



Classification and change analysis of vegetation species in the Kafue Flats, Zambia

Masterprojektarbeit FS2009

Felix Rohrbach

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Photogrammetry
pf
Remote Sensing

Classification and change analysis of vegetation species in the Kafue Flats, Zambia

Masterprojektarbeit im Studiengang Geomatik und Planung BSc
Frühjahrssemester 2009

Autor:

Felix Rohrbach
Hohrainlistrasse 19
8302 Kloten

felixroh@ethz.ch
+41 79 776 4947

Leitung:

Prof. Dr. Armin Grün

Betreuung:

Martin Sauerbier

ETH Zürich
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Professur für Photogrammetrie und Fernerkundung – Prof. Dr. A. Grün
Wolfgang-Pauli-Str. 15
8093 Zürich

Vorwort

Dieser Bericht ist Teil der Masterprojektarbeit „Classification and change analysis of vegetation species in the Kafue Flats, Zambia“. Die Masterprojektarbeit bildet einen Teil des Masterstudiengangs „Geomatik und Planung“ an der ETH Zürich. Die Arbeit entstand im Frühlingssemester 2009 am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Grün. Das Institut gehört zum Departement BAUG (Bau, Umwelt und Geomatik) der ETH Zürich.

Danksagung:

- Prof. Dr. Armin Grün für das Ermöglichen dieser Arbeit
- Martin Sauerbier für die Betreuung
- Allen anderen Personen die mich bei der Arbeit unterstützt haben

Der Verfasser

Zürich, 29. Mai 2009

Felix Rohrbach

Zusammenfassung

Dieser Bericht dient der Dokumentation der Masterprojektarbeit mit dem Thema „Classification and change analysis of vegetation species in the Kafue Flats, Zambia“.

Er hält das Vorgehen, die Erkenntnisse sowie auch die Erfahrungen fest, welche während der Arbeit gewonnen wurde.

Die Kafue Ebene erstreckt sich im Südwesten von Sambia zwischen dem Itezhi-tezhi Staudamm und der Kafue Schlucht. Auf Grund von Überflutungen und Termitenfrass befindet sich die Vegetation in ständigem Wandel. Zusätzlich beeinflusste der Bau des Damms die Vegetation.

Damit diese verschiedenen Veränderungen im Verlauf der Zeit beobachtet werden können, soll während dieser Arbeit versucht werden mit einfachen Mitteln Vegetationskarten des Gebietes zu erstellen.

Diese Vegetationskarten werden mit Hilfe von Satellitenbildern erstellt, als Softwarepaket wurde IDRISI Andes von Clark Labs verwendet, welches eine umfangreiche Palette an Funktionen zur Klassifizierung enthält.

Abstract

This report serves as a documentation for the master project thesis “Classification and change analysis of vegetation species in the Kafue Flats, Zambia “.

It shows the procedure, the cognitions as well as the experiences made during the process.

The Kafue Flats are located in the south-west of Zambia, between the Ithezi-thezi dam and the Kafue gorge. The vegetation in this area is mainly influenced by floodings of the river and destruction by termites. In addition to these natural influences, the construction of the dam led to a change in vegetation cover.

The present study aims at the extraction of vegetations maps using Landsat imagery over a long time period. Time series are analysed to derive the behaviour of nature over several years.

Clark Labs’ IDRISI Andes software package was used as offering a wide range of tools and functions for classification.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Zusammenfassung	iv
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit	1
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Landsat	2
2.2 Vegetationsindizes	2
2.2.1 Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI).....	3
2.2.2 Weitere Indizes.....	3
2.3 Klassifizierung.....	3
2.3.1 Hard Classifier	3
2.3.2 Soft Classifier	4
3 Daten	6
3.1 Gebiet	6
3.2 Sensorwahl	7
3.3 Bildmaterial	7
3.4 NDVI	10
3.5 Ground Truth.....	10
4 Klassifizierung	12

4.1	Definition der Testgebiete	12
4.1.1	Vorgehen.....	12
4.1.2	Auswahl der Testgebiete.....	13
4.2	Resultate.....	15
4.2.1	Maximum Likelihood Methode.....	15
4.2.2	Bayclass	16
4.2.3	Belclass	18
5	Change detection	19
5.1	Vorbereitungen	19
5.2	Land Change Modeller.....	19
5.3	Principal Component Analysis	20
6	Diskussion	23
7	Glossar	24
8	Quellenverzeichnis	25
9	Anhang	27
9.1	Komplette Bilderübersicht.....	27
9.2	Aufgabenstellung	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spektralinformationen zu Landsat 4/5 TM.....	2
Abbildung 2: Übersicht der Kafue Ebene ⁽⁹⁾	6
Abbildung 3: USGS Global Visualization Viewer.....	8
Abbildung 4: Gewählte Bilder (Komplette Bildübersicht in Kapitel 9.1)	9
Abbildung 5: Geliefertes Bildmaterial	9
Abbildung 6: Histogramm des generierten NDVI (1. Oktober 1984)	10
Abbildung 7: Erfasste Testgebiete	15
Abbildung 8: Maximum Likelihood Methode.....	15
Abbildung 9: Einstellungen Maximum Likelihood Methode	16
Abbildung 10: Bayclass Klassifizierung	16
Abbildung 11: Ausschnitt des Unsicherheitsbildes	17
Abbildung 12: Belclass Klassifizierung.....	18
Abbildung 13: Belief-Bild der Belclass-Methode	18
Abbildung 14: Änderungen der Wasserflächen (grün = Zunahme / rot = Abnahme).....	20
Abbildung 15: Hauptkomponentenanalyse im Jahr 1986.....	21
Abbildung 16: Übersicht der einzelnen Loadings	22
Abbildung 17: Varianzen der Komponentenbilder	22
Abbildung 18: Komplette Bildübersicht.....	27

1 Einleitung

Im Südwesten von Sambia erstreckt sich die 6500 km² grosse Kafue Ebene. Auch wenn das Tal nur einen kleinen Teil der Gesamtfläche des Landes darstellt, lebt beinahe die Hälfte der Einwohner in diesem Gebiet. Durch zahlreiche Überschwemmungen bewirkt der Kafue Fluss, dass das Gebiet durch Feuchtgebiete und Überschwemmungsbereiche bestimmt wird. Da das Tal mit einer Neigung von nur 5cm/km sehr flach ist, wird es regelmässig überschwemmt und die Pflanzenwelt dementsprechend beeinflusst. ⁽¹⁾ Die Fauna des Tales ist jedoch von sehr grossem Interesse für Naturschützer und Forscher. Daher wird nun eine einfache Möglichkeit gesucht den aktuellen Stand der Vegetation zu kartieren. Satellitenbilder, welche das gesamte Tal in nur wenigen Aufnahmen darstellen, bieten die dafür benötigten Informationen.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, mit möglichst einfachen Mitteln eine Vegetationskarte der Kafue Ebene zu generieren. Zusätzlich soll der Verlauf der einzelnen Gebiete über einen längeren Zeitraum untersucht werden.

Für die Auswertung wird IDRISI Andes von Clark Labs verwendet, welches schon während den Vorlesungen als mächtiges Werkzeug zur Klassifizierung von Bildern demonstriert wurde.

1.2 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn möchte ich auf die theoretischen Grundlagen eingehen und auch ein paar Merkmale der Landsat Satelliten 4/5 darstellen. Danach werden die Daten präsentiert, welche zur Verfügung standen. Bevor dann schliesslich die Resultate diskutiert werden, werden die einzelnen Klassifizierungen ausgewertet, welche verwendet wurden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Landsat

Landsat ist eine Reihe von Erdbeobachtungssatelliten, welche hauptsächlich der Fernerkundung dienen. Ihre Hauptaufgabe besteht in der Kartierung von Vegetation, Gewässer und anderen natürlichen Ressourcen. Zu diesem Zweck befinden sich je nach Baureihe verschiedene Sensoren an Bord, welche das gesamte elektromagnetische Spektrum abdecken.

Bei den für diese Arbeit verwendeten Bildern handelt es sich um Landsat 4/5 TM Bilder, welche wie alle anderen archivierten Landsat Szenen seit dem 21. April 2008 kostenlos vom U.S. Geological Survey (USGS) zur Verfügung gestellt werden ⁽²⁾. Die Bilder bestehen aus sieben Kanälen, wobei sechs Kanäle im spektralen (0.45-2.35 μm) und einer im thermalen Bereich (10.4-12.5 μm) liegen ^{(3) (4)}.

Band	Untere Grenze (μm)	Obere Grenze (μm)	Name
1	0.45	0.52	Blau-Grün
2	0.52	0.60	Grün
3	0.63	0.69	Rot
4	0.76	0.90	Nahes Infrarot
5	1.55	1.75	Mittleres Infrarot
6	10.4	12.5	Thermalkanal
7	2.08	2.35	Mittleres Infrarot

Abbildung 1: Spektralinformationen zu Landsat 4/5 TM

2.2 Vegetationsindizes

Vegetationsindizes werden zur Analyse der Bodenoberfläche in Satelliten- und Luftbildern verwendet. Meist bestehen diese aus einer Kombination der Informationen des roten und des infraroten Spektralbereiches. Grund dafür ist das Chlorophyll, welches im Infrarotbereich ungefähr sechsmal stärker reflektiert wird als im sichtbaren Bereich, sowie der dadurch entstehende starke Anstieg zwischen diesen Bereichen im Reflektionsgrad ⁽⁵⁾.

2.2.1 Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI)

Dieser Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI) ist der gebräuchteste zur Bestimmung von Vegetation. Er leitet sich aus dem Ratio Vegetation Index (RVI) ab, welcher von Jordan 1969 ⁽⁶⁾ beschrieben wurde. Beide Indizes verwenden dabei die Differenz zwischen den Informationen Infrarot und Rot. Der Vorteil des NDVI liegt in der Normalisierung, welche den Wertebereich auf -1 bis 1 limitiert.

Der NDVI berechnet sich folgendermassen ⁽⁷⁾:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

2.2.2 Weitere Indizes

Zusätzlich zum NDVI gibt es noch viele weitere Indizes, welche jeweils noch zusätzliche Informationen einbinden und teilweise auch versuchen, die atmosphärischen Einflüsse in Satellitenbildern zu eliminieren ⁽⁵⁾. Für die Auswertung der Daten dieser Arbeit wird jedoch nur der oben erwähnte NDVI verwendet.

2.3 Klassifizierung

Die Klassifizierung versucht, mittels verschiedener Algorithmen die Satellitenbilder in verschiedene Klassen aufzuteilen. Die dazu verwendeten Methoden werden von IDRISI in Hard- und Soft-Classifizierung eingeteilt.

Für die vorliegende Arbeit wurden nur Classifier verwendet, welche Testgebiete zur Definition der einzelnen Klasseneigenschaften verwenden.

2.3.1 Hard Classifier

Als Hard Classifier werden grundsätzlich alle Methoden bezeichnet, welche jedes Pixel genau einer Klasse zuordnen. Viele der klassischen Funktionen wie z.B. ISODATA, KMeans, und auch die für diese Arbeit verwendete Maximum Likelihood Methode wurden unter dieser Annahme programmiert und fallen in diese Kategorie.

Maximum Likelihood

Die Maximum Likelihood Methode (MLM) weist jedem Bildpunkt die Klasse mit der grössten Wahrscheinlichkeit zu. Dabei werden für jedes erfasste Testgebiet die statistische Werte wie Varianz, Kovarianz und Mittelwerte in allen verwendeten Bändern berechnet. Anschliessend werden diese mit den spektralen Werten der einzelnen Pixel verglichen und so die Übereinstimmungswahrscheinlichkeit berechnet.

2.3.2 Soft Classifier

Die Tatsache, dass ein Bildpunkt nur einer Klasse angehören kann, ist vor allem bei grossen Bodenpixeln nicht realitätsnah. So können auf der Fläche eines Pixels durchaus auch mehrere Klassen vorhanden sein. Nach dieser Annahme berechnen Methoden der Soft Classifier für jede Klasse ein eigenes Wahrscheinlichkeitsbild. Es wird so die Zugehörigkeit eines Pixels nicht nur für eine, sondern für jede Klasse dargestellt. ⁽⁸⁾ In dieser Arbeit werden die während den Vorlesungen vorgestellten Funktionen Bayclass und Belclass verwendet.

Bayclass

Basierend auf der Annahme, dass alle im Bild vorkommenden Klassen in den Referenzgebieten vorkommen, wird für jede Klasse ein Wahrscheinlichkeitsbild erstellt. Dieses zeigt für jeden Bildpunkt die zugehörige Wahrscheinlichkeit zu der entsprechenden Klasse.

Zusätzlich wird ein weiteres Bild generiert, welches Auskunft darüber gibt, wie stark sich Klassen in einem Pixel konkurrieren. Dieses Bild der Unsicherheiten kann verwendet werden, Problembereiche zu detektieren.

Diese Funktion vergleicht jedoch nur die Wahrscheinlichkeitswerte zwischen den einzelnen Klassen. Es kann daher vorkommen, dass ein Bildpunkt einer Klasse zugeteilt wird, in welcher er eine kleine Wahrscheinlichkeit hat, falls die restlichen Klassen eine noch kleinere Zugehörigkeiten aufweisen. ⁽⁸⁾

Belclass

Sind die Vorkenntnisse im zu untersuchenden Gebiet gering, kann durchaus der Fall eintreten, dass für gewisse Gebiete das entsprechende Testgebiet nicht definiert wurde. Während bei Bayclass solche Gebiete einfach der Klasse mit der höchsten Wahrscheinlichkeit zugeteilt werden, wird dies in der Funktion Belclass berücksichtigt.

Zusätzlich zu den Wahrscheinlichkeiten, welche auch bei Bayclass generiert wurden, wird eine Bild erstellt, welche das Vertrauen in die Klassifizierung darstellt. Ist die Wahrscheinlichkeit einer Klassenzuordnung hoch, und die Wahrscheinlichkeit der anderen Klassen alle tief, führt dies zu einem hohen Vertrauenswert, dass diese Zuordnung auch korrekt ist. Ist der absolute Wert dieser Zuordnung tief, führt dies zu einem tieferen Vertrauenswert, auch wenn diese Klasse im Vergleich die höchste Wahrscheinlichkeit hat. Die Methode geht hierbei davon aus, dass das Pixel zu einer Klasse gehört, welche nicht in den Testgebieten definiert wurde. ⁽⁸⁾

Mit Hilfe der Belclass Methode kann somit überprüft werden, ob die Definition eines Testgebietes vergessen wurde.

3 Daten

3.1 Gebiet

Das Gebiet, welches für diese Projektarbeit untersucht werden soll, befindet sich im Südwesten von Sambia. Entlang des Kafue Flusses erstreckt sich zwischen Itezhi-tezhi Damm und der Kafue Schlucht ein 200 km langes Tal mit nur 8 m Höhenunterschied: die Kafue Ebene.

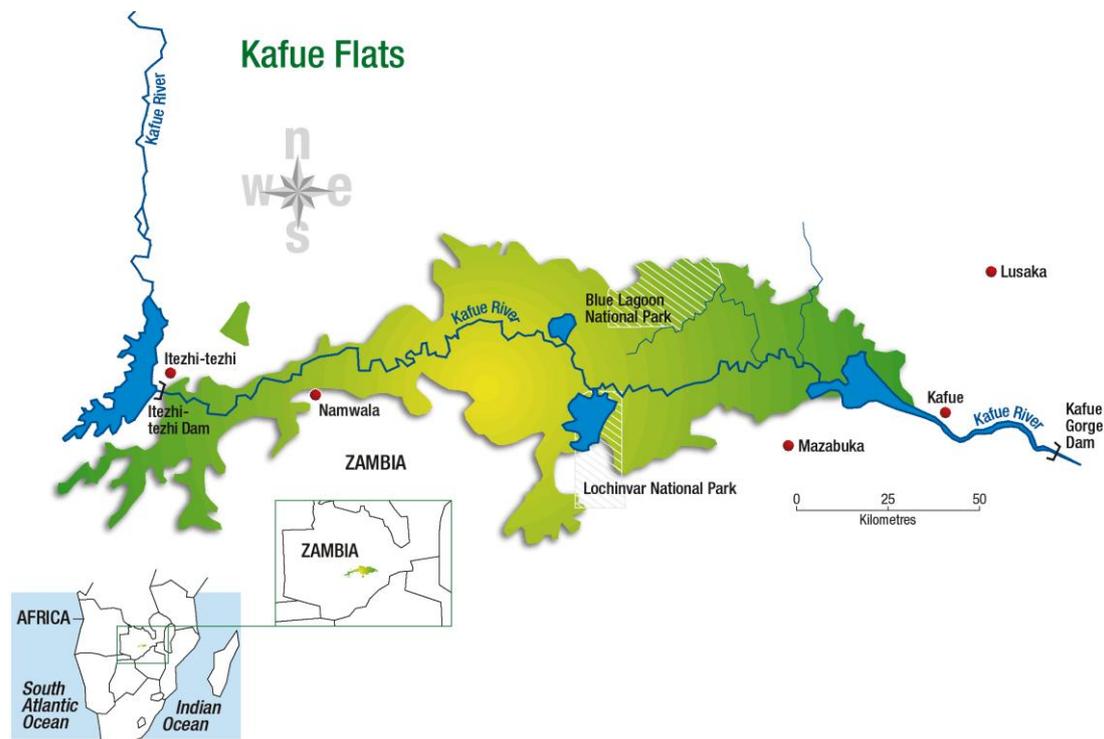


Abbildung 2: Übersicht der Kafue Ebene ⁽⁹⁾

Auf Grund von Überflutungen und Termitenfrass befindet sich die Vegetation in ständigem Wandel. Auch der zwischen 1974 und 1976 errichtete Staudamm beeinflusst zusätzlich die Natur. Zur Beobachtung dieser Veränderungen werden Vegetationskarten benötigt, welche die Standorte der einzelnen Pflanzenarten im Verlauf der Zeit darstellen. Sind diese einmal vorhanden, können sie auch zu weiteren Zwecken, wie z.B. in der Hydraulik zur besseren Modellierung von Hochwasserszenarien, verwendet werden.

3.2 Sensorwahl

Da innerhalb des Zeitraums, welcher zur Bearbeitung dieser Arbeit zur Verfügung stand, keine neuen Bilder erfasst werden konnten, musste auf vorhandenes Bildmaterial zurückgegriffen werden.

Die Entscheidungsfaktoren, welche bei der Sensorwahl berücksichtigt wurden, sollen hier kurz erläutert werden.

Zeitraum

1976 wurde der Itezhi-tezhi Damm am oberen Ende der Kafue Ebene fertiggestellt. Da ein solches Bauwerk auch immer einen grossen Einfluss auf die umgebende Natur darstellt, ist es von grossem Interesse in einer Langzeitanalyse zu beobachten, wie sich die Vegetation an diese neuen Bedingungen angepasst hat.

Periodizität

Damit sich die Änderungen der Vegetation auch über einen längeren Zeitraum beobachten lassen, ist es notwendig, dass die Bilder in einem regelmässigen Abstand vorhanden sind. Interessant sind hier nicht nur Beobachtungen im Jahresrhythmus, sondern auch die Änderungen der Pflanzenwelt von Monat zu Monat.

Preis

Für diese Projektarbeit wurde die Auswahl auf frei verfügbare Bilder eingeschränkt.

Aufgrund dieser Kriterien wurde Landsat als Sensor ausgewählt. Diese Satelliten operieren schon seit 1972, hauptsächlich zur Kartierung der Bodenbeschaffenheiten. Zudem wurden am 21. April 2008 die Archive für die Öffentlichkeit geöffnet, so dass sie nun jedermann frei zur Verfügung stehen⁽²⁾.

3.3 Bildmaterial

Auf Grund der grossen Ausdehnung des Tales werden zur kompletten Abdeckung des Gebietes zwei Satellitenbilder benötigt. Damit das gesamte Tal

untersucht werden kann, muss bei der Bildauswahl darauf geachtet werden, dass die entsprechenden Bildpaare gemeinsam vorhanden sind.

Verfügbare Daten

Die United States Geological Survey (USGS) bietet auf ihrer Internetseite den Global Visualization Viewer ⁽¹⁰⁾ an. Mit Hilfe dieser Anwendung lassen sich die zur Verfügung stehenden Bilder betrachten. In der Sammlung des USGS befinden sich neben Aufnahmen von ASTER, Modis und Terralook auch Bilder der Landsat Reihe, welche für die vorliegende Untersuchung verwendet wurde.

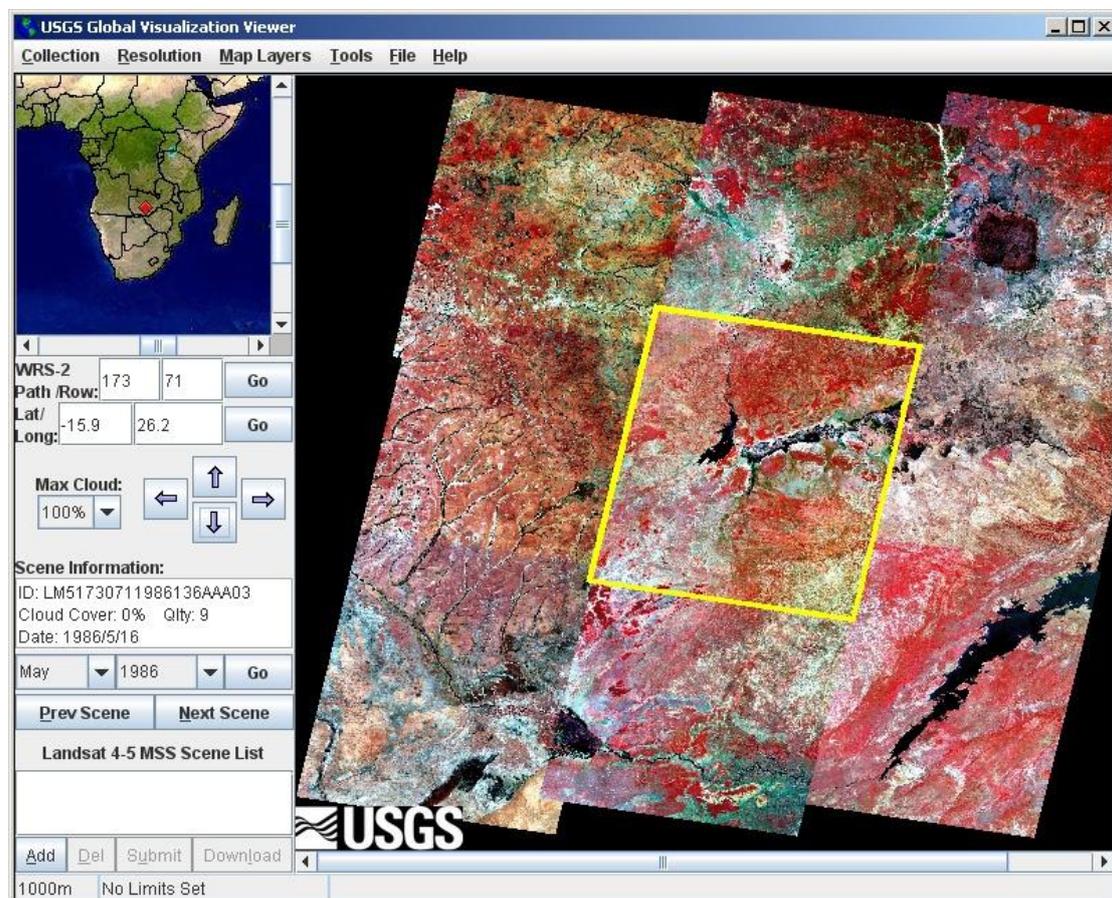


Abbildung 3: USGS Global Visualization Viewer

Mit Hilfe der Vorschaufunktion besteht die Möglichkeit, die Bilder bereits vorab visuell auf Sensorfehler oder starke Verdeckungen wie z.B. durch Wolken zu untersuchen. Solche Aufnahmen können nicht verwendet werden, da diese die Klassifizierung beeinflussen.

Selektion der verwendeten Bilder

Schon nach der ersten Durchsicht im Global Visualization Viewer hat sich die Anzahl möglicher Bilder drastisch verringert. So gibt es zeitweise Jahre, in welchen kein einziges Bild des Gebietes aufgenommen wurde.

Innerhalb der verbleibenden Daten wurde nun eine möglichst lückenlose Datenreihe während eines Jahres sowie auch über mehrere Jahre gesucht. Die Aufteilung des Tales erschwerte diese Aufgabe zusätzlich, da somit immer auch die Verfügbarkeit des Nachbarbildes abgeklärt werden musste.

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der gewählten Bilder (grün = wolkenfrei und gute Qualität / gelb = einzelne Wolken vorhanden, jedoch nicht über der Kafue Ebene):

Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1984										grün		
1986				grün	gelb	grün						
1992										gelb		
1994										gelb		
1999										grün		
2000										grün		
2001										grün		
2002										grün		

Abbildung 4: Gewählte Bilder (Komplette Bildübersicht in Kapitel 9.1)

Sowohl das Jahr 1986 als auch der Monat Oktober weisen eine hohe Anzahl vorhandener Bildpaare auf.

Da leider nicht alle bestellten Bilder innerhalb der erforderlichen Frist geliefert wurden, konnte schliesslich nur mit folgenden Daten gearbeitet werden:

Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1984										grün		
1986				grün	grün	grün				grün		grün
1992										gelb		
1994										gelb		

Abbildung 5: Geliefertes Bildmaterial

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sich die zur Verfügung stehenden Daten nochmals stark reduziert haben, und insbesondere die Zeitreihe über die verschiedenen Jahre nur noch wenige Bilder enthält.

3.4 NDVI

Da in erster Linie die Pflanzenpopulation von Interesse ist, macht es Sinn, aus den gelieferten Spektralinformationen einen Vegetationsindex als weitere Informationsquelle zu generieren. Hierfür wurde die in IDRISI implementierte Funktion VegIndex mit den entsprechenden Landsat-Kanälen 3 und 4 verwendet.

Das so generierte Bild wurde zusammen mit den anderen Bändern in eine neue Rastergruppe zusammengeführt. Dies vereinfacht die Dateiverwaltung in IDRISI.

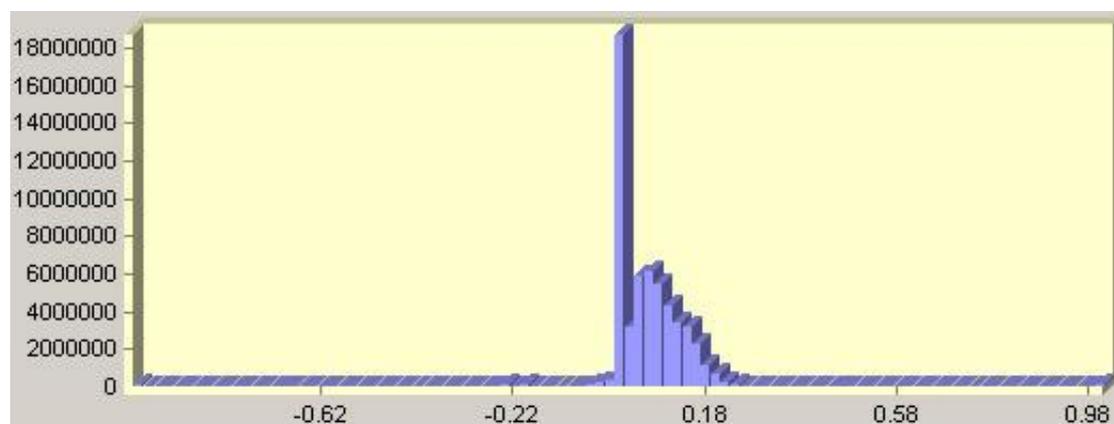


Abbildung 6: Histogramm des generierten NDVI (1. Oktober 1984)

Aus dem Bild lässt sich beispielsweise herauslesen, dass der Peak im Histogramm die Pixel der Seeoberfläche darstellen, da nur diese eine so grosse Fläche mit dem entsprechenden Wert aufweist.

3.5 Ground Truth

Als Grundlage für die Ground Truth¹ standen Vegetationskarten des Lochinvar National Park^{(11), (12)} zur Verfügung, welche 1977 aus Luftbildern erstellt wurden. Da jedoch zum Zeitpunkt der Datenaufnahme kein entsprechendes Satellitenbild dieses Gebietes vorhanden war, konnten die Referenzdaten für diese Arbeit nicht verwendet werden. Die Übersicht der verwendeten Klassen verschaffte jedoch einen Eindruck über die Beschaffenheit des Gebietes und half bei der Definition der verwendeten Testgebiete.

¹ Ground Truth = Referenzdaten

4 Klassifizierung

Da keine Daten als Ground Truth vorliegen, welche für die Klassifizierung verwendet werden können, kann nun entweder auf die sogenannten unüberwachten Methoden zurückgegriffen werden, oder es wird versucht für die überwachte Methode Testgebiete zu definieren.

Da die überwachten Methoden grundsätzlich bessere Resultate liefern als die unüberwachten, soll für diese Arbeit die zweite Variante verwendet werden.

4.1 Definition der Testgebiete

4.1.1 Vorgehen

Da nicht nur ein Bild klassifiziert wird sondern eine gesamte Zeitreihe, müssen die Testgebiete dementsprechend definiert werden. Mehrere Vorgehensweisen wurden getestet, wobei jede Vor- und Nachteile besitzt, welche nachfolgend erläutert werden.

Gleiche räumliche Testgebiete

Für jede Klasse wird ein Referenzgebiet in einem Bild definiert. Aus den enthaltenen Bildpunkten werden in jedem Bild die spektralen Eigenschaften berechnet. Da so für jede Klasse nur einmal ein Gebiet erfasst werden muss, ist diese Variante sehr zeitsparend.

Da sich die Vegetation innerhalb der definierten Gebiete über die Zeit verändern kann, beeinflusst dies auch die Signaturen, welche daraus generiert werden. Auch Wolken, welche sich über der Fläche befinden, beeinflussen die spektralen Eigenschaften der Klassen.

Gleiche Signatur

Aus einem Testgebiet wird in einem Bild eine Signatur generiert, welche anschliessend auch für die Klassifizierung aller anderen Bilder verwendet wird.

Da sich die einzelnen Bilder in ihrem spektralen Umfang sehr unterscheiden, ergeben Klassifizierungen mit der gleichen Signatur nicht die gewünschten Resultate. Dies betrifft vor allem auch Aufnahmen, welche teilweise durch

Wolken verdeckt sind und dadurch einen veränderten Spektralumfang besitzen.

Individuelle Testgebiete

Damit die Signaturen am Besten zum spektralen Umfang der Bilder passt, wird für jede Klasse ein eigenes Testgebiet definiert. Gleichzeitig werden so die Signaturen an die veränderten Rückstrahleigenschaften aufgrund der unterschiedlichen Jahreszeiten angepasst. Zudem werden die Einflüsse von Wolkenverdeckungen auf ein Minimum reduziert. All diese Eigenschaften führen schliesslich zu plausibleren Resultaten in der Klassifizierung.

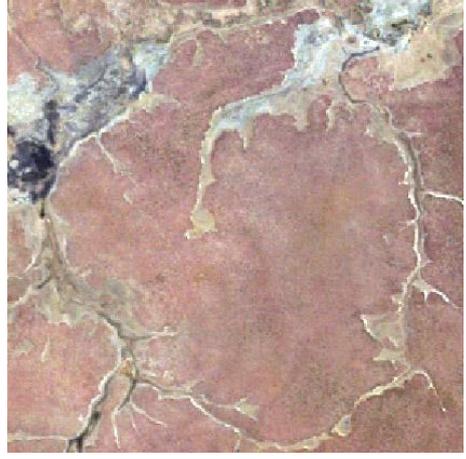
Da die Testgebiete jedoch nur nach visuellen Kriterien erstellt werden, ist es jedoch möglich, dass die Signaturen von unterschiedlichen Bildern nicht genau die gleiche Vegetation beschreibt. Dies kann wiederum zu Fehlklassierungen führen.

4.1.2 Auswahl der Testgebiete

Für die Definition der Testgebiete wurden Flächen mit homogenem Erscheinungsbild gesucht. Verwendet wurde hierfür das erste verfügbare Satellitenbild mit dem Aufnahmedatum 1. Oktober 1984. Aufgrund der fehlenden Ground Truth ist die Bodenbeschaffenheit zum Aufnahmezeitpunkt nicht bekannt. Deshalb kann lediglich eine persönliche Einschätzung über den Inhalt dieser Testgebiete abgegeben werden.

Folgende Vegetationsbereiche wurden für die Ground Truth definiert:

	<p>Dunkle Vegetation (dVeg)</p> <p>Dunkle Vegetation im Bereich einer Fluss-schlaufe. Wahrscheinlich gut bewässert, vielleicht sogar Überschwemmungsgebiet.</p>
---	--

	<p>Dunkler Grund (dGrd) Violett-bläulicher Boden</p>
	<p>Heller Grund 1 (hGrd 1) Helle Bodenfläche in einer Flussschleufe, möglicherweise sandiger, trockener Grund.</p>
	<p>Heller Grund 2 (hGrd 2) Braun-rötlicher Grund, welcher vielleicht rötliche Pflanzen oder Sand darstellt.</p>

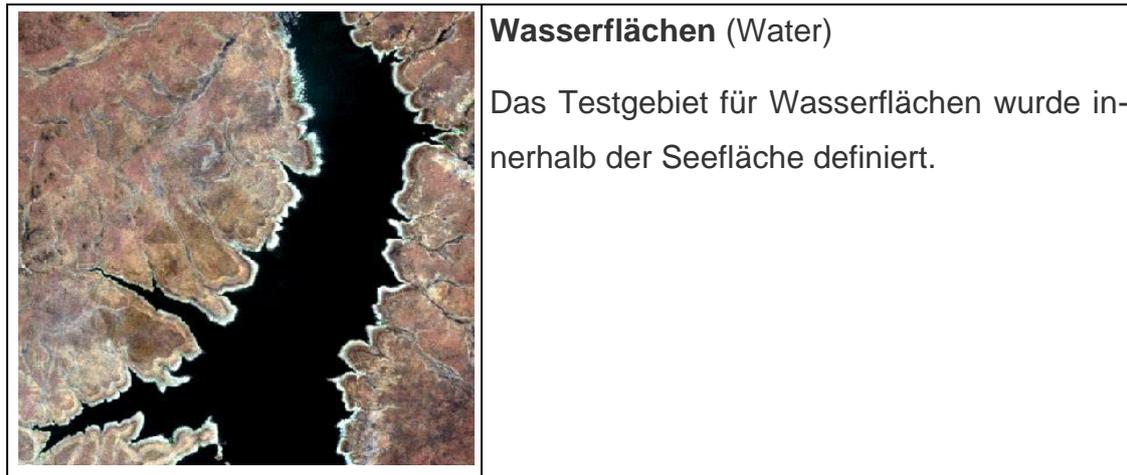


Abbildung 7: Erfasste Testgebiete

Mit Hilfe der definierten Testgebiete wurde für jedes Bild und jede Klasse eine entsprechende Signatur erstellt. Diese Datei enthält unter anderem die Statistikwerte wie Standardabweichung und Maximum- und Minimumwert der einzelnen Bänder.

4.2 Resultate

In folgendem Kapitel sollen die Resultate der einzelnen Klassifikationen dargestellt und analysiert werden.

4.2.1 Maximum Likelihood Methode

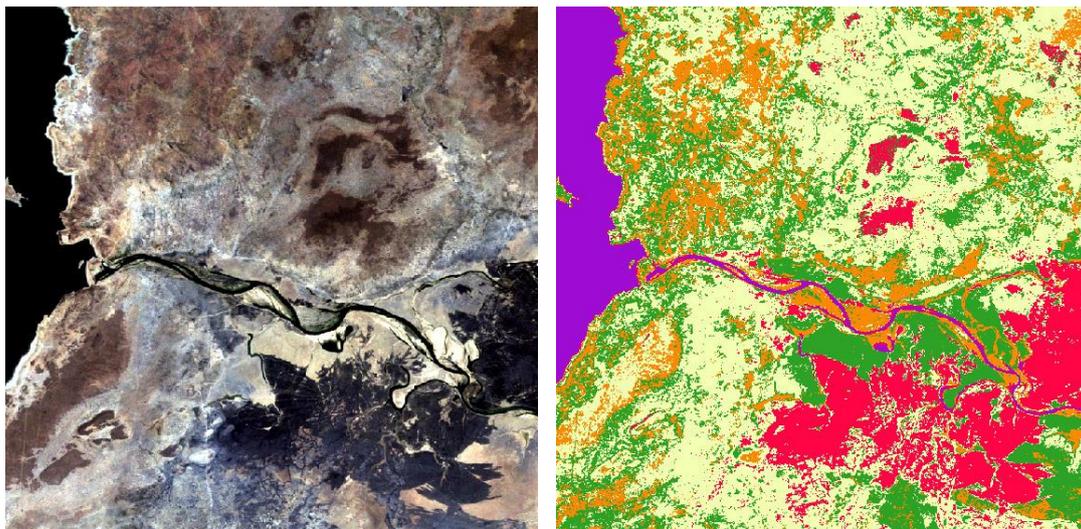


Abbildung 8: Maximum Likelihood Methode

Die einfachste der verwendeten Methoden, die Maximum Likelihood Methode, lieferte mit den verwendeten Signaturdateien schon beachtliche Ergebnisse.

Es ist deutlich eine Übereinstimmung zwischen dem Originalbild und der Klassifikation zu sehen. Dennoch ist es schwierig, die Korrektheit der einzelnen Klassen zu kontrollieren, da keine Ground Truth vorhanden ist.

Für die Einstellungsparameter wurden als Apriori-Werte gleiche Wahrscheinlichkeiten verwendet. Sind weitere Kenntnisse über das untersuchte Gebiet vorhanden, könnten diese Parameter angepasst werden, was wiederum zu besseren Resultaten führen würde.

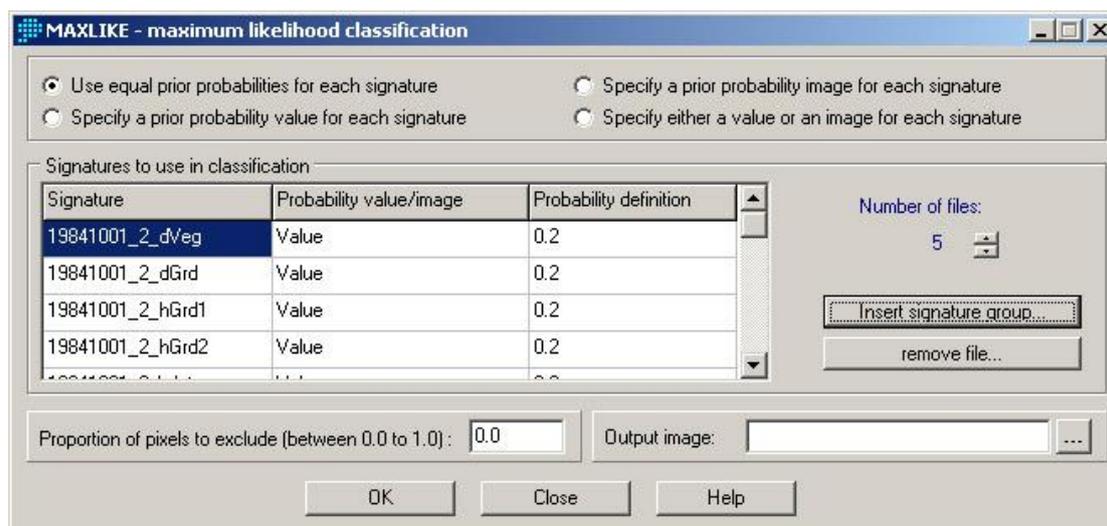


Abbildung 9: Einstellungen Maximum Likelihood Methode

4.2.2 Bayclass

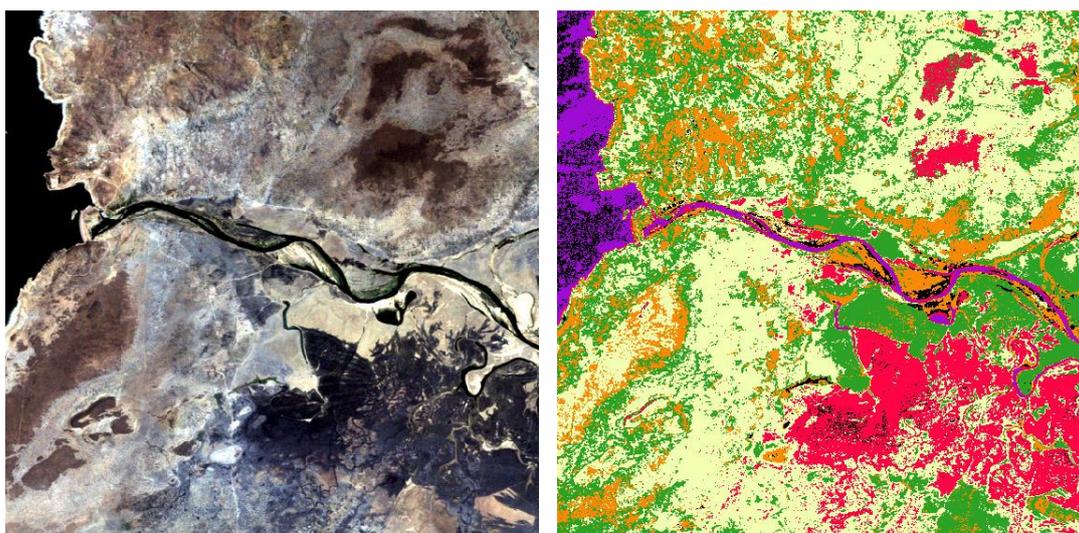


Abbildung 10: Bayclass Klassifizierung

Für die Bayclass Klassifizierung wurden die gleichen Testgebiete verwendet wie für die Maximum Likelihood Methode. Da sich diese beiden Funktionen ähnlich sind, würde man erwarten, dass die Ergebnisse auch entsprechend gleich aussehen. Das klassierte Bild der Bayclass Klassifizierung zeigt jedoch Gebiete, in welchen keine Klassenzuordnung erfolgte.

Untersucht man die entsprechenden Gebiete, stellt man fest, dass die Pixel für jede Klasse eine Wahrscheinlichkeit von 0 aufweisen. Diese wurden zuvor mit der Maximum Likelihood Methode einer beliebigen Klasse zugeordnet. Erstaunlich ist dabei, dass auch Gebiete, welche sich auf Grund ihrer spektralen Eigenschaften klar vom Rest unterscheiden (wie z.B. Gewässer), ebenfalls solche nicht klassierten Flächen enthalten. Beim Betrachten des „Unsicherheitsbildes“ (Uncertainty Image), welches von der Bayclass Funktion erstellt wurde, zeigt sich, dass aber auch diese Wassergebiete Probleme bereiten.

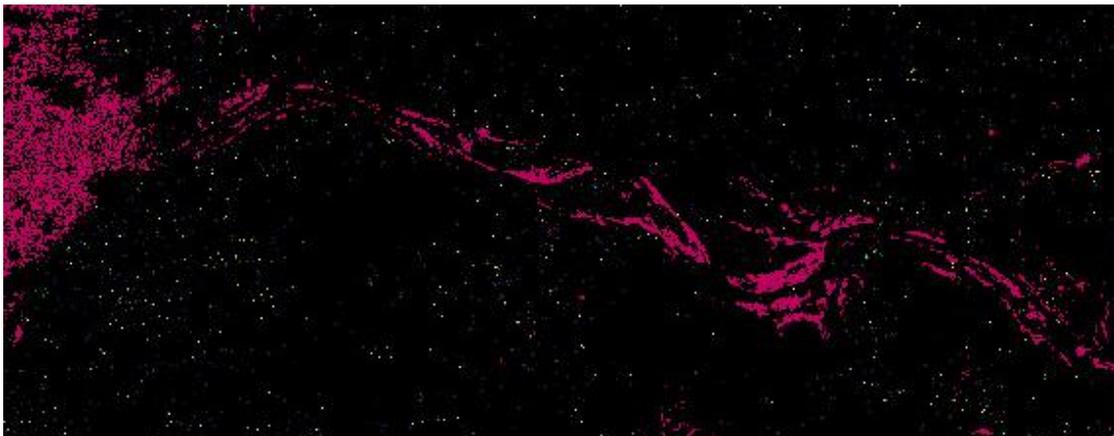


Abbildung 11: Ausschnitt des Unsicherheitsbildes

4.2.3 Belclass

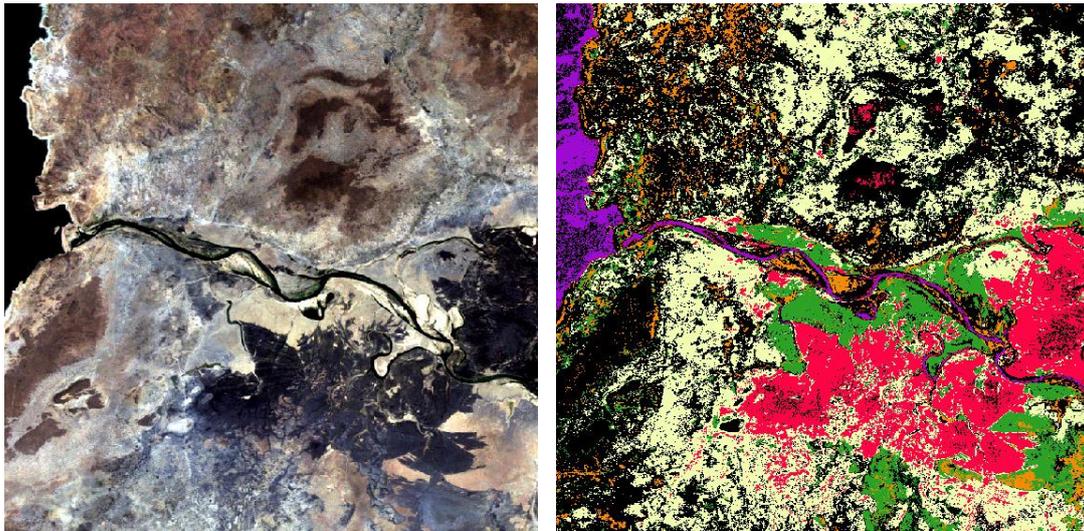


Abbildung 12: Belclass Klassifizierung

Während bei der Bayclass-Methode nur die vorhandenen Klassen als mögliche Resultate der Klassifizierung erwartet werden, geht der Belclass-Algorithmus davon aus, dass es durchaus auch vorkommen kann, dass gewisse Klassen zuvor nicht definiert wurden.

Wie zu erwarten ist, resultiert dies in einer Klassifikation, bei welcher die Zuweisung der Klassen viel vorsichtiger geschieht und dementsprechend auch mehr Gebiete auftreten, für welche keine Zuweisung erfolgte.

Ein Blick auf das Belief-Bild zeigt, dass die Unsicherheit über das gesamte Bild sehr hoch ist, und somit die absolute Wahrscheinlichkeit der Klassenzugehörigkeiten sehr tief sind. Grund dafür könnten die fehlende Kontrolle der Testgebiete, oder aber auch die Inhomogenität der Pflanzen innerhalb der Referenzflächen sein.



Abbildung 13: Belief-Bild der Belclass-Methode

5 Change detection

5.1 Vorbereitungen

Der Land Change Modeller, welcher für den Vergleich der Klassifizierungen verwendet wird, setzt voraus, dass die Bilder exakt die gleiche Grösse besitzen und sich Nullstellen genau an der gleichen Stelle befinden.

Bei den Klassifizierungsmethoden Bayclass und Belclass kommen teilweise Pixel vor, welche nur in einem Bild einer Klasse zugeteilt wurden. Aus diesem Grund können diese Klassifikationen nicht für den Land Change Modeller verwendet werden. Es muss daher auf die Resultate der Maximum Likelihood Methode zurückgegriffen werden.

Damit die klassifizierten Bilder die zweite Bedingung erfüllen und gleiche Dimensionen aufweisen, werden sie mit der Window Funktion auf einen geographischen Ausschnitt reduziert.

5.2 Land Change Modeller

Der Land Change Modeller (LCM) erlaubt es, zwei Bilder miteinander zu vergleichen und die Veränderungen zwischen diesen zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wird für jedes Bildpaar im LCM ein neues Projekt erstellt. Nachdem die Berechnungen durchgeführt wurden, lassen sich diverse Übersichtskarten zur Analyse anzeigen. So lässt sich beispielsweise auf einfache Art und Weise anzeigen, wie sich der Flussverlauf innerhalb eines Jahres geändert hat.

Da diese Analysen auf den zuvor erstellten Klassifikationen basieren, sind sie immer kritisch zu bewerten. Sind nämlich bei der Klassifikation schon Fehler vorhanden, wird auch der LCM keine realistische Auswertungen liefern.

1. Oktober 1984 - 16. Mai 1986



16. Mai 1986 - 1. Juni 1986



1. Juni 1986 - 26. Dezember 1986



26. Dezember 1986 - 4. Mai 2002



Abbildung 14: Änderungen der Wasserflächen (grün = Zunahme / rot = Abnahme)

5.3 Principal Component Analysis

Die Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA) versucht mit Hilfe verschiedener Linearkombinationen die Daten aus einer Zeitreihe von Bildern zu modellieren. Eastman und Fulk⁽¹³⁾ haben in ihrer Arbeit gezeigt, dass diese Methode auch verwendet werden kann, um aus regelmässig aufgenommenen NDVI-Bildern die Einflüsse von Naturereignissen wie z.B. El Niño zu beobachten.

Analog zum erwähnten Beispiel soll nun in dieser Arbeit eine Zeitreihe der vorhandenen Bilder untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden die Vegetationsindizes der Bilder im Jahr 1986 berechnet und daraus eine Zeitreihe generiert.

Die für die Analyse benötigte Funktion ist in IDRISI schon implementiert, so dass nur noch die Daten der Zeitreihe eingegeben werden müssen. Die Funktion erstellt dann die Bilder der einzelnen Komponenten (Abbildung 15), sowie eine Datentabelle (Abbildung 16; Abbildung 17) mit den dazugehörigen Werten.

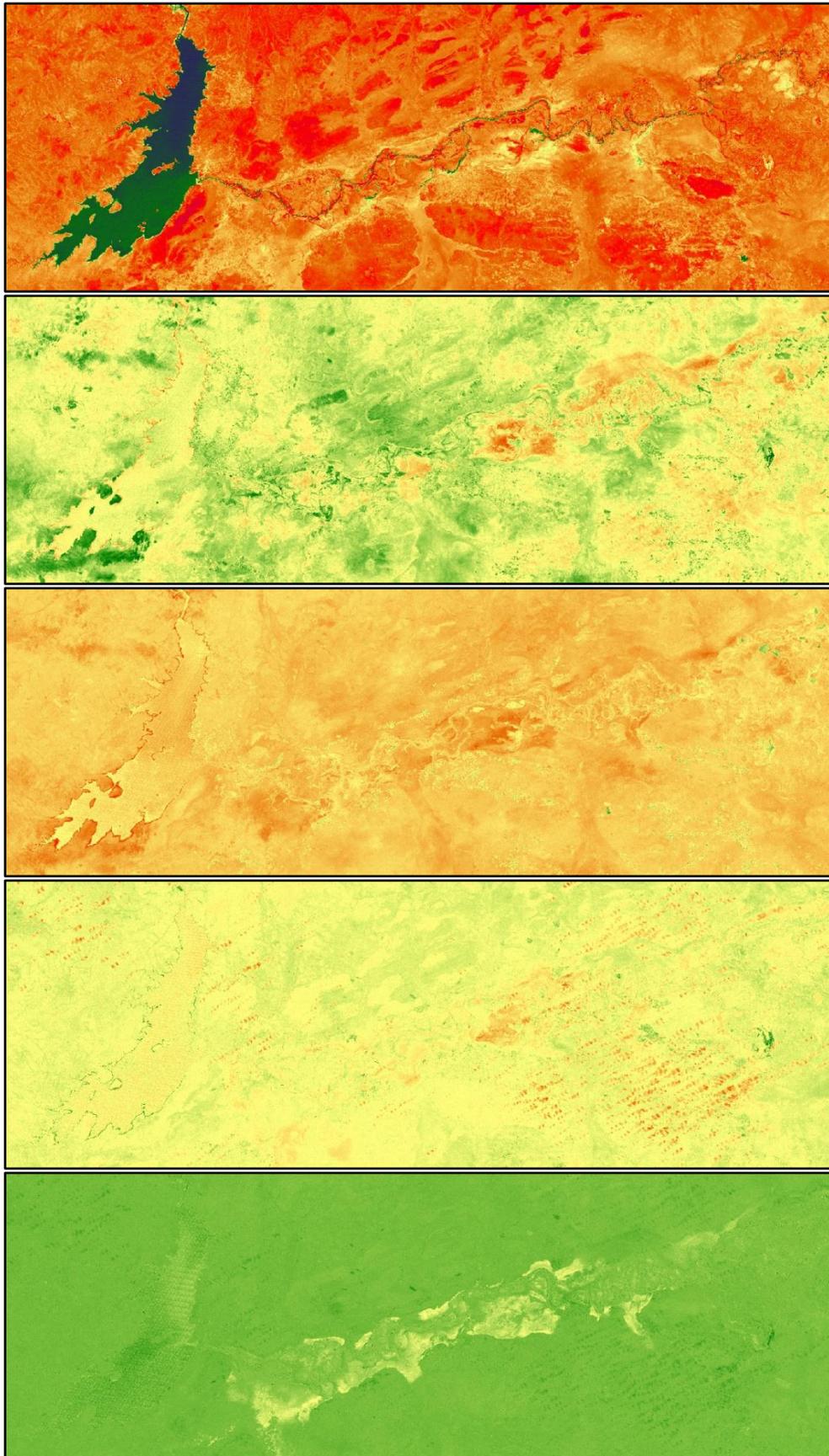


Abbildung 15: Hauptkomponentenanalyse im Jahr 1986

Loading	CMP 1	CMP 2	CMP 3	CMP 4	CMP 5
19860414	0.917707	-0.20172	-0.047408	-0.335064	0.051064
19860516	0.937468	-0.238293	-0.113596	0.094547	-0.206221
19860601	0.936384	-0.195131	-0.097864	0.213864	0.172609
19861124	0.767059	0.614183	-0.184969	-0.012306	-0.00576
19861226	0.892158	0.134634	0.429879	0.031425	-0.012046

Abbildung 16: Übersicht der einzelnen Loadings

	CMP 1	CMP 2	CMP 3	CMP 4	CMP 5
%Var	79.643445	10.617967	4.874777	3.361679	1.502132

Abbildung 17: Varianzen der Komponentenbilder

Die erste Komponente (CMP1) zeigt den NDVI Wert, welcher unabhängig von der Zeit ist. Jede weitere Komponente enthält Informationen zu Änderungen bezüglich dieses ersten Bildes. Diese Varianzen können natürlichen Ursprungs sein, wie z.B. saisonale Änderungen, oder lassen sich auf Sensorfehler zurückführen.

Die Übersicht der Varianzen zeigt, dass schon knapp 80% durch die erste Komponente erklärt werden. Dieser Wert ist verglichen zu anderen Arbeiten tiefer. Der Unterschied lässt sich auf die Eigenschaft der Zeitreihe zurückführen, da diese hier in Monatsabständen und nicht im Jahresrhythmus vorliegt.

Im zweiten Komponentenbild (der Abbildung 15) zeigen sich gut die Unterschiede zwischen dem Flussgebiet und den umliegenden Flächen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Gebiete in Gewässernähe stärkeren Schwankungen unterliegen als die Gebiete, welche weiter vom Flusslauf entfernt sind. Den gleichen Effekt lässt sich auch im fünften Bild beobachten.

6 Diskussion

Es zeigt sich immer wieder, dass die Klassifizierung ein mächtiges Instrument der Photogrammetrie ist, denn auch wenn keine Bodenreferenzdaten zur Verfügung stehen, können akzeptable Resultate erzielt werden. Die einzelnen Klassifikationen müssen jedoch durch Stichproben vor Ort kontrolliert werden. Mit Hilfe dieser „Ground Truth“ können dann mit aktuellen Bildern die entsprechenden Testgebiete überarbeitet und verbessert werden.

Das untersuchte Gebiet unterliegt auf Grund von Überschwemmungen und Termitenfrass ständigem Wechsel. Aus diesem Grund kommt man nicht daran vorbei, eine regelmässige Begehung des Landes durchzuführen um die Bodenbedeckung zu kontrollieren und dann mit dem Klassifikationsresultaten zu vergleichen.

Neuere Sensoren würden höhere Auflösungen und somit auch bessere Möglichkeiten bieten, kleinere Pflanzenansammlungen zu detektieren. Wegfallen würde dann jedoch die Langzeituntersuchung zurück bis zur Zeit des Staudammbaus. Eine bessere Auflösung führt aber auch immer zu einer kleineren Fläche, welche im Bildraum dargestellt werden kann. Somit müssten für die Aufnahme des gesamten Tals eine Vielzahl einzelner Bilder zusammengefügt werden. Da sich in dieser Arbeit die Kombination zweier Satellitenbilder innerhalb des gleichen Aufnahmezeitraums bereits als schwierig erwies, dürfte sich dies für eine noch höhere Anzahl Bilder als sehr kompliziert herausstellen.

Für Beobachtungen, wie sie mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse durchgeführt werden, würden sich Aufnahmen, wie sie hier verwendet wurden, gut eignen. Jedoch müssten diese regelmässiger und über einen noch längeren Zeitraum aufgenommen werden.

Abschliessend kann man sagen, dass sich das Softwarepaket IDRISI von Clark Labs vor allem durch seine Prozessiergeschwindigkeit bewährte. Auch die umfangreiche Funktionspalette zeigte, dass sich diese Anwendung in vielen Aufgabenbereichen einsetzen lässt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob sich ein objektorientierter Ansatz für diese Aufgabe besser eignen würde.

7 Glossar

Ground Truth	Bestimmung der Vegetation in Testgebiet, damit diese für die Klassifizierung als Referenz verwendet werden können
IDRISI	Softwarepaket zur Bildanalyse und Klassifizierung von Clark Labs, welches für diese Arbeit verwendet wurde
LCM	Land Change Modeller (Kapitel 5.2, Seite 19)
MLM	Maximum Likelihood Methode (Seite 4)
NDVI	Normalized Differenced Vegetation Index
PCA	Principal Component Analysis (Kapitel 5.3, Seite 20)
Signatur	Datei, welche die spektralen Eigenschaften eines Testgebiet enthält
TSA	Time Series Analysis

8 Quellenverzeichnis

1. Kafue Flats Geo-Information Project. [Online] [Zitat vom: 23. Mai 2009.] <http://www.kafueflats.org/wp/>.
2. Landsat Missions. [Online] [Zitat vom: 20. Mai 2009.] http://landsat.usgs.gov/products_data_at_no_charge.php.
3. Landsat: A Global Land-Observing Program, Fact Sheet 023-03. [Online] [Zitat vom: 27. Mai 2009.] <http://www.kafueflats.org/wp/>.
4. Landsat - Wikipedia. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Landsat>.
5. **Rohrbach, Felix.** *(Semi-) automatische Klassifizierung mit ADS40 Bilddaten.* Zürich : s.n., 2008.
6. **Jordan, C.F.** *Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor.* 1969.
7. **Weier, John und Herring, David.** Measuring Vegetation (NDVI & EVI): Feature Articles. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/>.
8. **Baltsavias, E. und Sauerbier, M.** Advanced classification techniques with IDRISI. *Remote Sensing and GIS (MA).* [Online] [Zitat vom: 28. Mai 2009.] http://www.photogrammetry.ethz.ch/teaching/scripts/rsgis_ma09/script/Folien_advancedClas.pdf.
9. **Schelle, P. und Pittock, J.** WWF - Local to Global Environmental Conservation. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] <http://assets.panda.org/downloads/restoringkafueflatsschellepittcockriversymposium3sept05.pdf>.
10. Glovis - Global Visualization Viewer. [Online] U.S. Geological Survey. <http://glovis.usgs.gov/>.
11. **Douthwaite und Lavieren, van.** *Vegetation Map of Lochinvar National Park.* 1977.

12. **Rensburg, Van.** *Part 4 of Volume IV of the FAO Multipurpose Survey: Maps / Vegetation Maps of the Kafue Flats area.* 1968.
13. **Eastman, J. Ronald und Fulk, Michele.** 17. Mai 2009. Long Sequence Time Series Evaluation Using Standardized Principal Components.
14. **Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.** ASTER Spectral Library - Version 2.0 - Spectral Library. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] <http://speclib.jpl.nasa.gov/>.
15. **Universität Stuttgart.** Klassifikation. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] http://www.irs.uni-stuttgart.de/skript/RA2/RA2-WS071112_www.pdf.
16. **Baldenhofer, Kurt G.** Lexikon der Fernerkundung. [Online] [Zitat vom: 22. Mai 2009.] <http://www.fe-lexikon.info>.

9 Anhang

9.1 Komplette Bilderübersicht

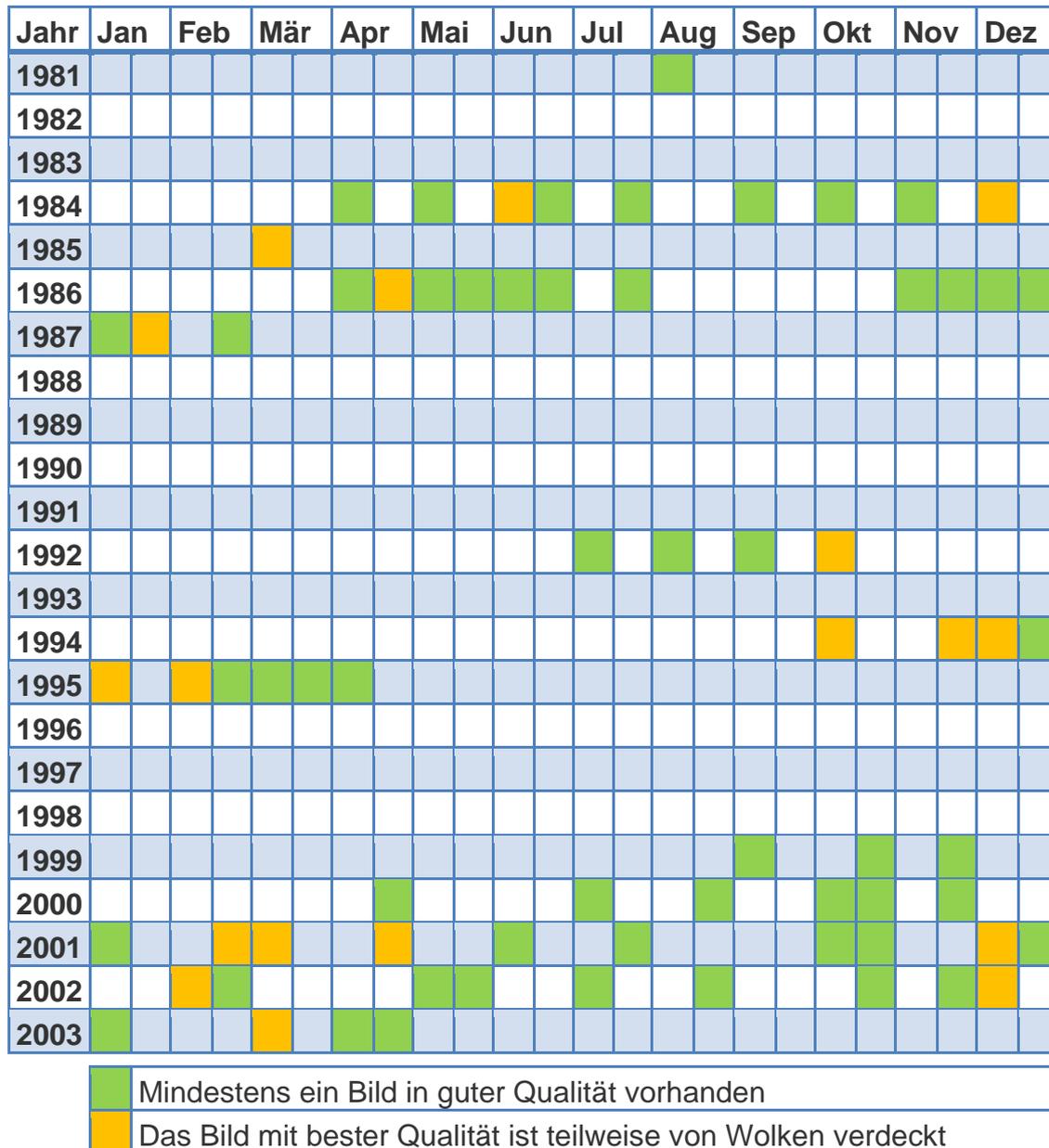


Abbildung 18: Komplette Bildübersicht

9.2 Aufgabenstellung

Themenvorschlag für eine Masterprojektarbeit FS 2009

Vegetation Mapping in the Kafue Flats, Zambia

Short description:

The Kafue Flats, one of the most valuable wetlands in Zambia, are located at the lower parts of the Kafue river. With an area of around 6'500 km² they provide the base for the most productive agricultural area in Zambia as well as the livelihood of 700'000 people in the greater area of the Flats. The natural ecosystem is heavily influenced by the yearly cycle of floods and droughts. However, these cycles are changed by two large dams built upstream and downstream the Kafue Flats.

The altered flooding patterns led to a change in vegetation cover.

Many processes, such as nutrient cycling and evapotranspiration, are associated to the type of vegetation. A vegetation map can provide valuable information on the spatial distribution of these processes.

High resolution satellite images can be classified using ground information of specified areas and serve as training areas for the classification of lower resolution satellite images. On the base of these training areas a time series of the development of vegetation patterns can be derived from Landsat or ASTER images.

Betreuung:

Martin Sauerbier

(Email: martin.sauerbier@geod.baug.ethz.ch, HIL D52, Tel: 044 633 2816)