Schwankungen. Die Reflexionskurve ist ein horizontaler Strich.

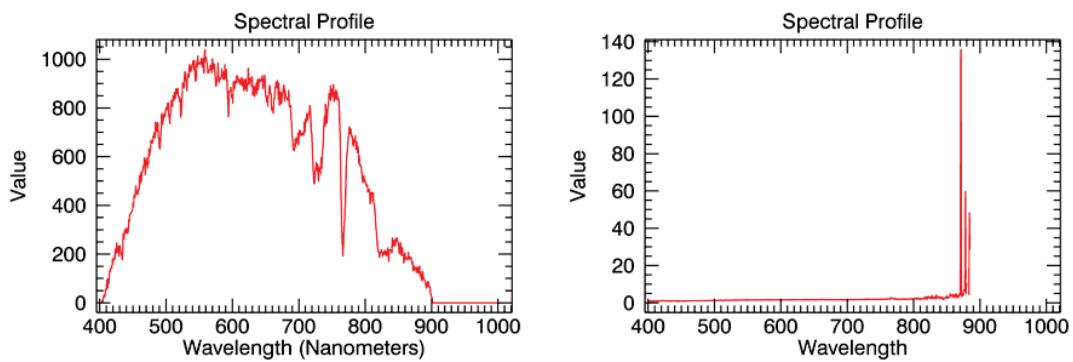


Abbildung 33 Spektrum der Klinker mit und ohne Licht

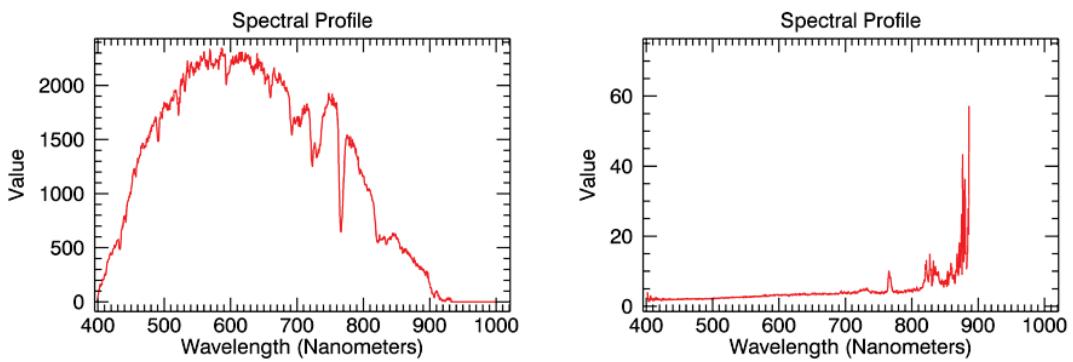


Abbildung 34 Spektrum der gelben Verblendung (Fliesen) mit und ohne Licht

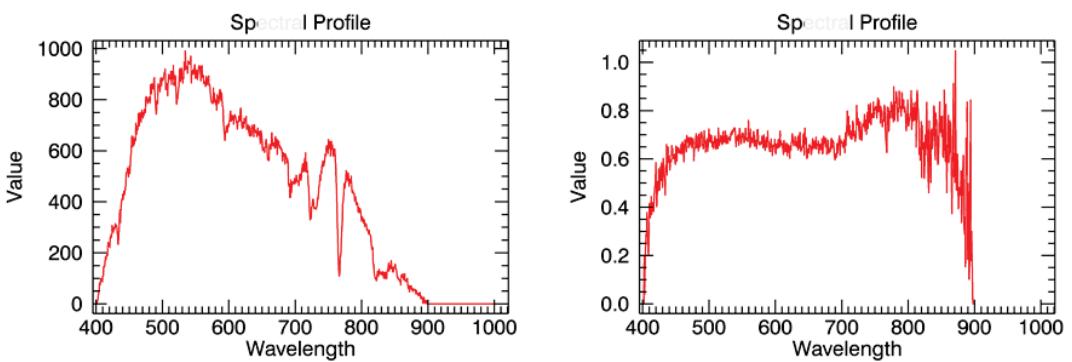


Abbildung 35 Spektrum der Betonwand mit und ohne Licht

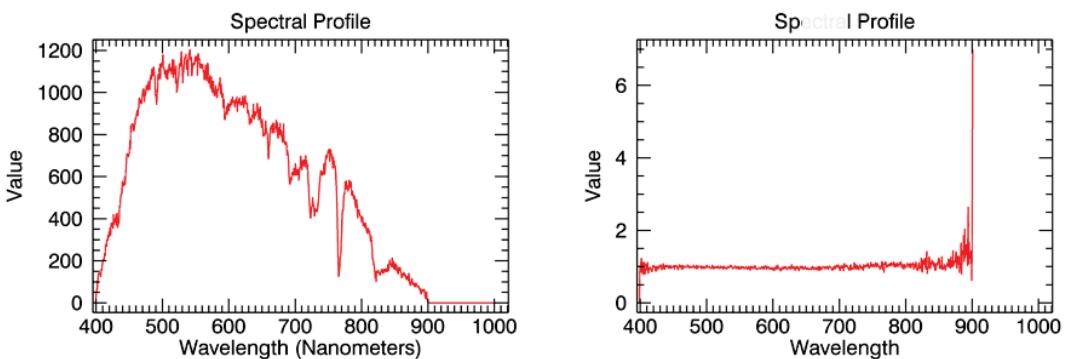


Abbildung 36 Spektrum der Betonsteine (Pflasterstein) mit und ohne Licht

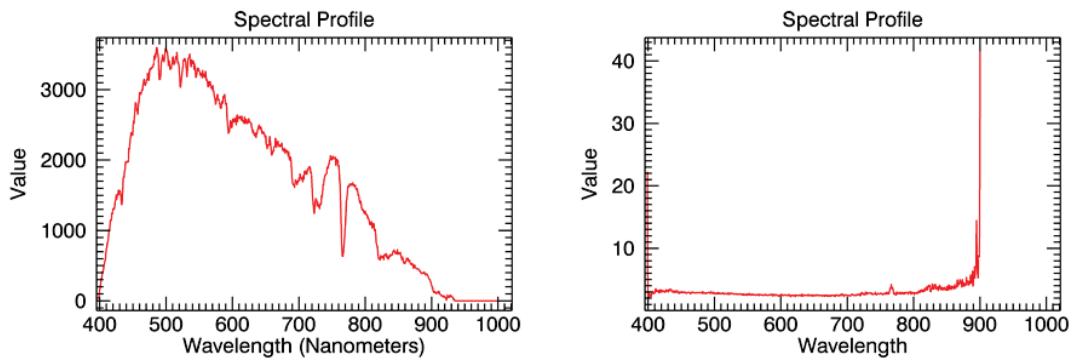


Abbildung 37 Spektrum des Putzes mit und ohne Licht

## 13 Kartografische Darstellung in SketchUp

Kartografie ist ein Bereich der Wissenschaft und der Technik, der sich mit der Darstellung der Oberfläche der Erde in topografischen sowie auch thematisierten Karten beschäftigt. Sie überbringt und veranschaulicht also raumbezogene Daten und Informationen (Geoinformationen) über analoge und digitale Methoden für Medien verschiedenster Art. Zu diesen Medien zählen Karten, aber auch Globen, Panoramen- und Reliefdarstellungen von Geländen sowie moderne Computerprogramme wie ARC-GIS. Diese können mit Hilfe von raumbezogenen Informationen in Form von Grafiken, Filmen, Bildern oder dreidimensionalen Objekten und Modellen interaktiv oder statisch dargestellt werden. Die Kartografie dient vor allem der Darstellung der Erde und der Erdoberfläche, beschäftigt sich aber auch mit Planeten, Monden und weiteren Himmelskörpern. Man unterscheidet hierbei die theoretische Kartografie und die angewandte Kartografie, die sich nochmals in gewerbliche und amtliche Kartografie teilen lässt.

### 13.1 Modellierung des Campus

Bevor die Baumaterialien kartografisch dargestellt werden können, muss zuerst ein dreidimensionales Modell des Campus der Hochschule erzeugt werden. In den nächsten Abschnitten wird auf die Erzeugung von 3D-Modellen im CAD Programm „Sketch Up“ genauer eingegangen.

#### 13.1.2 Gebäudeumrisse

Über *Datei -> Geostandort -> Ort hinzufügen* wird der Campus der Hochschule Neubrandenburg als Satellitenbild hinzugefügt. Mit Hilfe des Linienwerkzeuges werden die Umrisse der einzelnen Gebäude nachgezeichnet.

### 13.1.3 Klötzchenmodell

Nachdem alle Umrisse nachgezeichnet wurden, wird ein Klötzchenmodell im Level of Detail 1 erstellt. Level of Detail 1 heißt, dass die Dachformen vernachlässigt werden. Dachformen werden erst beim Level of Detail 2 dargestellt. Insgesamt gibt es 5 Levels of Detail (LoD). [38]

- LoD 0:** Regionalmodell, 2,5-D-Geländemodell mit Luftbildtextur
- LoD 1:** Klötzchenmodell, Gebäudeblock (Grundfläche hochgezogen)
- LoD 2:** 3D-Modell der Außenhülle, Dachstrukturen und einfache Texturen
- LoD 3:** Architekturmodell, 3D-Modell der Außenhülle mit Textur
- LoD 4:** Innenraummodell, 3D-Modell des Gebäudes mit Etagen, Innenräumen und Texturen

Dies wird mit der Funktion *Drücken/ Ziehen* erstellt. Dazu wird auf ein Gebäude geklickt. Mit gedrückter linker Maustaste wird die Maus nach hinten gezogen. Nun entsteht ein Körper, der eine bestimmte Höhe hat. So wird mit allen anderen Gebäuden verfahren.

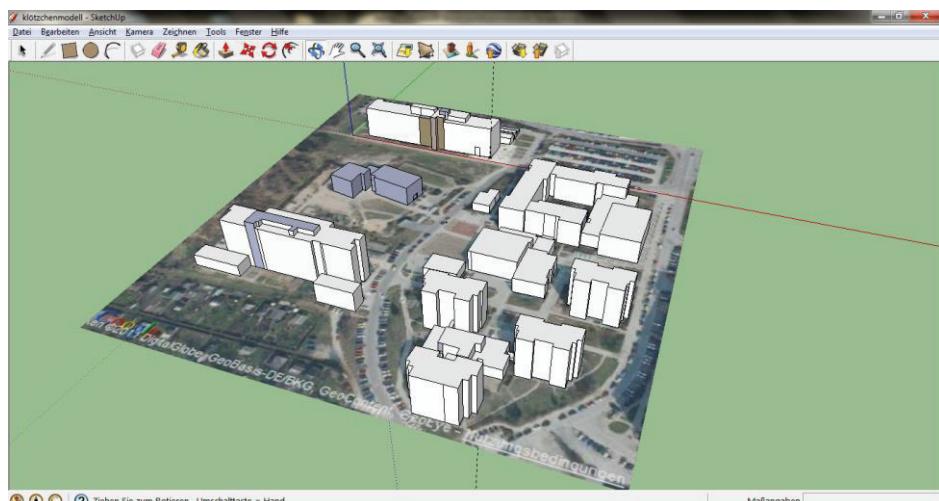


Abbildung 38 Klötzchenmodell Hochschule Neubrandenburg

Alle Maße, wie Höhe, Breite und Länge, wurden aus dem 3D-Modell des Campus der Hochschule entnommen, das in der Modellgalerie von SketchUp frei zum Download zur Verfügung steht.

## 13.2 Kartografische Darstellung

Die kartografische Darstellung befindet sich als Anhang auf der CD-ROM. Es wurden nur die 4 Hauptbestandteile der Hochschule farbig dargestellt. Gebäudeteile an denen keine Untersuchung durchgeführt wurde, wurden nicht weiter verändert. Mit blauer Farbe wurden alle Bereiche die zum Baustoff Fensterglas gehören kartographiert, mit roter Farbe alle Bereiche des Betons, mit grüner Farbe Aluminium und mit schwarzer Farbe Asphalt.

## 14 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass jedes Material auf der Erdoberfläche einen ganz bestimmten spektralen Fingerabdruck besitzt. Im Groben haben ähnliche Materialien auch ähnliche spektrale Eigenschaften. Um diese ähnlichen Materialien genauer unterschieden zu können, ist es notwendig auch ihre sehr kleinen spektralen Unterschiede zu kennen. Um einen exakten Vergleich von vom Menschen geschaffenen Stoffen zu ermöglichen, muss zuerst mit Hilfe von hyperspektralen Kameras eine größere Referenzbibliothek geschaffen werden.

## 15 Glossar

<b>Endmemberspektren</b>	sind Objekte der Fernerkundung, die nur einer Klasse oder Unterklasse zuzuordnen sind [46]
<b>Merkmalsraum</b>	automatische Mustererkennung im Rahmen der künstlichen Intelligenz
<b>Unüberwachte Klassifizierung</b>	es sind keine Klassen vorgegeben, die Klassen müssen aus den Daten erlernt werden
<b>Überwachte Klassifizierung</b>	Mustererkennung bei denen Klassen vorgeben sind
<b>Pixel Vignettierung</b>	Randlichtabfall
<b>Schwarzkörperstrahlung</b>	idealisierte Körper, der auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Wellenlänge vollständig absorbiert
<b>Remote Sensors</b>	Fernerkundungssensor zur Aufnahme von Fernerkundungsbildern

## 16 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Passive und aktive Systeme [16] .....	6
Abbildung 2 Reflexion, Absorption, Streuung .....	7
Abbildung 3 Elektromagnetische Strahlung nach Albertz 2007 .....	8
Abbildung 4 Überblick über die Wellenlängen und den zugehörigen Strahlungen .....	9
Abbildung 5 Farbwahrnehmung des Auges [18] .....	10
Abbildung 6 Das elektromagnetische Spektrum [20].....	10
Abbildung 7 Ausrüstung bestehend aus Kamera, Stativ, PC, Stromerzeuger .....	12
Abbildung 8 Funktionsweise der Hyperspektralkamera .....	12
Abbildung 9 Hyperspektralkamera ohne Gehäuse.....	13
Abbildung 10 Schieberegister [24].....	15
Abbildung 11 Belichtungsphase [24].....	15
Abbildung 12 Übernehmen der Ladungen [24] .....	15
Abbildung 13 Vertikale Verschiebung [24] .....	15
Abbildung 14 Ausleseregister [24] .....	15
Abbildung 15 Programmoberfläche ENVI .....	19
Abbildung 16 Funktionsweise des Spectral Angle Mapper .....	21
Abbildung 17 Programmoberfläche SketchUp .....	22
Abbildung 18 Großer Funktionssatz SketchUp .....	24
Abbildung 19 Dynamische Komponenten in SketchUp .....	24
Abbildung 20 Sandkiste in SketchUp .....	25
Abbildung 21 Standardansichten in SketchUp .....	25
Abbildung 22 Stile in SketchUp .....	25
Abbildung 23 Google-Funktionen in SketchUp .....	25
Abbildung 24 Siemensstern.....	26
Abbildung 25 Siemensstern ohne Korrektur .....	26
Abbildung 26 Siemensstern mit Korrektur.....	26
Abbildung 27 Spektrum des Fensterglases mit und ohne Licht.....	30
Abbildung 28 Vergleich des Spektrums mit dem des Kupfers (Cu) .....	31
Abbildung 29 Vergleich des Spektrums mit dem des Aluminiums (Al) .....	31
Abbildung 30 Auswertung der Fensterrahmen.....	31
Abbildung 31 Spektrum des Betons am Eingang des Haus 1 mit und ohne Licht .....	32
Abbildung 32 Darstellung der Spektren in Binary Encoding .....	32
Abbildung 33 Spektrum der Klinker mit und ohne Licht.....	33
Abbildung 34 Spektrum der gelben Verblendung (Fliesen) mit und ohne Licht .....	33
Abbildung 35 Spektrum der Betonwand mit und ohne Licht.....	33
Abbildung 36 Spektrum der Betonsteine (Pflasterstein) mit und ohne Licht.....	33
Abbildung 37 Spektrum des Putzes mit und ohne Licht .....	34
Abbildung 38 Klötzenmodell Hochschule Neubrandenburg.....	35

## 17 Quellen

### 17.1 Printmedien

- [1] Richards, J.A.; Xiuping, J.(2006): Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. 4<sup>th</sup> edition. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- [2] Albertz J. (2010): Einführung in die Fernerkundung, Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 4. aktualisierte Aufl., Darmstadt.
- [3] Haberäcker, P. (1991): Digitale Bildverarbeitung – Grundlagen und Anwendungen. 4. Aufl., Carl Hanser Verlag, München/Wien.
- [4] Swain P.H.; Davis S.M.(1978): Remote Sensing – The Quantitative Approach. McGraw-Hill, New York.
- [5] Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. (2008): Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons. 6th Edition, New York.
- [6] Gualtieri, J.A.; Crompt, R.F. (1998): Support Vector Machines for Hyperspectral Remote Sensing Classification. 27<sup>th</sup> AIPR Workshop, advances in Computer Assisted Recognition Oct. 14-16, 1998, Washington, DC. Proceedings of the SPIE, Vol. 3584.
- [7] Canty, M.J. (1999): Fernerkundung mit neuronalen Netzen. Expertverlag, Renningen-Malmsheim.
- [8] García-Pedrajas, N.; Hervás-Martínez, C.; Ortiz-Boyer, D. (2005): Cooperative Coevolution of Artificial Neural Network Ensembles for Pattern Classification. IEEE Transactions on evolutionary computation, Vol. 9, No. 3.
- [9] Petropoulos, G.P.; Vadrevu, K.P.; Xanthopoulos, G.; Karantounias, G.; Scholze, M. (2010): A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network

Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping. Sensors, Peterboroug. Vol. 10, Issue 3, 1967-1985.

[10] Wang, F. (1990): Fuzzy supervised classification of remote sensing images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 28, 194-201.

[11] Schowengerdt, R. A. (2007): Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. Academic Press. 3<sup>rd</sup> Edition, London.

[12] Boardman, J.W. (1998): Leveraging the high dimensionality of AVIRIS data for improved subpixel target unmixing and rejection of false positives: Mixture tuned matched filtering. AVIRIS 1998 Proceedings, JPL, California.

[13] Roberts, D.A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R.O. (1998): Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains Using Multiple Endmember Spectral Mixture Models. Remote Sensing of Environment 65, 267-279.

[14] Bachmann, M.; Habermayer, M.; Holzwarth, S.; Richter, R.; Müller, A. (2007): Including Quality Measures in an Automated Processing Chain for Airborne Hyperspectral Data. 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. EARSeL-SIG-IS 2007, Bruges, Belgium.

[15] Heiden, U. (2004): Analyse hyperspektraler Flugzeugscannerdaten zur ökologischen Charakterisierung städtischer Biotope. Dissertation, TU Berlin.

[16] Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Livo, K.E.; Kokaly, R.F.; Sutley, S.J.; Dalton, J.B.; McDougal, R.R.; Gent, C.A. (2003): Earth and Planetary Remote Sensing with the USGS Tetracorder and Expert Systems 2003. Journal of Geophysical Research.

## 17.2 Internet

[17] Irmgard Niemeyer; Technische Universität Freiberg – Fernerkundung I;  
[tu-freiberg.de/fakult3/mage/geomonitoring/teaching/ss2009/slides/fe1\\_ss09\\_2.pdf](http://tu-freiberg.de/fakult3/mage/geomonitoring/teaching/ss2009/slides/fe1_ss09_2.pdf)  
Stand: 28.08.2013

[18] Digital Media for Artists;  
<http://www.dma.ufg.ac.at/assets/16457/intern/auge.jpg>  
Stand: 28.08.2013

[19] Dr. Friedrich Kühn; Nonphotographic Imaging from Aircraft and Space-borne Platforms;  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-74671-3\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-74671-3_5)  
Stand: 28.08.2013

[20] Universität Bielefeld; Funktionsprinzip eines Absorptionsspektrometers;  
<http://www.uni-bielefeld.de/chemie/lehre/basispc/media/Spektrometer/pic/pic1.jpg>  
Stand: 28.08.2013

[21] Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung;  
<http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/26901/>  
Stand: 28.08.2013

[22] M. Bachmann; INCREASING AND EVALUATING THE RELIABILITY OF MULTIPLE  
ENDMEMBER SPECTRAL MIXTURE ANALYSIS (MESMA);  
[www.earsel6th.tau.ac.il/~earsel6/CD/PDF/earsel-PROCEEDINGS/3075\\_Bachmann.pdf](http://www.earsel6th.tau.ac.il/~earsel6/CD/PDF/earsel-PROCEEDINGS/3075_Bachmann.pdf)  
Stand: 28.08.2013

[23] contrat-projekt.de; Mauer Ziegelsteine;  
[www.enius.de/bauen/ziegelsteine.html](http://www.enius.de/bauen/ziegelsteine.html)  
Stand: 28.08.2013

[24] [www.ccd-sensor.de/html/interline\\_transfer.html](http://www.ccd-sensor.de/html/interline_transfer.html)  
Stand: 28.08.2013

[25] [OTOS.docoer-dig.de ;](http://www.fotos.docoer-dig.de/Bildsensoren.htm)  
[www.fotos.docoer-dig.de/Bildsensoren.htm](http://www.fotos.docoer-dig.de/Bildsensoren.htm)  
Stand: 28.08.2013

[26] Dr. Torsten Prinz ; Digitale Fernerkundungsmethodik;  
[http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE\\_Script/2\\_1.html](http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/2_1.html)  
Stand: 28.08.2013

[27] Spectral Imaging Ltd.; Spectral Cameras;  
[http://www.specim.fi/files/pdf/core/datasheets/HS\\_Spectral\\_Camera-v3-11.pdf](http://www.specim.fi/files/pdf/core/datasheets/HS_Spectral_Camera-v3-11.pdf)  
Stand: 28.08.2013

[28] Exelis;  
[www.exelisvis.de/produkte-dienstleistungen-envi.html](http://www.exelisvis.de/produkte-dienstleistungen-envi.html)  
Stand: 28.08.2013

[29] Friedrich Schiller; Universität Jena, Institut für Geographie HpS Angewandte Fernerkundung;  
[www.grin.com/de/e-book/64474/die-bedeutung-der-fernerkundung-in-der-forstwirtschaft](http://www.grin.com/de/e-book/64474/die-bedeutung-der-fernerkundung-in-der-forstwirtschaft)  
Stand: 28.08.2013

[30] DeMarine Umwelt;  
<http://www.demarine-umwelt.de/lr/web/guest/sensorik>  
Stand 28.08.2013

[31] Jörg Albertz, Einführung in die Fernerkundung;  
[www.brandigg.de/buch/Einfuehrung-in-die-Fernerkundung-von-Joerg-Albertz](http://www.brandigg.de/buch/Einfuehrung-in-die-Fernerkundung-von-Joerg-Albertz)  
Stand: 28.08.2013

[32] Lexikon der Fernerkundung;  
[www.fe-lexikon.info/lexikon-c.htm](http://www.fe-lexikon.info/lexikon-c.htm)  
Stand: 28.08.2013

[33] DBpedia;  
[http://dbpedia.org/page/Charge-coupled\\_device](http://dbpedia.org/page/Charge-coupled_device)  
Stand: 28.08.2013

[34] Inforapid Wissensportal;  
<http://de.inforapid.org/index.php?search=Smear>  
Stand: 28.08.2013

[35] Inforapid Wissensportal;  
<http://de.inforapid.org/index.php?search=Zeilenkamera>  
Stand: 28.08.2013

[36] KFZ Multimedia Glossar;  
[http://kfz-multimedia.de/shop\\_content.php?colID=0](http://kfz-multimedia.de/shop_content.php?colID=0)  
Stand: 28.08.2013

[37] National Instruments;

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/de/nid/208265>

Stand: 28.08.2013

[38] Heise online;

<http://www.heise.de/newsticker/meldung/3D-Werkzeug-SketchUp-wechselt-den-Besitzer-1561763.html>

Stand: 28.08.2013

[39] Jürgen Kobusch; Aufbau eines 3D-Stadtmodells;

[http://geo.infokom-gt.de/wiki/images/6/63/3D\\_Stadtmodell.pdf](http://geo.infokom-gt.de/wiki/images/6/63/3D_Stadtmodell.pdf)

Stand: 28.08.2013

[40] Detlef Ridder; Google SketchUp 8;

[www.beck-shop.de/fachbuch/leseprobe/9783826691331\\_Excerpt\\_001.pdf](http://www.beck-shop.de/fachbuch/leseprobe/9783826691331_Excerpt_001.pdf)

Stand: 28.08.2013

[41] Klaus Bäätjer; Ziegeleierzeugnisse mit einem Gehalt an Hafenton;

[www.patent-de.com/19920730/DE4102159A1.html](http://www.patent-de.com/19920730/DE4102159A1.html)

Stand: 28.08.2013

[42] Dr. Torsten Prinz ; Digitale Fernerkundungsmethodik;

[http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE\\_Script/2\\_1.html](http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/2_1.html)

Stand: 28.08.2013

[43] Universität Trier, Einführung in die Fernerkundung;

<http://fern39.uni-trier.de/Feut/studium/fe1/FE1-03-Reflexionscharakteristika.pdf>

Stand: 28.08.2013

[44] Kleines Lexikon der Fernerkundung;

[www.enso.info/fe-lexikon/lexikon.html](http://www.enso.info/fe-lexikon/lexikon.html)

Stand: 28.08.2013

[45] Vision Doctor; Wechselwirkungen an der Oberfläche;

<http://www.vision-doctor.de/einfluss-pruefkoerper/oberflaeche-wechselwirkungen.html>

Stand: 28.08.2013

[46] Erik Borg; Erzeugung von Endmember-Spektren;  
<http://www.patent-de.com/20081030/DE102007020233A1.html>  
Stand: 20.08.2013

[47] Die online Industriemesse; Exelis;  
[www.directindustry.de/prod/itt-visual-in...ons/bildanalyse-software-6229-30180.html](http://www.directindustry.de/prod/itt-visual-in...ons/bildanalyse-software-6229-30180.html)  
Stand: 28.08.2013

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, die vorliegende Bachelorarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden.

Neubrandenburg, den 09. September 2013

Eric Klingelhöfer