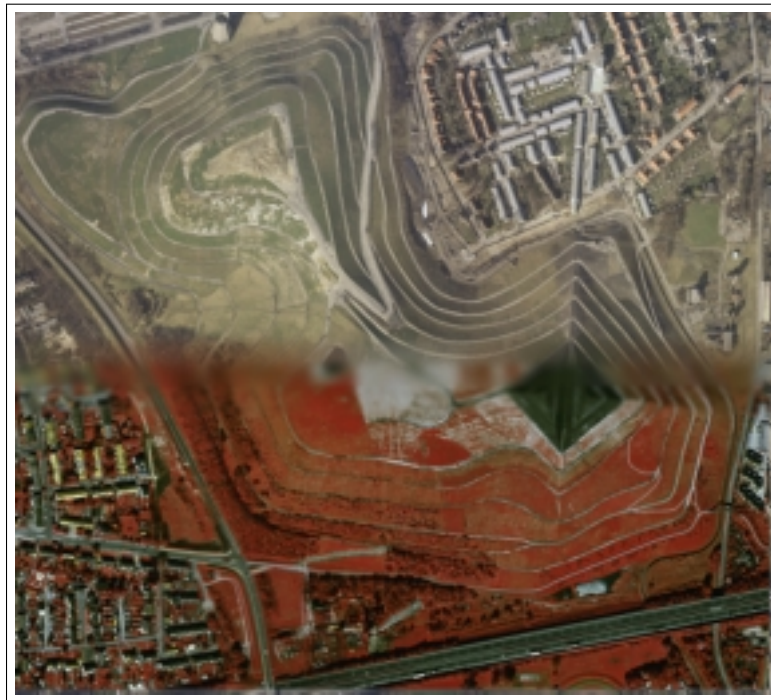


Diplomarbeit

Untersuchungen zur Synthese von *Echtfarbenbildern* aus digitalen Colorinfrarot-Luftbildern



Mirko Röder

November 2000

Hannover, den 24.11.2000

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß diese Arbeit selbständig von mir verfaßt wurde. Ich habe keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und keine sonstigen fremden Hilfen verwendet.

Hannover, den 24.11.2000

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Dr. Peter Lohmann, der mir fachlich zur Seite stand und mich in jeder Lage unterstützt hat. Ferner geht mein Dank an Dipl. Ing. Steffen Brandt, dem ich diese Diplomarbeit und die Unterstützung durch die Deutsche Steinkohle AG zu verdanken habe. Der Deutschen Steinkohle danke ich für die Bereitstellung der Luftbilder.

Für das Korrekturlesen auf Lesbarkeit und Verständlichkeit bedanke ich mich weiterhin bei Christian Hirt und Suzana Ojkic. Ein spezieller Dank geht an Sonja von Berg.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrundinformationen	1
2	Grundlagen	4
2.1	Die Entstehung von Luftbildern	4
2.2	Farbphotographie	5
2.2.1	Der Farbfilm	5
2.2.2	Der Farbinfrarotfilm	5
2.3	Farbe und Farbempfindung	6
2.3.1	Der physiologische Aspekt der Farbe	7
2.3.2	Der physikalische Aspekt der Farbe	8
2.4	Farbmischung	9
2.5	Farbräume	10
2.5.1	Der CIExy-Farbraum	10
2.5.2	Der RGB-Farbraum	12
2.5.3	Der IHS-Farbraum	13
3	Die Synthese von Echtfarbenbildern im RGB-Farbraum	15
3.1	Die Synthese mit gewichtetem Mittel	15
3.2	Die Synthese nach spektraler Extrapolierbarkeit	17
4	Synthese von Echtfarbenbildern im IHS-Farbraum	19
4.1	Die verwendeten Testbilder	20
4.2	Die parametrische Synthese von Echtfarbenbildern	21
4.2.1	Die Ermittlung der Parameter α und k	21
4.2.2	Der Einsatz der Parameter α und k	24
4.2.3	Verfeinerung der Synthese durch den NDVI	27
4.2.4	Kanalteilung	31

4.3	Die Synthese durch Histogrammangleichung	33
4.3.1	Die Ermittlung der Transformationsfunktion	33
4.3.2	Einsatz der Transformationsfunktion	36
4.3.3	Verfeinerung der Synthese durch den NDVI	36
4.3.4	Kanalteilung	37
5	Beispiele	38
5.1	Die Halde Haniel	39
5.2	Die Halde Norddeutschland	40
5.3	Die Halde Rheinelbe	41
5.4	Die Halde Rungenberg	42
5.5	Daedalus	43
5.6	IKONOS	44
5.7	Bewertung der Ergebnisse	45
5.7.1	Die Bilder der DSK	45
5.7.2	Die Bilder von Daedalus und Ikonos	46
6	Schlußbetrachtung	49
	Literaturverzeichnis	51
A	Die Implementierung in Erdas Imagine	52
A.1	Das Programm Erdas Imagine	52
A.2	Beschreibung der implementierten Algorithmen	53
A.2.1	Die parametrische Synthese	53
A.2.2	Die Synthese mittels Histogrammangleichung	54
A.3	Funktionsbeschreibung der Models	55
A.3.1	Das Modell <code>parameter.gmd</code>	56
A.3.2	Das Modell <code>histmatch.gmd</code>	57
A.3.3	Das Modell <code>lookup.gmd</code>	58
A.3.4	Die Modelle <code>histmatch-siegel.gmd</code> und <code>histmatch-gruen.gmd</code> . .	59
A.3.5	Das Modell <code>lookup-ndvi.gmd</code>	60
A.3.6	Das Modell <code>parameterberechnung.gmd</code>	61
A.3.7	Das Modell <code>ndvi.gmd</code>	61
B	Spektralbereiche verschiedener Aufnahmesysteme	62

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung der Bildentstehung in Farbfilmen und Farbinfrarotfilmen	6
2.2	Relative Reaktion der drei Zapfenarten im Auge	7
2.3	Das elektromagnetische Spektrum	9
2.4	Die Normfarbtafel nach DIN 5033	11
2.5	Der RGB-Farbraum	12
2.6	Der IHS-Farbraum	12
3.1	IRS-1C-Aufnahme und simulierte Echtfarbendarstellung	18
4.1	Die Halde Rungenberg im Colorinfrarotbild (vom 23.04.1998)	20
4.2	Die Halde Rungenberg im Echtfarbenbild (vom 16.03.1999)	20
4.3	Der Winkel α	21
4.4	Das Histogramm des Differenzenbildes aus den Hue-Kanälen	21
4.5	Der Quotient k	22
4.6	Das Histogramm des Quotientenbildes aus den Saturation-Kanälen	22
4.7	Ablaufschema zur Bestimmung der Parameter α und k	23
4.8	Ablaufschema zur Transformation mit den Parametern α und k	23
4.9	Parametrischer Ansatz unter Verwendung von α und k	24
4.10	Verteilung des Winkels α	26
4.11	Verteilung des Quotienten k	26
4.12	Spektrale Reflexionsgrade verschiedener Oberflächen	27
4.13	Der NDVI berechnet für das Testbild Rungenberg	28
4.14	Parametrischer Ansatz zur Echtfarbendarstellung unter Verwendung der Parameter α_1, α_2 und k	29
4.15	Ablaufschema zur Synthese von Echtfarbenbildern mit den Parametern α_1, α_2 und k	30
4.16	Echtfarbendarstellung nach der parametrischen Synthese unter Verwendung der Kanalteilung	31

4.17	Ablaufschema zur Bestimmung der LuT für die Kanäle Hue und Saturation	35
4.18	Ablaufschema zur Histogrammangleichung	35
4.19	Ergebnis der Histogrammangleichung nach der Kanalteilung	37
5.1	Beispiel Halde Haniel	39
5.2	Beispiel Halde Norddeutschland	40
5.3	Beispiel Halde Rheinelbe	41
5.4	Beispiel Halde Rungenberg	42
5.5	Beispiel Daedalus	43
5.6	Beispiel Ikonos	44
5.7	Relative spektrale Empfindlichkeit des Farbinfrarotfilmes Kodak, Aero- chrome Infrared 2443	48
A.1	Das Modell <code>parameter.gmd</code>	56
A.2	Das Modell <code>histmatch.gmd</code>	57
A.3	Das Modell <code>lookup.gmd</code>	58
A.4	Das Modell <code>histmatch-siegel.gmd</code>	59
A.5	Das Modell <code>lookup-ndvi.gmd</code>	60
A.6	Das Modell <code>parameterberechnung.gmd</code>	61
A.7	Das Modell <code>ndvi.gmd</code>	61

Kapitel 1

Einleitung und Hintergrundinformationen

In zunehmendem Maße wird heutzutage das Leben von der Informationstechnologie bestimmt. Computer und Rechnersysteme stellen in vielen Bereichen eine große Arbeitserleichterung dar. Komplizierte Berechnungen oder gar komplette Ablaufprozesse werden von Computern übernommen. Menschliche Fehler können reduziert, Arbeitszeit kann eingespart und somit die Produktivität enorm gesteigert werden.

Auch die Photogrammetrie kann sich diesem Fortschritt nicht entziehen. Schon lange sind die analogen Auswertegeräte Anschauungsobjekte und dienen lediglich dem Verständnis des Auswerteprozesses. Bereits in den 50er Jahren erhielt die elektronische Datenverarbeitung (EDV) Einzug in die Photogrammetrie. Durch das analytische Auswertegerät kam es zu einer Arbeitsteilung zwischen Mensch und Personalcomputer (PC). Die eine Hälfte des Auswerteprozesses wurde wie zuvor durch den Operator erledigt, während die andere Hälfte vom PC übernommen wurde. Die dritte Stufe ist die digitale Photogrammetrie [Kraus, 1994]. Von der Aufnahme bis zum fertigen Endprodukt liegen alle Daten in digitaler Form vor. Der komplette Auswerteprozess läuft im PC ab, der Auswerter muß diese Schritte lediglich kontrollieren.

Geoinformationssysteme (GIS) sind ein gutes Beispiel für die Effektivität der kompletten Digitalisierung. Mit der GIS-Technologie lassen sich praktisch beliebig große Datenmengen auf wirtschaftliche Weise erfassen, verwalten, verarbeiten und präsentieren [Hake / Grünreich, 1994]. Viele Firmen haben die Vorteile dieser Systeme erkannt und nutzen

sie zum Datenmanagement. Ein Beispiel stellt die Deutsche Steinkohle AG (DSK) aus Bottrop dar.

Die DSK ist aufgrund von Gesetzen, Verordnungen und behördlichen Genehmigungsverfahren dazu verpflichtet, die Auswirkungen des Untertagebaus auf die Tagesoberfläche regelmäßig zu analysieren und zu dokumentieren. Die erhöhten gesetzlichen Anforderungen führten dazu, daß zunehmend genauere, detailliertere und umfassendere Informationen gesammelt und verarbeitet werden mußten. Hilfsmittel bei dieser Informationsbearbeitung und -verwaltung stellt das GIS dar. Je nach Aufgabenstellung sind dabei an die Daten unterschiedlichste Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit, Vollständigkeit, Homogenität und Aktualität zu stellen [Benecke, 1996].

Gerade der letzte Punkt zwingt die DSK dazu, jährlich Befliegungen der eigenen Haldengelände durchzuführen. Die photogrammetrische Auswertung gibt u.a. Aufschluß über Restschüttkapazitäten und liefert die Grundlage für anschließende Rekultivierungsmaßnahmen. Das Zeitfenster für diese Befliegungen ist im Ruhrgebiet sehr eng bemessen. Dies liegt zum einem an den vorherrschenden Wetterbedingungen im Ruhrgebiet. Unzureichende Sicht aufgrund schlechter Wetterlage macht Aufnahmen gerade zum Jahresanfang unmöglich. Zum anderen dürfen die Befliegungen auch nicht zu spät erfolgen, da eine zunehmende Begrünung der Halden die Höhenauswertung erschwert. Entweder kann die Erdoberfläche, die die Referenzfläche zur Höhenauswertung darstellt, durch starken Bewuchs gar nicht mehr eingesehen werden oder die Schattenwürfe der Blätter vermindern den Kontrast derart, daß ein Identifizieren des Bodens in den ohnehin schon eng bemessenen Zwischenräumen des Bewuchses kaum möglich ist. Im Falle einer verspäteten Aufnahme hat die Praxis gezeigt, daß eine Befliegung mit einem Farbinfrarotfilm (CIR-Film) bessere Ergebnisse liefert, als es mit konventionellen Echtfarbfilmern möglich ist. Dies liegt vor allem an der kontrastreicheren Darstellung besonders in den Schattenbereichen. Nachteil der CIR-Filme ist die Falschfarbendarstellung, die eine unnatürliche Farbzurordnung der Objekte vorsieht. Einem ungeübten Betrachter fällt es schwer, den Bezug zwischen Bildraum und Objektraum herzustellen. CIR-Bilder eignen sich aus diesem Grund nur bedingt als Layer in einem GIS. Eine Transformation von CIR-Bildern in eine natürliche Farbdarstellung beseitigt diese Schwäche. Es existieren bereits Algorithmen, die sich mit dieser Umformung beschäftigen. Zufriedenstellende Ergebnisse werden jedoch nicht mit allen Bildmaterialien erreicht.

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, unter Berücksichtigung der Kenntnisse der bestehenden Ansätze, einen Transformationsalgorithmus zu entwickeln, der eine natürliche Echtfarbendarstellung von CIR-Luftbildern liefert. Die resultierenden Ergebnisse sollen hinsichtlich der Güte mit Echtfarbendarstellungen bereits existierender Ansätze verglichen werden. Ferner sollen kurz Möglichkeiten angedeutet werden, wie neben Luftbildern auch andere Daten wie beispielsweise Scanneraufnahmen transformiert werden können.

Nach einem kurzem Einblick in die notwendigen Grundlagen im Kapitel 2 werden im Kapitel 3 die bereits existierenden Ansätze vorgestellt.

In Kapitel 4 werden anhand von Testbildern die Stufen der Entwicklung der im Rahmen dieser Diplomarbeit erarbeiteten Ansätze aufgezeigt. Als Testmaterial standen zwei Aufnahmen der Halde Rungenberg zur Verfügung. Das eine wurde im April 1998 in Color-Infrarot erstellt. Die Erstellung des anderen Luftbildes fand im März 1999 in Echtfarben statt. Weitere Luftbilder der DSK von den Halden Norddeutschland, Ruhrelbe und Haniel, die nur in Color-Infrarot vorlagen, sowie Beispielbilder des flugzeuggetragenen Scanners DAEDALUS ATM und des Satelliten IKONOS werden im Kapitel 5 die Ergebnisse der Transformationen darstellen. Abschließend werden im Kapitel 6 die gewonnenen Erkenntnisse reflektiert. Im Anhang ist die Beschreibung der Implementierung der erarbeiteten Algorithmen in das Bildverarbeitungsprogramm Erdas Imagine zu finden.

Da die Bilder im Druck hinsichtlich der Farbwiedergabe oft nicht korrekt abgebildet werden, liegt dieser Diplomarbeit eine CD bei, auf der sich die Beispielbilder im Dateiformat TIFF befinden.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Die Entstehung von Luftbildern

Jedes Bild ist das Ergebnis eines Abbildungsprozesses, bei dem sowohl geometrische als auch physikalische Informationen festgehalten werden. Geometrische Informationen geben Auskunft über die Richtung und die physikalischen Informationen über die Intensität und spektralen Eigenschaften der vom Objekt reflektierten bzw. emittierten Strahlung. Im Anschluß an die Aufnahme müssen sie ausgewertet und geeignet interpretiert werden.

Um diese Informationen in Luft und Satellitenbildern festzuhalten, werden geeignete Systeme benötigt, die allgemein als Fernerkundungssensoren bezeichnet werden. Unterschieden werden die Sensoren durch die Quelle der empfangenen Strahlung. Passive Systeme empfangen nur die vom Objekt reflektierte bzw. aufgrund der Oberflächentemperatur selbst ausgestrahlte elektromagnetische Strahlung. Aktive Systeme (z.B. Radar-Systeme) enthalten dagegen eine Energiequelle, die die Erdoberfläche künstlich bestrahlt.

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit benutzten Bilder von der DSK stammen ausschließlich von photographischen Aufnahmesystemen, die zu den passiven Systemen gehören. Sie arbeiten nach dem allgemeinen Prinzip der Photographie:

Über ein Linsensystem fällt die Strahlung direkt auf eine lichtempfindliche Schicht, die sich in Abhängigkeit von der Intensität unterschiedlich verändert. Mit diesem Prozeß kann das Licht im sichtbaren und im nahen Infrarot ($0,4 - 1,0 \mu\text{m}$) aufgenommen werden [Albertz, 1991]. Beim Filmmaterial unterscheidet man einerseits die Anzahl (Farbe oder

Schwarz-Weiß) und andererseits die Art (natürliche Farbwiedergabe oder Farb-Infrarot) der sensitiven Filmschichten.

2.2 Farbphotographie

2.2.1 Der Farbfilm

Der Farbfilm ist aus drei Schichten aufgebaut, die für unterschiedliche Spektralbereiche im sichtbaren Licht sensitiv sind. Die obere Schicht ist für das blaue Licht empfindlich. Unter ihr befindet sich eine Gelbfilterschicht, die verhindert, daß blaues Licht auf die darunter liegenden Schichten trifft. Die zweite Schicht ist für grünes Licht und die dritte für rotes Licht sensitiv. In den drei Schichten sind Farbpigmente eingelagert, die zusammen durch subtraktive Farbmischung (siehe Abschnitt 2.4) im Umkehrprozeß ein positives Abbild des Geländes ergeben.

2.2.2 Der Farbinfrarotfilm

Ebenso wie der konventionelle Farbfilm besteht auch der Farbbinfrarotfilm aus drei Schichten. Ferner ist das Prinzip der Bildentstehung identisch. Unterschiedlich ist jedoch die Sensitivität der Filmschichten und die damit verbundene Farbwiedergabe im Bild. Eine Schicht wird für den infraroten Spektralbereich sensibilisiert. Somit muß die Wiedergabe einer - meistens der blauen - Farbe wegfallen. Eine natürliche Farbwiedergabe ist dadurch nicht möglich. Der Entwicklungsprozeß sieht im allgemeinen folgende Zuordnungen der Farben vor: Grüne Objekte werden blau, rote Objekte werden grün und im nahen Infrarot reflektierende Objekte werden rot. Aus diesem Grund spricht man auch von einem Falschfarbenfilm. Die für den Betrachter völlig unnatürlich erscheinende Farbwiedergabe hat für die Luftbildinterpretation entscheidene Vorteile. Im nahen Infrarot spiegeln sich die Vitalitätszustände der Vegetation wieder. Dadurch können Aussagen getroffen werden, die mit normalen Farbbildern nicht möglich sind. Weiterhin gibt es noch einen Grund, den CIR-Film dem konventionellen Farbfilm vorzuziehen: Durch seinen erhöhten Kontrast erleichtert er die Auswertung der Luftbilder. Besonders in Schattenbereichen können noch Punkte identifiziert werden, die mit einem Farbfilm kaum zu erkennen sind [Albertz, 1991].

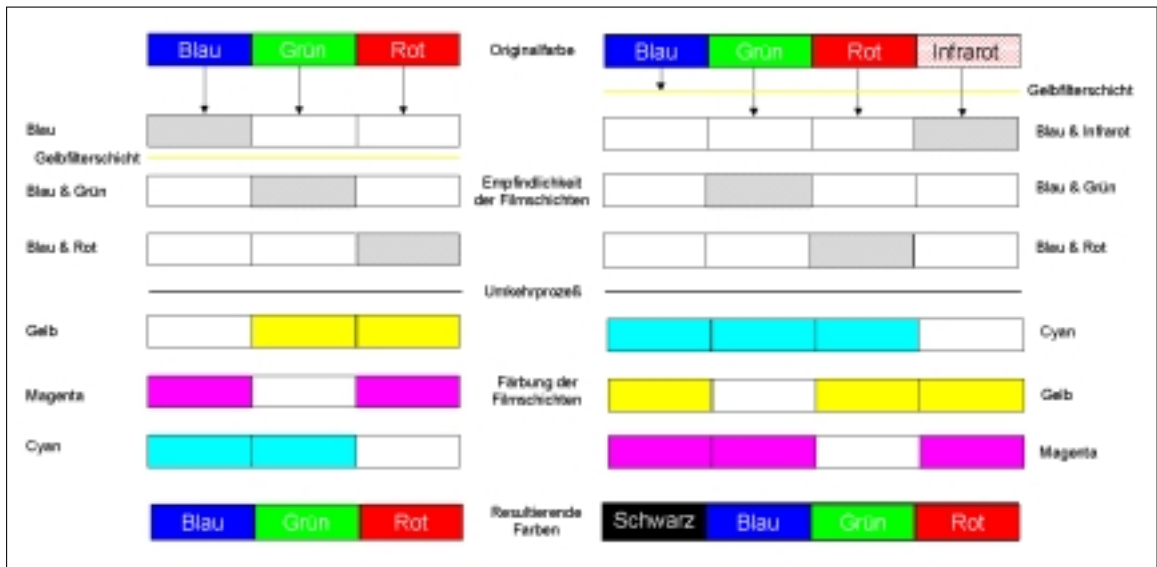


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Bildentstehung in Farbfilmen (links) und in Farbinfrarotfilmen (rechts). In Farbfilmen werden die Originalfarben denselben Farben im Bild zugewiesen. Die Farbinfrarotfilmen sehen eine unnatürliche Farbzuordnung vor: blaue Objekte werden schwarz, grüne werden blau, rote werden grün und infrarotreflektierende Objekte werden rot [Albertz, 1991].

In Abbildung 2.1 wird die Bildentstehung in Farbfilmen (links) und in Farbinfrarotfilmen (rechts) schematisch dargestellt.

2.3 Farbe und Farbempfindung

Es existieren zwei unterschiedliche Aspekte, die die Grundlage bilden, damit Farben überhaupt wahrgenommen werden können. Diese sind

- der physiologische Aspekt der Farbe und
- der physikalische Aspekt der Farbe

und werden nachfolgend beschrieben.

2.3.1 Der physiologische Aspekt der Farbe

Das menschliche Auge arbeitet ähnlich wie eine photographische Kamera, indem es das von einem Objekt reflektierte Licht über ein optisches System auf der Netzhaut abbildet. Dort sind zwei unterschiedlich arbeitende Sinnesorgane eingelagert: Die Stäbchen und die Zapfen, die sich durch ihre Lichtempfindlichkeit unterscheiden. Die hochempfindlichen Stäbchen sind für das Nachtsehen (skotopisches Sehen) ausgebildet und die weniger empfindlichen Zapfen übernehmen das Sehen am Tage (photopisches Sehen).

Im Gegensatz zu den Stäbchen existieren drei verschiedene Zapfenarten. Sie unterscheiden sich in ihrer spektralen Empfindlichkeit, wodurch das Auge erst die Fähigkeit des Farbsehens erlangt [Richter, 1981]. Vor allem sind die Zapfen für die drei Farben Rot, Grün und Blau sensitiv. Die Abbildung 2.2 zeigt, daß das Auge für Grün am empfindlichsten ist und weniger stark auf Rot und Blau reagiert [Haberäcker, 1995].

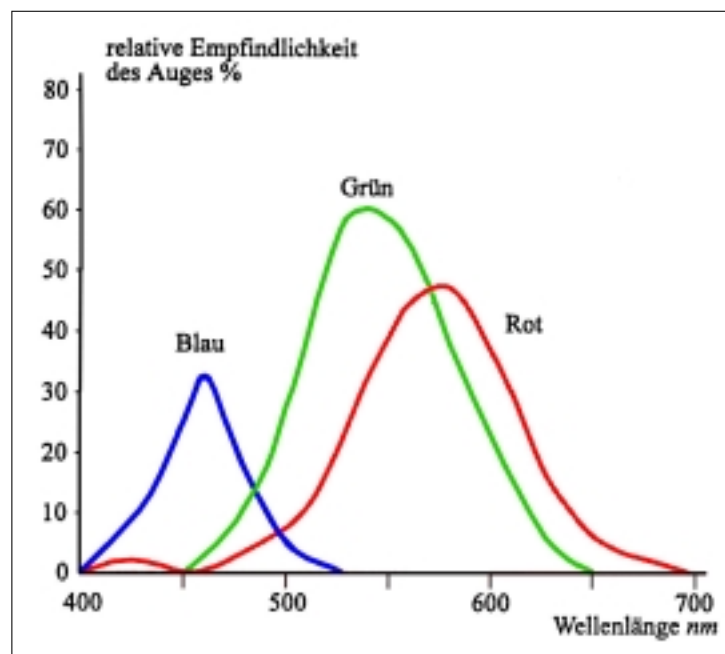


Abbildung 2.2: Relative Reaktion der drei Zapfenarten im Auge [Haberäcker, 1995]

Auch wenn jedes Auge gleich aufgebaut ist, so unterscheiden sich die spektralen Empfindlichkeiten der Zapfen derart, daß die gleiche Farbe bei zwei Menschen unterschiedliche

Farbempfindungen hervorrufen kann. Die Farbe Türkis stiftet auf diese Weise oft Verwirrung, da sie von einigen Menschen eher als Grün von anderen eher als Blau empfunden wird.

Ein weiterer Einflußfaktor auf das Farbempfinden ist die Stimmung, in der sich der Betrachter befindet. Fühlt man sich abgespannt, kann einem ein grau tapezierter Raum sehr viel dunkler und auch viel grauer vorkommen, als es sonst der Fall ist.

Auch die äußeren Umstände beeinflussen die Wahrnehmung einer Farbe. Unterschiedliche Beleuchtungsquellen - ob Kerze, Glühlampe oder Tageslicht - wirken sich auf die Wahrnehmung der Farbe aus. So kann ein weißes Blatt Papier bei Kerzenschein eher gelblich wirken. Das allerdings nur für kurze Zeit, da sich das Auge recht schnell an die Lichtverhältnisse anpaßt. Dann erscheint das Blatt genauso weiß, wie es unter Tageslicht aussehen würde. Diese Anpassungsfähigkeit wird Adaption genannt [Linotype].

2.3.2 Der physikalische Aspekt der Farbe

Physikalisch gesehen wird Farbe durch Licht erzeugt, das als elektromagnetische Strahlung aufgefaßt und durch die Wellenlänge λ und die Frequenz f beschrieben werden kann. Über die Lichtgeschwindigkeit c bekommt man den mathematischen Zusammenhang beider Größen:

$$c = f \cdot \lambda$$

Der Mensch nimmt mit dem Auge nur einen kleinen Ausschnitt dieser elektromagnetischen Strahlung, das sichtbare Licht, wahr. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes liegt zwischen 400 nm und 700 nm. Licht mit einer Wellenlänge zwischen 700 nm und 1 mm wird infrarotes Licht genannt. Es kann weiter in nahes Infrarot (700 nm - 1 μ m), mittleres Infrarot (1 μ m - 7 μ m) und fernes Infrarot (7 μ m - 1 mm) unterteilt werden.

Weiterhin gibt es noch folgende elektromagnetische Strahlungen: Mikrowellen (1 mm bis 1 m), Radiowellen (> 1m), Ultraviolett und Röntgenstrahlung (< 0,4 nm). Die Abbildung 2.3 zeigt die Gesamtheit der bei der elektromagnetischen Strahlung vorkommenden Wellenlängen, das auch als elektromagnetisches Spektrum bezeichnet wird. Es ist zu erkennen, daß mit der photographischen Aufnahme sowohl das sichtbare Licht als auch das nahe Infrarot erfaßt werden kann (siehe auch Abschnitt 2.2). Zur Erfassung weiterer Spektralbereiche sind andere Aufnahmesysteme wie Thermal- und Multispektral-Scanner und Radarsysteme notwendig. Nähere Ausführungen sind in [Albertz, 1991] zu finden.

Licht mit einer diskreten Wellenlänge wird als monochromatisches Licht bezeichnet und ruft im Auge eine Farbempfindung hervor, die im Regenbogenspektrum zwischen Violett (400 nm) und Rot (700 nm) liegt. In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, daß Spektrum und Farbempfinden nicht gleichgesetzt werden kann. Monochromatisches Licht kann durchaus die selbe Farbempfindung hervorrufen wie eine Mischung verschiedener Wellenlängen.

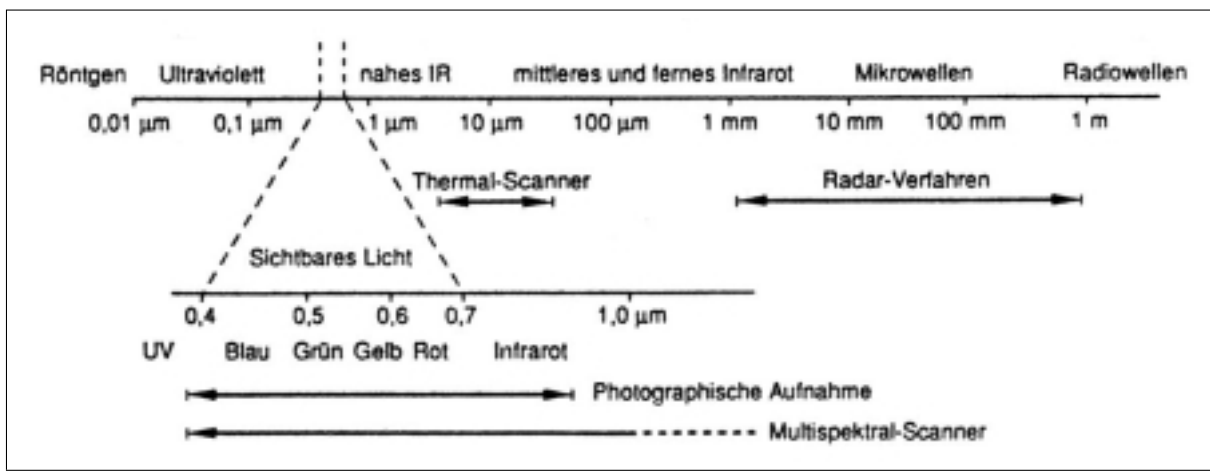


Abbildung 2.3: Das elektromagnetische Spektrum [Albertz, 1991]

2.4 Farbmischung

Das Mischungsverhalten von Farben erfolgt nach zwei unterschiedlichen Schemen, die von dem jeweiligen Farbwiedergabesystem abhängen und als additive und subtraktive Farbmischung bezeichnet werden.

Bei der additiven Farbmischung summieren sich einzelne Farbreize zu einem gesamten Farbreiz. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn drei Projektoren mit unterschiedlichen Farbfiltern versehen werden und mit diesen eine weiße Fläche bestrahlt wird. Außer der Addition von verschiedenfarbigem Licht auf einer Fläche lassen sich Farben auch additiv mischen, indem dem Auge Flächen mit unterschiedlicher Farbe räumlich oder zeitlich nebeneinander präsentiert werden. Dabei muß das räumliche oder das zeitliche Auflösungsvermögen des Auges überschritten werden. Dies geschieht zum Beispiel durch dicht nebeneinander

liegende Farbpunkte beim Farbfernsehen (Überschreitung der räumlichen Auflösung) oder durch Farben, die auf einem rotierenden Kreisel angebracht sind (Überschreitung der zeitlichen Auflösung). Die Grundfarben, die zur additiven Farbmischung verwendet werden und aus denen sich fast alle Farben mischen lassen, sind die Farben Rot, Grün und Blau [Bergmann / Schaefer, 1993].

Bei der subtraktiven Farbmischung durchdringt das Licht farbige Schichten (z.B. Farbauftrag beim Druck oder Farbfilter) und die spektrale Zusammensetzung des Lichtes ändert sich gemäß der spektralen Transmissionseigenschaften der farbigen Schichten. Die Farben, die als subtraktive Grundfarben verwendet werden und aus denen sich fast alle anderen Farben mischen lassen, sind die Farben Gelb, Purpur und Blaugrün, die auch in der deutschsprachigen Literatur oft mit den englischen Namen Yellow, Magenta und Cyan bezeichnet werden.

2.5 Farbräume

2.5.1 Der CIExy-Farbraum

Wie auch die Farbreaktion des Auges durch die Mischung der Erregung der *drei* unterschiedlich empfindlichen Zapfen hervorgerufen wird, so lassen sich auch Farben durch die Mischung *dreier* Grundfarben erzeugen. Damit können jedoch nicht alle Farben reproduzieren werden. Um dieses Problem zu lösen, wurde im Jahre 1931 die Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)¹ einberufen. Sie führte drei künstliche Grundfarben (Normfarbwerte oder Primärfarben) ein, mit denen sich alle Farben erzeugen lassen. Sie werden mit X, Y und Z bezeichnet und werden durch ihre Energieverteilungskurven charakterisiert. Y kennzeichnet z.B. die Lichtstärkenreaktion des menschlichen Auges. Aufgrund dieser Definition, die später in die DIN 5033 übernommen wurde, stellte die CIE eine Normfarbtafel mit folgenden Eigenschaften auf [Haberäcker, 1995]:

- Jeder Punkt im Diagramm stellt eine Farbe dar.
- Jeder Punkt auf einer Strecke läßt sich durch die Farben der Eckpunkte mischen.

¹Im Komitee Farbmessung der CIE werden internationale Vereinbarungen über die farbmetrischen Grundlagen getroffen [Richter, 1981]

- Alle Punkte innerhalb eines Dreiecks lassen sich durch die Farben der Eckpunkte mischen - alle Punkte außerhalb sind durch sie nicht darstellbar.

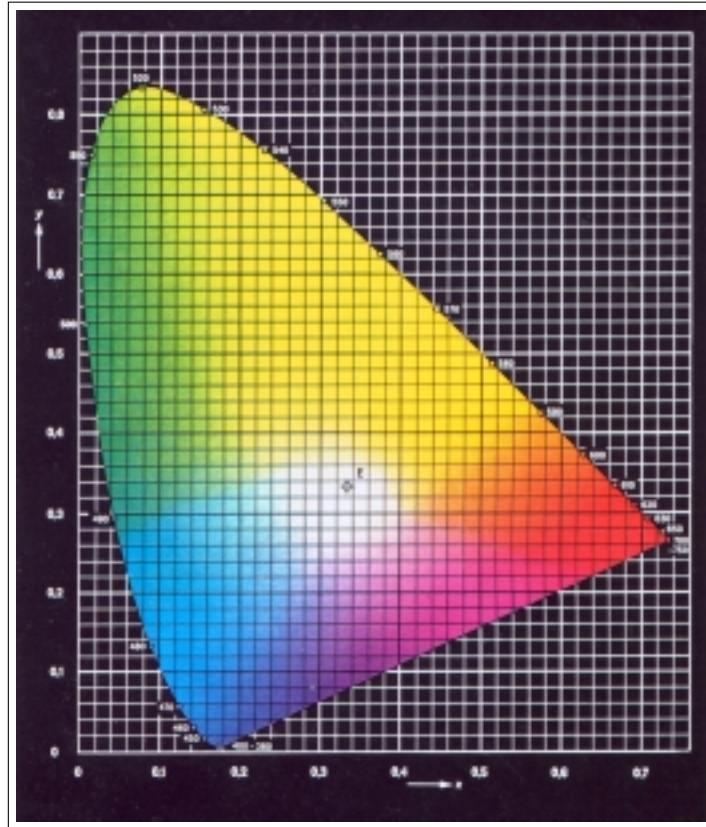


Abbildung 2.4: Die Normfarbtafel nach DIN 5033 [Richter, 1981]

In Abbildung 2.4 ist die Normfarbtafel dargestellt. Auf der gebogenen Begrenzungslinie liegen die Farben des monochromatischen Lichtes. Entlang der geraden Begrenzungslinie liegen die Purpurfarben, die nicht durch monochromatisches Licht dargestellt werden können. Im Zentrum befindet sich der Unbuntpunkt E, der das Norm-Weiß repräsentiert. Wird nun senkrecht auf die Farbebene eine dritte Dimension errichtet, so entsteht ein Farbraum. Diese Dimension stellt die Helligkeit dar. Entlang der Normalen auf dem Unbuntpunkt liegen die unbunten Farben von Weiß über Grau bis Schwarz.

2.5.2 Der RGB-Farbraum

Durch die Festlegung dreier Grundfarben Rot, Grün und Blau entsteht in der Normfarbtafel ein Dreieck. Alle darin enthaltenen Farben sind durch Mischen der Grundfarben erzeugbar. Werden diese Mischfarben durch die prozentualen Anteile der drei Grundfarben diskretisiert, können sie auf den Achsen in einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem abgetragen werden. Beispielsweise bekommt das Tupel

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

die Grundfarbe Rot zugewiesen. Da sich der Definitionsbereich der Achsen von 0 bis 1 erstreckt, liegen alle darstellbaren Farben innerhalb eines Einheitswürfels (siehe Abbildung 2.5). Die Farborte mit gleichen Anteilen an den drei Grundfarben ergeben Grautöne von Weiß über Grau nach Schwarz und liegen alle auf der Würfeldiagonalen durch den Ursprung. Sie wird auch als Unbuntgerade bezeichnet.

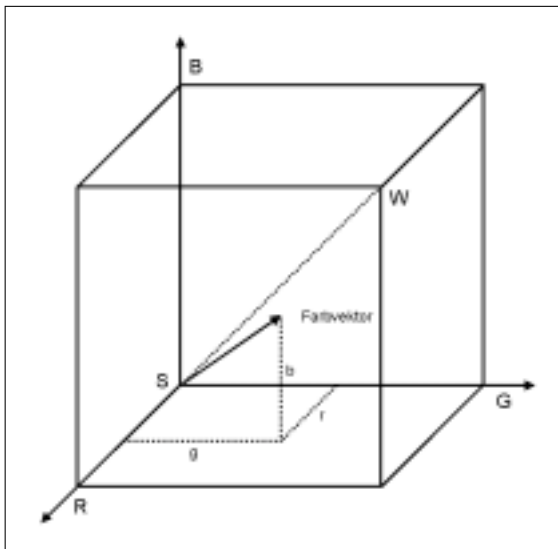


Abbildung 2.5: Der RGB-Farbraum

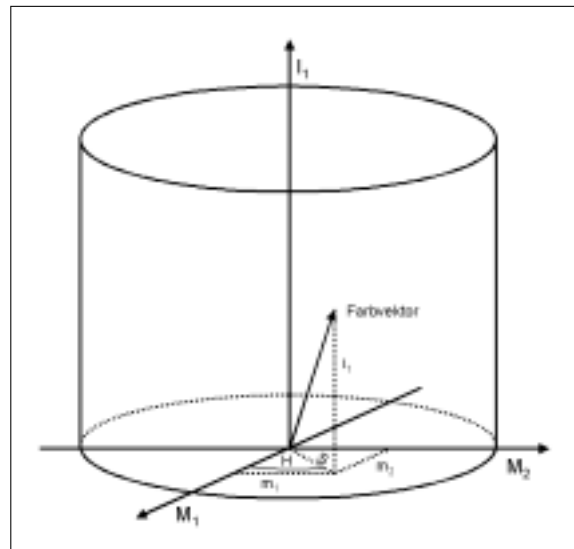


Abbildung 2.6: Der IHS-Farbraum

2.5.3 Der IHS-Farbraum

Der RGB-Farbraum besitzt jedoch einen großen Nachteil: Es ist kaum möglich, intuitiv Farben nachzubilden, da es nicht offensichtlich ist, wie die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau gemischt werden müssen, um z.B. ein Braun zu reproduzieren.

Das menschliche Farbempfinden legt der Farbe drei Eigenschaften zugrunde. Dies sind die Intensität (**I**ntensity), der Farbton (**H**ue) und die Sättigung (**S**aturation). Die Intensität gibt an, wieviel Gesamtlicht vorhanden ist, und die Sättigung ist ein Maß für die prozentuale Beimischung des weißen Lichtes. Wenn eine Sättigung von 0 vorliegt, ist keine Farbe zu erkennen; je nach Intensität erhält man Schwarz, Weiß oder Grautöne.

Das IHS-System baut auf diesen drei Komponenten auf. Es wird ein Zylinder zugrunde gelegt, in dem die Koordinaten folgendermaßen festgelegt sind (siehe Abbildung 2.6):

Zu jedem beliebigen Punkt im Zylinder gehört ein Farbvektor mit einem Tupel aus zylindrischen Koordinaten. Die Intensität wird entlang der Rotationsachse abgetragen mit Werten zwischen 0 und 1. Die Sättigung ist ein Wert zwischen 0 und 1, der den Abstand zur Rotationsachse darstellt. Der Farbton ist ein Winkel um die Rotationsachse zwischen einer vorher definierten Nullrichtung und dem Farbvektor. Sein Definitionsbereich liegt zwischen 0° und 360° .

Zwischen dem RGB- und dem IHS-Farbraum existiert eine umkehrbare, eindeutige Transformation. Zuerst wird das RGB-Koordinatensystem so gedreht, daß die Unbuntgerade mit der Rotationsachse des Zylinders zusammenfällt. Auf dieser Achse wird die Intensität (I_1) abgetragen. Die anderen beide Achsen werden mit M_1 und M_2 bezeichnet. Die folgende Gleichung beschreibt diese Drehung:

$$\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

Im nächsten Schritt werden die kartesischen Koordinaten in Zylinderkoordinaten umgerechnet:

$$\begin{aligned} \mathbf{H} &= \arctan\left(\frac{m_1}{m_2}\right), \\ \mathbf{S} &= \sqrt{m_1^2 + m_2^2}, \\ \mathbf{I} &= \sqrt{3} \cdot i_1. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Die Umkehrung dieser Transformation erfolgt sinngemäß [Haberäcker, 1995]:

$$\begin{aligned}m_1 &= \mathbf{S} \cdot \sin \mathbf{H}, \\m_2 &= \mathbf{S} \cdot \cos \mathbf{H}, \\i_1 &= \frac{\mathbf{I}}{\sqrt{3}}.\end{aligned}\tag{2.4}$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{\sqrt{6}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ i_1 \end{pmatrix}.\tag{2.5}$$

Kapitel 3

Die Synthese von Echtfarbend Bildern im RGB-Farbraum

Derzeit existieren nach den Recherchen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit getätigt wurden, zwei Algorithmen zur Synthese von Echtfarbend Bildern aus digitalen CIR-Bildern. Sie wurden beide empirisch für ein bestimmtes Datenmaterial (SPOT- und IRS-1C-Bilder) entwickelt. Beide simulieren einen Kanal für die Echtfarbendarstellung. Die anderen beiden Kanäle werden ohne Veränderung aus dem CIR-Bild übernommen.

3.1 Die Synthese mit gewichtetem Mittel

Der am weitesten verbreitete Ansatz wurde in der Firma Image SPOT Corporation entwickelt. Die ersten drei Satelliten dieser Firma, für deren Bilder dieser Ansatz konzipiert wurde (SPOT 1, SPOT 2 und SPOT 3), besitzen jeweils drei Sensoren, die im grünen, roten und infraroten Spektralbereich sensitiv sind. Somit können diese Bilder durch Kanalkombination lediglich in "Falschfarben" dargestellt werden. Ziel war es, aus diesen drei Kanälen eine Echtfarbendarstellung zu berechnen.

Die Vorgehensweise der Arbeitsgruppe der SPOT Image Corporation war empirischer Natur. Es wurden Testgebiete ausgewertet, die die Erdoberfläche in den verschiedensten Facetten repräsentieren, wie Waldgebiete, Wüsten und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Güte der Transformation wurde von "Nicht-Bildinterpretatoren" hinsichtlich der natürlichen Farbgebung bewertet und in die Entwicklung einbezogen.

Weiterhin standen zur Überprüfung dieses Ansatzes Referenzbilder des Satelliten LANDSAT-TM zur Verfügung. Aus den ersten drei Kanälen TM1, TM2 und TM3 (Rot, Grün und Blau) kann eine Echtfarbdarstellung produziert werden. Diese Bilder wurden mit der Echtfarbensimulation von SPOT-Bildern verglichen. Somit konnte man den Transformationsalgorithmus gezielt abändern, um die geforderte natürliche Farbwiedergabe zu erreichen [Messina, 2000].

Die Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis: Liegt ein Farbinfrarot-Bild aus, bei dem der rote Kanal (R_{CIR}) für das nahe Infrarot, der grüne Kanal (G_{CIR}) für den roten Spektralbereich und der blaue Kanal (B_{CIR}) für den grünen Spektralbereich sensitiv ist, so ergeben sich die drei Kanäle der RGB-Darstellung (R_{TC}, G_{TC}, B_{TC}) in natürlicher Farbwiedergabe folgendermaßen:

$$\begin{aligned}R_{TC} &= G_{CIR} \\G_{TC} &= \frac{B_{CIR} \cdot 3 + R_{CIR}}{4} \\B_{TC} &= B_{CIR}\end{aligned}$$

Der neu berechnete grüne Kanal ergibt sich aus dem gewichtetem Mittel des roten und des blauen Kanals des CIR-Bildes. Dieser Ansatz ist in vielen Bildverarbeitungsprogrammen implementiert worden.

Der Algorithmus wurde zwar speziell für SPOT-Daten entwickelt, erzeugt aber auch mit anderen Bildern akzeptable Ergebnisse. Die Ergebnisse, die dieser Ansatz mit den Luftbildern der DSK erzeugt, werden in Kapitel 5 dargestellt. Sie dienen als Vergleichsmaterial zu den in dieser Arbeit entwickelten Algorithmen (siehe Kapitel 4).

3.2 Die Synthese nach spektraler Extrapolierbarkeit

Ein weiterer Ansatz wurde im Rahmen des Projektes UTOMA¹ untersucht, das in den Jahren 1995 / 1996 ins Leben gerufen wurde. Innerhalb dieses Projektes wurden unter anderem Bilder des indischen Fernerkundungssatelliten IRS-1C ausgewertet. Diese Bilder bestehen aus drei Kanälen (infrarot, rot und grün), die zusammen eine CIR-Darstellung simulieren. Im Rahmen dieses Projektes war es unabdingbar, eine Echtfarbdarstellung zu berechnen. Dies wurde erreicht, indem der fehlende blaue Kanal simuliert wurde. Es wurde ein Ansatz gewählt, der von der stark vereinfachten spektralen Extrapolierbarkeit ausgeht:

$$\begin{aligned} R_{TC} &= G_{CIR} \\ G_{TC} &= B_{CIR} \\ B_{TC} &= a_1 \cdot G + a_2 \cdot R + a_3 \cdot NIR \quad \text{mit} \quad \sum_{i=1}^3 a_i = 1. \end{aligned}$$

Um diese Transformation durchführen zu können, sind zuvor die drei Parameter a_1 , a_2 und a_3 zu bestimmen. Diese wurde von [Schlüter, 2000] für IRS-1C-Bilder empirisch ermittelt:

$$\begin{aligned} a_1 &= +2,5 \\ a_2 &= -1,0 \\ a_3 &= -0,5 \end{aligned}$$

Die Parameter sind nicht nur von der Art der vorliegenden Daten (Luftbilder oder Satellitenbilder) sondern auch von den zuvor oder anschließend durchgeführten Helligkeits- und Kontraständerungen abhängig. Sie sind daher für den Einzelfall geeignet abzuändern.

In der Abbildung 3.1 ist eine IRS-1C-Aufnahme und ihre simulierte Echtfarbdarstellung dargestellt [Schlüter, 2000].

Dies ist ein rein heuristisches Verfahren und wurde innerhalb dieser Diplomarbeit nicht weiter verfolgt.

¹Updating of small-scale **TO**pographic **MA**ps (1 : 200 000) using MOMS-2P data



Abbildung 3.1: IRS-1C-Aufnahme (links) und simulierte Echtfarbendarstellung (rechts)
[Schlüter, 2000]

Kapitel 4

Die Synthese von Echtfarbenbildern im IHS-Farbraum

Der Vorteil des IHS-Farbraumes in bezug auf die Farbdarstellung liegt in der Anzahl der Parameter, die Einfluß auf die Farbwiedergabe ausüben. Je geringer die Anzahl ist, umso leichter wird die gezielte Bildmanipulation. Während im RGB-Farbraum alle drei Koordinaten die Farbe beeinflussen, wirken sich im IHS-Farbraum nur die Komponenten Hue und Saturation auf die Farbe aus. Eine Veränderung in der Intensität hat nur Einfluß auf die Helligkeit des Bildes und kann hier vernachlässigt werden.

Darüber hinaus sind die Koordinaten des Farbvektors im IHS-Farbraum, wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, der menschlichen Farbwahrnehmung angepaßt. Farbliche Diskrepanzen, die visuell erkannt werden, können mit den Koordinaten *direkt* beseitigt werden.

Aufgrund dessen werden im Rahmen dieser Diplomarbeit zwei verschiedene Algorithmen entworfen, die Bildmanipulationen im IHS-Farbraum vornehmen. Hierzu muß für jede Bildtransformation erst die Überführung der Eingabebilder vom RGB-Farbraum in den IHS-Farbraum nach Gleichungen 2.2 und 2.3 vorgenommen werden. Da die Darstellung der Ergebnisse auf dem Monitor jedoch weiterhin im RGB-Farbraum erfolgen muß, ist anschließend die inverse Transformation nach Gleichungen 2.4 und 2.5 zurück in den RGB-Farbraum notwendig.

Der erste Algorithmus, die parametrische Synthese von Echtfarbenbildern, wird in Abschnitt 4.2 vorgestellt. Er wird in Abschnitt 4.2.3 durch eine Klassifizierung mit dem NDVI verfeinert und in Abschnitt 4.2.4 als Grundlage für einen erweiterten Lösungsansatz

verwendet. In Abschnitt 4.3 wird der zweite Algorithmus vorgestellt, der eine Echtfarben-
darstellung mit Hilfe der Histogrammangleichung erstellt. Wie der erste Ansatz wird auch
der zweite wiederum mit dem NDVI verfeinert und anschließend als Grundlage für den
zuvor angesprochenen erweiterten Lösungsansatz verwendet.

4.1 Die verwendeten Testbilder

Voraussetzung für die beiden folgenden Transformations-Algorithmen ist die Existenz ei-
nes Referenzpaares von Bildern sowohl in CIR-Darstellung als auch in Echtfarben-
darstellung. Diese Bedingung wurde von der DSK erfüllt. Sie stellte als Testmaterial Aufnahmen
der Halde Rungenberg in CIR-Darstellung von 1998 und in Echtfarben-
darstellung von 1999 zur Verfügung. Anhand dieser Bilder wird die Entwicklung der Algorithmen veran-
schaulicht. Aufgrund der zeitlichen Trennung beider Aufnahmen kann das Material nicht



Abbildung 4.1: Die Halde Rungenberg im
Colorinfrarotbild (vom 23.04.1998)



Abbildung 4.2: Die Halde Rungenberg im
Echtfarbenbild (vom 16.03.1999)

als optimale Voraussetzung für die nachfolgend beschriebenen Algorithmen angesehen
werden. Besonders Aufschüttungshalden sind durch eine kontinuierliche Veränderung in
Form und Aussehen gekennzeichnet. Während bereits begrünte Flächen ihr Aussehen und
damit auch die Darstellung im Luftbild kaum verändern, unterliegen Aufschüttungsber-

che bis zum Abschluß der Rekultivierungsmaßnahmen einem andauernden Wandel. Dies ist in den vorliegenden Bildern in Abbildung 4.1 und 4.2 deutlich zu erkennen. Während sich links oben in der Ecke des CIR-Bildes noch eine Aufschüttungsfläche befindet (weiße Fläche), ist sie im Echtfarben-Bild bereits begrünt. Da die folgenden Ansätze von einem identischen Gelände in beiden Darstellungsarten ausgehen, ist dieser veränderte Bereich kritisch zu berücksichtigen.

4.2 Die parametrische Synthese von Echtfarbenbildern

Der erste erarbeitete Ansatz schafft einen Zusammenhang im Hue- und Saturation-Kanal zwischen einer CIR- und einer Echtfarben-Darstellung in Form von Parametern.

4.2.1 Die Ermittlung der Parameter α und k

Liegen zwei Testbilder vom gleichen Gelände sowohl in Echtfarbendarstellung (TC) als auch in Farbinfrarotdarstellung (CIR) vor, so besteht zwischen den Hue-Kanälen folgender Zusammenhang (siehe Abbildung 4.3):

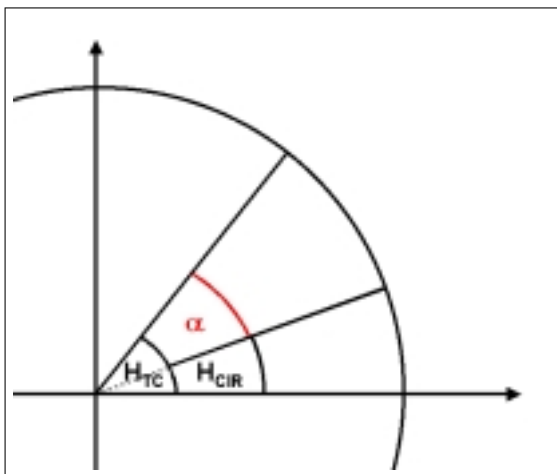


Abbildung 4.3: Der Winkel α

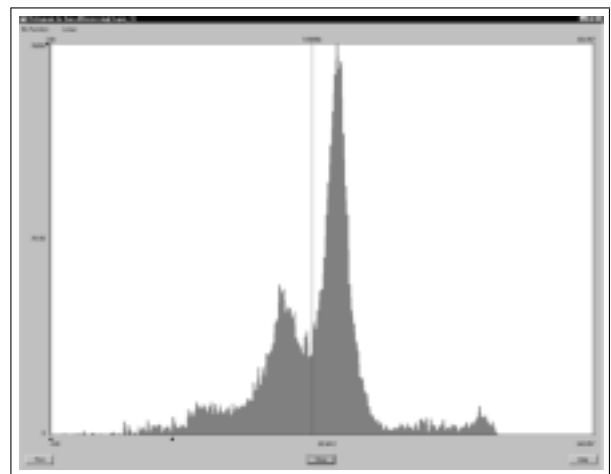


Abbildung 4.4: Das Histogramm des Differenzbildes aus den Hue-Kanälen

$$Hue_{TC} = Hue_{CIR} + \alpha,$$

aufgelöst nach der Unbekannten ergibt sich:

$$\alpha = Hue_{TC} - Hue_{CIR}, \quad \alpha \in [-180^\circ; +180^\circ]. \quad (4.1)$$

Wie in Abschnitt 2.5 erläutert, erstreckt sich der Definitionsbereich der Hue-Koordinate im IHS-Farbraum von 0° bis 360° . Demzufolge ist der Winkel α im Bereich von -180° bis $+180^\circ$ definiert. Wird nach Gleichung 4.1 das Differenzbild erzeugt, so stellt der Wert jedes Pixels einen Winkel α dar. Abbildung 4.4 zeigt das zugehörige Histogramm für die vorliegenden Testbilder der Halde Rungenberg. Es wird nun ein Winkel α ermittelt, der auf alle Pixel des CIR-Bildes aufaddiert wird, um die Farbtöne einer Echtfarbenbearbeitung erhalten zu können. Da nicht *alle* Winkel des Definitionsbereiches von α berücksichtigt werden können sondern nur *ein* einziger, wird ein Wert ermittelt, der auf möglichst viele Pixel zutrifft. Daher wird für den folgenden Algorithmus der Wert mit der größten Anzahl von Pixeln dem Histogramm des Differenzbildes entnommen und als Winkel α eingeführt.

Ähnliche Überlegungen lassen sich für die Saturation-Kanäle anstellen. Jedoch besteht hierbei eine multiplikative Beziehung zwischen den beiden Kanälen der Referenzbilder (siehe Abbildung 4.5):

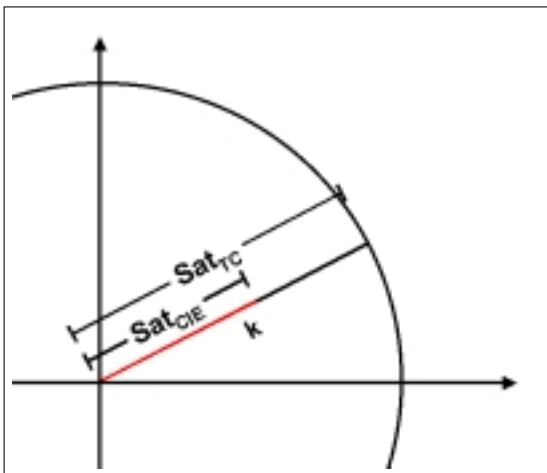


Abbildung 4.5: Der Quotient k

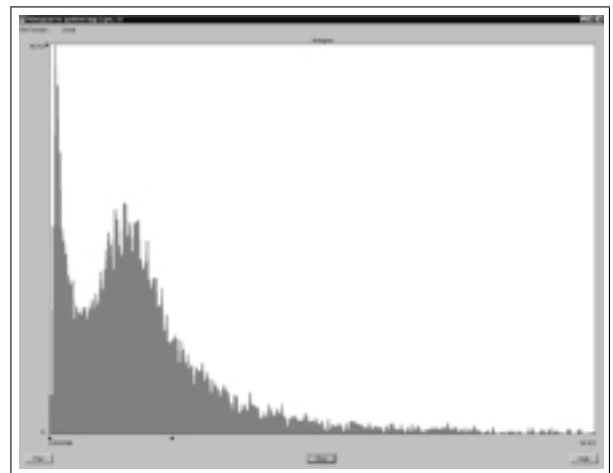


Abbildung 4.6: Das Histogramm des Quotientenbildes aus den Saturation-Kanälen

$$Saturation_{TC} = Saturation_{CIR} \cdot k,$$

nach der Unbekannten aufgelöst ergibt sich:

$$k = \frac{Saturation_{TC}}{Saturation_{CIR}}, \quad k \in \mathbf{R}^+. \quad (4.2)$$

Aus dem Definitionsbereich der Koordinate Saturation im IHS-Farbraum ($k \in [0; 1]$) ergibt sich, daß k für alle positiven reellen Zahlen definiert ist. Wird nach Gleichung 4.2 das Quotientenbild erzeugt, so stellt jedes Pixel einen Quotienten k dar. Abbildung 4.6 zeigt das zugehörige Histogramm für die vorliegenden Testbilder der Halde Rungenberg. Analog zum Winkel α wird der für die Synthese benötigte Quotient k als Wert mit maximaler Häufigkeit dem Histogramm entnommen. Die Abbildung 4.7¹ zeigt zusammenfassend die Ermittlung der Parameter α und k . Nach der Transformation der Referenz-Bilder CIR_{RGB} und TC_{RGB} in den IHS-Farbraum werden durch das Differenzen- bzw. Quotientenbild die Unbekannten ermittelt.

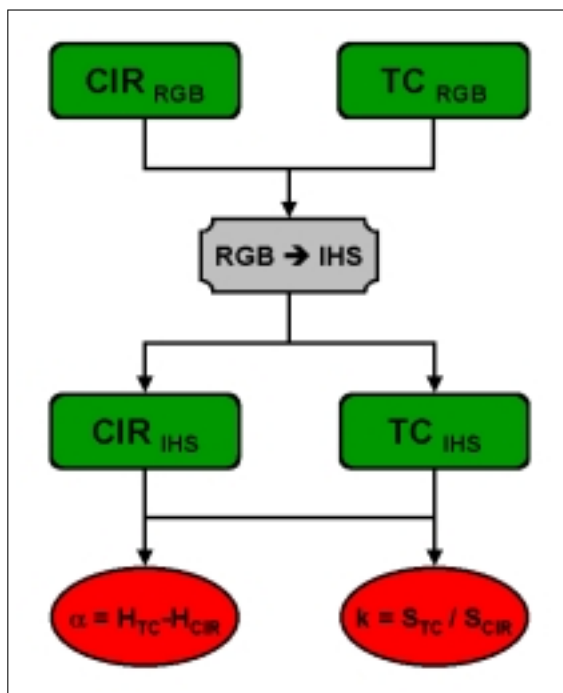


Abbildung 4.7: Ablaufschema zur Bestimmung der Parameter α und k

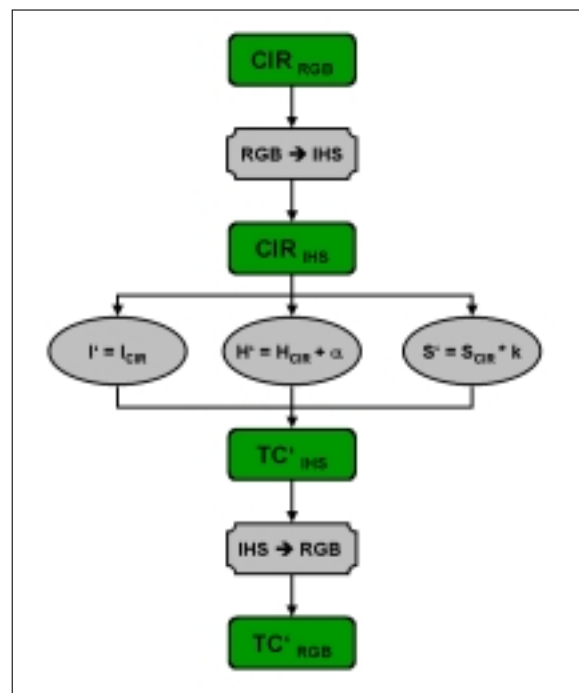


Abbildung 4.8: Ablaufschema zur Transformation mit den Parametern α und k

¹Für eine bessere Übersicht werden in den Ablaufschemen Bilder grün, Transformationen grau und Parameter rot unterlegt (siehe auch Legende in Abbildung 4.15).

4.2.2 Der Einsatz der Parameter α und k

Die Parameter α und k werden im nächsten Schritt auf das vorliegende CIR-Testbild angewendet. Wie in Abbildung 4.8 dargestellt, wird das Bild nach Gleichung 2.2 in den IHS-Farbraum transformiert und auf den Hue-Kanal der gefundene Winkel α addiert. Der Saturation-Kanal wird mit dem zuvor ermittelten Quotienten k multipliziert. Die berechneten Kanäle H' und S' ergeben mit dem Intensity-Kanal des CIR-Bildes, der ohne Veränderung übernommen wird, nach der Rück-Transformation in den RGB-Farbraum die Echtfarbandarstellung TC'_{RGB} . Das Ergebnis ist in Abbildung 4.9 dargestellt. Werden vorerst nur die Farbtöne (Hue) in der Darstellung betrachtet, so läßt sich folgendes im Bild feststellen:



Abbildung 4.9: Parametrischer Ansatz unter Verwendung von α und k

- Grüne Objekte (Vegetation) und graue Objekte (Industriegebäude, Straßen) werden korrekt dargestellt,
- rote Objekte hingegen erscheinen nicht rot, sondern werden grün (siehe Ausschnittsvergrößerung).

Demnach muß ein Mangel in der Transformation vorliegen, der leicht am Histogramm in Abbildung 4.4 abzulesen ist: Auf das CIR-Bild wurde in der Transformation lediglich *eine* Additive α im Hue-Kanal angewendet, obwohl neben dem großen Peak ein zweiter, kleinerer Peak zu erkennen ist. Wird nun nachstehende Definition anhand des Histogramms aus Abbildung 4.4 vorgenommen

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \text{Wert des ersten Maximums;} \\ \alpha_2 &= \text{Wert des zweiten Maximums,}\end{aligned}$$

so läßt sich an der Abbildung 4.10 folgendes ablesen: Ein negativer Winkel α_1 (grüne Signatur) erscheint vorrangig in den Grünflächen und ein positiver Winkel $\alpha_2 > 50$ (rote Signatur) kommt hauptsächlich in versiegelten Flächen (Straßen, Gebäude) vor. Die schwarze Signatur verdeutlicht den eingangs beschriebenen Nachteil der Referenzbilder. Die zeitliche Differenz der Aufnahmezeitpunkte wird dadurch deutlich, daß ein Winkel α im Bereich zwischen 0° und 50° nur in der zuletzt bearbeiteten Aufschüttungsfläche auftritt. Nachfolgend wird dieser Bereich vernachlässigt, da er nicht nur durch die unterschiedliche Farbdarstellung beider Bilder entsteht, sondern vorrangig durch das veränderte Gelände zustande kommt.

Der nächste Abschnitt erläutert, wie eine Unterscheidung zwischen Grün- und versiegelter Fläche vorgenommen werden kann, um die Winkel α_1 und α_2 nach Flächen getrennt addieren zu können. Hilfsmittel stellt der **Normalized Difference Vegetation Index** (NDVI) dar, mit dem eine einfache Klassifizierung durchgeführt wird.

Eine entsprechende Unterscheidung im Saturation-Kanal läßt sich nach dieser Methode nicht vornehmen, wie in der Abbildung 4.11 deutlich wird. Zu erkennen ist, daß Quotienten mit Werten $k > 5$ (rote Signatur) ebenso in Grün- *und* versiegelten Flächen vorkommt, wie es im Bereich $k < 5$ (grüne Signatur) der Fall ist. Somit ist eine Klassifizierung dieser beiden Flächen nicht möglich. Weiterhin sieht man anhand der schwarzen Signatur auch hier den Nachteil der zeitlichen Differenz der Referenzbilder. Ein Quotient $k < 1$ kommt

fast nur in der zuletzt bearbeiteten Aufschüttungsfläche kommt vor. Dieser Bereich des Quotienten wird vernachlässigt, da er nicht nur durch die unterschiedliche Farbdarstellung beider Bilder entsteht, sondern vorrangig durch das veränderte Gelände zustande kommt.

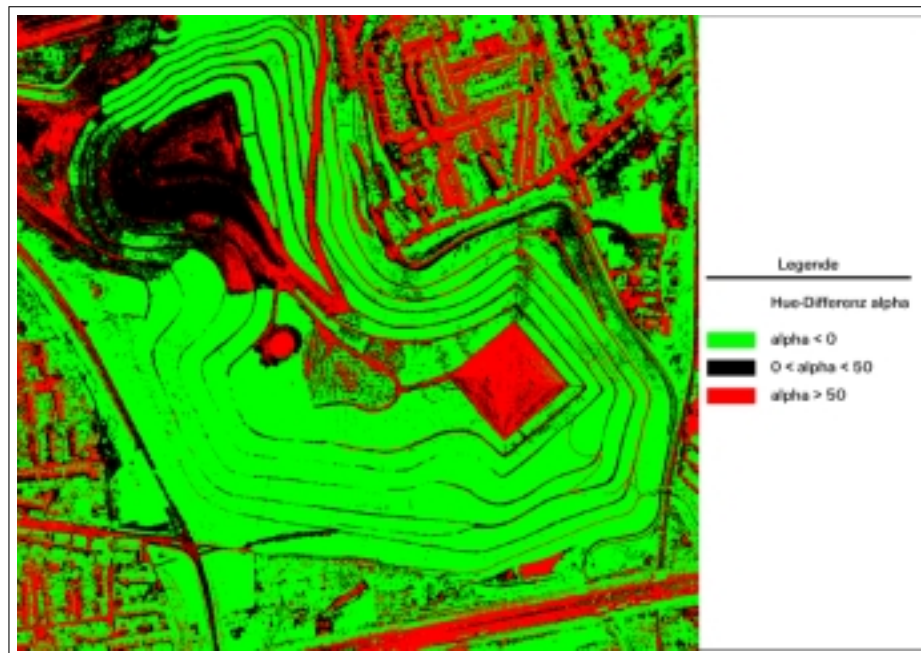


Abbildung 4.10: Verteilung des Winkels α

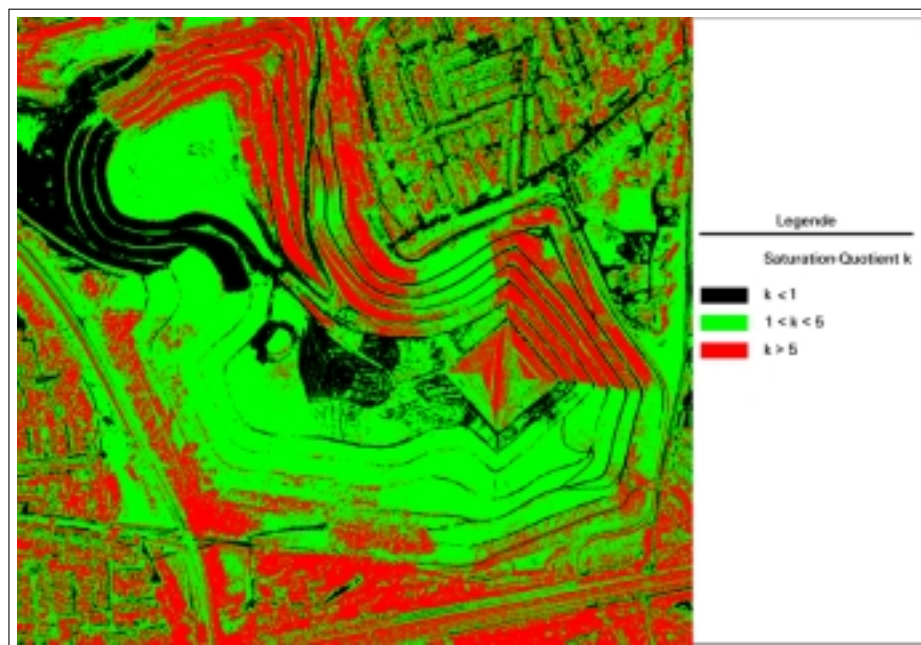


Abbildung 4.11: Verteilung des Quotienten k

4.2.3 Verfeinerung der Synthese durch den NDVI

Berechnung des NDVI

Der spektrale Reflexionsgrad gesunder Vegetation (saftige Wiese) zeigt einen sprunghaften Anstieg des Reflexionsgrades bei 700 nm, während unbewachsener Boden je nach Art einen stetigen, geradlinigen Verlauf aufweist (siehe Abbildung 4.12). Je aktiver das Chlorophyll der Pflanzen ist, desto größer ist der Anstieg des Reflexionsgrades im nahen Infrarot. Neben der Stärke und Vitalität der Vegetation läßt sich somit auch die Unterscheidung der Vegetation von anderen Objekten folgern. Dieser Umstand wird bei der Berechnung des NDVI genutzt:

$$NDVI = \frac{IR - Rot}{IR + Rot}, \quad (4.3)$$

wobei IR den für das nahe Infrarot und Rot den für das sichtbare rote Licht sensitiven Kanal darstellt. Dies ist ein bereits normiertes Verhältnis von Infrarot zu Rot, sein Wertebereich liegt zwischen -1 und $+1$. Die Quotientenbildung mindert topographische und atmosphärische Effekte und ermöglicht so die gleichzeitige Betrachtung großer Gebiete [Neumann-Mayer, 1996].

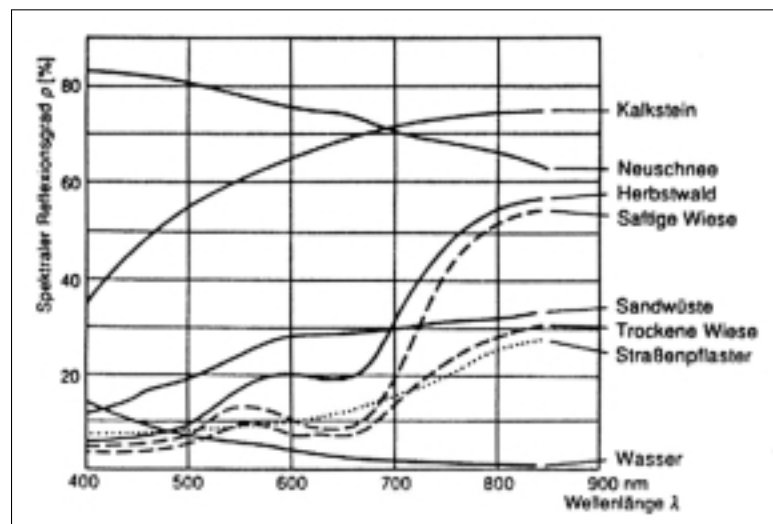


Abbildung 4.12: Spektrale Reflexionsgrade verschiedener Oberflächen [Albertz, 1991]

Anwendung des NDVI

Abbildung 4.13 zeigt den NDVI berechnet für das CIR-Testbild der Halde Rungenberg. Es ist zu erkennen, daß Grünflächen einen $NDVI > 0,1$ aufweisen (gelbe und grüne Signatur). Nicht-vegetative Bereiche werden durch einen $NDVI < 0,0$ identifiziert (rote Signatur). Im Bereich zwischen 0,0 und 0,1 (orange Signatur) liegt ein Übergangsbereich vor, in dem sowohl vegetative Bereiche (Mitte der Halde) als auch nicht-vegetative Bereiche (schräge Häuserreihe rechts oben) liegen. Um nun den zuvor in Abschnitt 4.2.2 angesprochenen

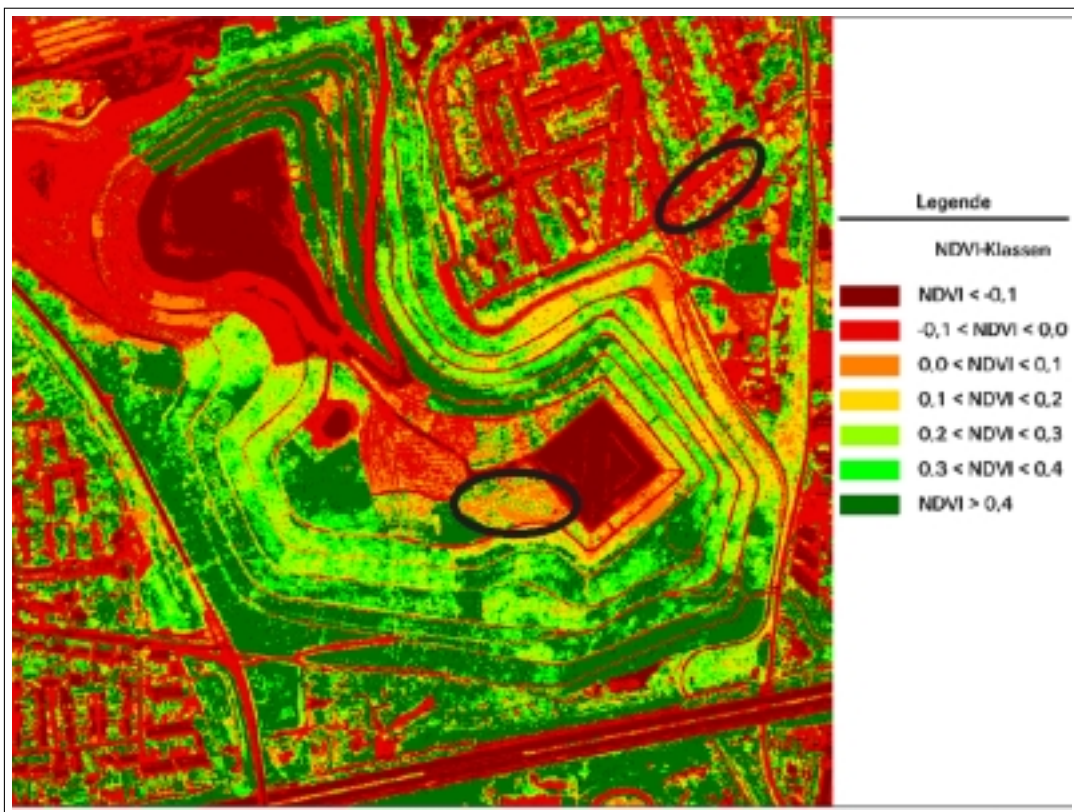


Abbildung 4.13: Der NDVI berechnet für das Testbild Rungenberg

Fehler, daß rote Objekte nicht korrekt transformiert werden, zu beheben, muß vor der parametrischen Synthese der NDVI nach Gleichung 4.3 bestimmt werden. In Abhängigkeit dieses Klassifikators werden in der Transformation die zuvor definierten Winkel α_1 und α_2 auf den Hue-Kanal des CIR-Bildes addiert:

$$NDVI > S_{NDVI} : H_{TC} = H_{CIR} + \alpha_1$$

$$NDVI \leq S_{NDVI} : H_{TC} = H_{CIR} + \alpha_2$$

Hierzu muß zuvor der Schwellwert S_{NDVI} gesetzt werden, der dem Bild in Abbildung 4.13 manuell entnommen wird. Wie oben beschrieben, muß dieser im vorliegenden Fall zwischen 0,0 und 0,1 liegen. Im weiteren läuft der Algorithmus wie im vorigen Abschnitt beschrieben ab (siehe Ablaufschema in Abbildung 4.15). Die Abbildung 4.14 zeigt das Ergebnis. Die Hausdächer erscheinen nun in ihrer natürlichen rote Farbe (siehe Ausschnittsvergrößerung). In Abbildung 4.14 verschlechtert sich jedoch die Darstellung in anderen



Abbildung 4.14: Parametrischer Ansatz zur Echtfarbandarstellung unter Verwendung der Parameter α_1 , α_2 und k

Bereichen, die in der vorherigen Transformation zufriedenstellend dargestellt wurden. Die hellen Abbaugelände bekommen einen Rotstich. Desweiteren ist die graue Abbaufäche links oben nun braun geworden. Die Ursache hierfür liegt an der durchgeführten Klassifizierung. Es wurde für diese Darstellung der Schwellwert S_{NDVI} bei 0,1 angesetzt, der eine Abgrenzung zwischen Grün- und versiegelter Fläche vornehmen soll. Wie bereits erwähnt, liegt zwischen 0,0 und 0,1 eine Übergangszone, in der die Zugehörigkeit zu den Bereichen Grünflächen / versiegelte Flächen unscharf definiert ist. Pixel mit einem NDVI in diesem Bereich können somit den falschen Farbton zugewiesen bekommen.

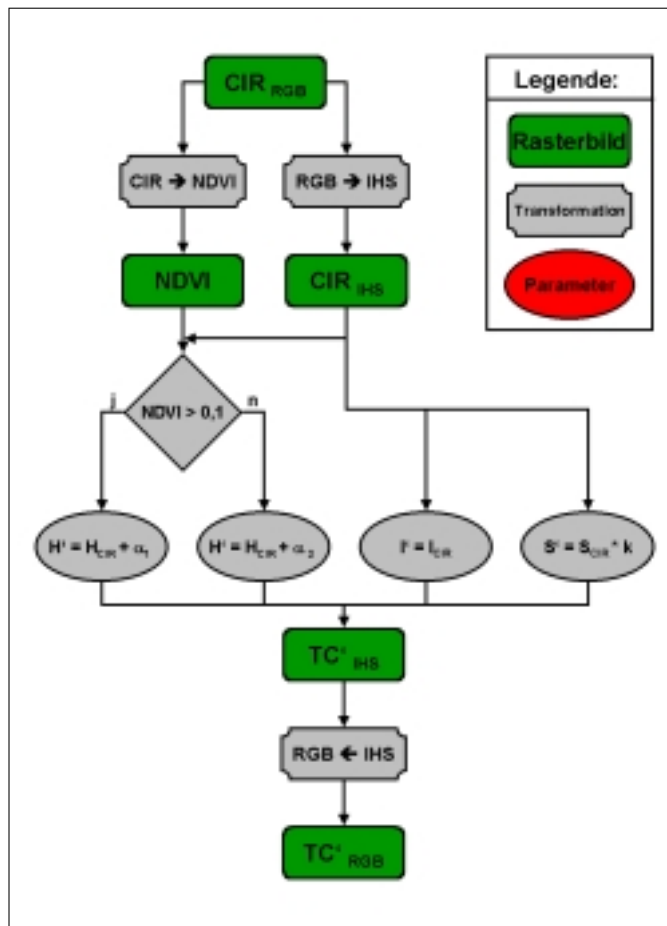


Abbildung 4.15: Ablaufschema zur Synthese von Echtfarbenbildern mit den Parametern α_1 , α_2 und k

4.2.4 Kanalteilung

Mit dem bisher erarbeiteten parametrischen Algorithmus kann ein CIR-Bild in eine Echtfarbendarstellung überführt werden, indem alle drei Kanäle der RGB-Darstellung neu erstellt werden. Eine andere Möglichkeit sieht vor, die im CIR-Bild bereits vorhandene Information im grünen (G_{CIR}) und blauen (B_{CIR}) Kanal zu nutzen, indem diese Kanäle ohne Veränderung in das Echtfarbenbild übernommen werden. Dabei soll folgende Kanal-Zuordnung der RGB-Darstellung in Echtfarben vorgenommen werden:

$$\begin{aligned} \text{Roter Kanal} &= G_{CIR} \\ \text{Grüner Kanal} &= G_{TC'} \\ \text{Blauer Kanal} &= B_{CIR} \end{aligned} \tag{4.4}$$

Lediglich der grüne Kanal der simulierten Echtfarbendarstellung wird durch den zuvor beschriebenen Algorithmus nach dem Ablaufschema in Abbildung 4.15 neu erstellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.16 dargestellt.



Abbildung 4.16: Echtfarbendarstellung nach der parametrischen Synthese unter Verwendung der Kanalteilung

Im Gegensatz zum zuvor erstellten Bild in Abbildung 4.14 sind folgende Vorteile zu erkennen:

- kräftigeres Grün in den Vegetationsflächen
- kein Rotstich im Abbauggebiet.

4.3 Die Synthese durch Histogrammangleichung

Die in Abschnitt 4.2 beschriebene parametrische Transformation hat bereits im Ansatz einen Fehler verursacht, der bisher unberücksichtigt blieb. Die Verwendung von α_1 , α_2 und k vernachlässigt, daß beide Parameter (α und k) einen Definitionsbereich aufweisen, der nicht nur aus einem einzigen (k), bzw. aus zwei (α_1, α_2) Werten besteht. Um diesen Fehler zu beheben, müssen *alle* Winkel, die im Differenzenbild und *alle* Quotienten, die im Quotientenbild erscheinen, bei der Erstellung der neuen IHS-Kanäle berücksichtigt werden. Auf jeden Wert der Pixel im Hue-Kanal muß ein individueller Winkel α addiert werden, und jeder Saturation-Wert muß mit einem individuellen Faktor multipliziert werden.

Eine im Rahmen dieser Arbeit in Betracht gezogene Möglichkeit, diesen Fehler zu beheben, ist das Verfahren der Histogrammangleichung (engl.: Histogram-Matching). Durch dieses Verfahren werden die Histogramme im Hue- und Saturation-Kanal des CIR-Bildes den entsprechenden Histogrammen des Echtfarbenbildes derart angeglichen, daß sie das gleiche Aussehen bekommen. Im Abschnitt 4.3.1 wird zuerst die Transformationsfunktion bestimmt, die diese Angleichung vollzieht. Anschließend wird sie in Abschnitt 4.3.2 auf die CIR-Bilder angewendet, um eine Echtfarbbildendarstellung zu berechnen.

4.3.1 Die Ermittlung der Transformationsfunktion

Die Histogrammangleichung hat als Ziel, das Histogramm $p_1(g)$ des Eingangsbildes $\mathbf{S}_1 = s_1(x, y)$ mittels einer Transformationsfunktion f dem Histogramm $p_3(g)$ eines Vergleichsbildes $\mathbf{S}_3 = s_3(x, y)$ anzugleichen. Sie beruht auf dem Verfahren der Histogramm-linearisierung (Histogrammverebnung), das zweimal angewendet wird [Heipke, 1998].

1. Histogrammverebnung von $p_1(g)$ liefert $p_2(g)$
2. Inverse Histogrammverebnung von $p_2(g)$ liefert $p_3(g)$

Zu 1.: Bei der Histogramm-linearisierung wird das eingelesene Bild derart transformiert, daß die Grauwerte der Ausgabe über die gesamte Grauwertskala gleichverteilt sind. Dies geschieht mit Hilfe der Summenhäufigkeitsfunktion als Übertragungsfunktion. Alle Grauwerte sollen im resultierenden Bild die selbe relative Häufigkeit von

$$p_s = \frac{1}{256}$$

bekommen. Wenn ein einkanaliges Eingabebild $\mathbf{S}_e = (s_e(x, y))$ mit der Grauwertmenge $G = \{0, 1, \dots, 255\}$ vorliegt, sieht der Algorithmus zur Histogrammlinearisierung wie folgt aus [Haberäcker, 1995]:

- i. Berechnung des Histogramms $p(g)$ des Bildes

$$p(g) = \frac{a_g}{M \cdot N};$$

- ii. Berechnung der relativen Summenhäufigkeiten:

$$s_e(g) = \sum_{k=0}^g p_e(k), \quad g = 0, 1, \dots, 255;$$

- iii. Berechnung der Skalierungsfunktion f_n :

$$f_n(g) = 255 \cdot s_e(g); \quad (4.5)$$

- iv. Berechnung bzw. Skalierung des Ausgangsbildes \mathbf{S}_a :

$$s_a(x, y) = f_n(s_e(x, y)).$$

- (x, y) : Ortskoordinaten des Bildpunktes
 $s(x, y)$: Grauwert des Bildpunktes
 M : Anzahl der Zeilen des Grauwertbildes
 N : Anzahl der Spalten des Grauwertbildes
 a_g : Häufigkeit des Auftretens eines Grauwertes

Mit S_1 als Eingangsbild, S_2 als Ausgangsbild und f_1 als Skalierungsfunktion wird nach diesem Schema das verebnete Grauwertbild S_2 erzeugt.

Zu 2.: Dieser Schritt läuft nach dem zuvor in **1.** beschriebenen Algorithmus der Histogrammverebnung ab. Der Unterschied liegt lediglich in der Skalierungsfunktion.

Um das Histogramm des Grauwertbildes \mathbf{S}_3 zu verebnen, und damit \mathbf{S}_2 zu erhalten, muß es analog zum ersten Schritt mit der Funktion f_3 skaliert werden:

$$f_3(g) = 255 \cdot s_3(g)$$

Die inverse Funktion, die das verebnete Histogramm des Grauwertbildes S_2 auf das Histogramm $p_3(g)$ transformiert, lautet dementsprechend:

$$f_2(g) = \frac{1}{255} \cdot s_3^{-1}(g) \quad (4.6)$$

Aus den Gleichungen 4.5 und 4.6 läßt sich durch Verketteten die gesuchte Transformationsfunktion f erzeugen:

$$f := f_2(f_1(g)) = s_3^{-1}(s_1(g)) \quad (4.7)$$

In Bildverarbeitungsprogrammen wird die Funktion nach Gleichung 4.7 in Form einer look-up-Table (LuT)² abgelegt. Der Vorteil liegt vor allem darin, daß der neue Wert nicht für jedes Pixel neu berechnet werden muß, sondern auf einfache Art zugewiesen wird. Dadurch wird primär viel Rechenzeit erspart.

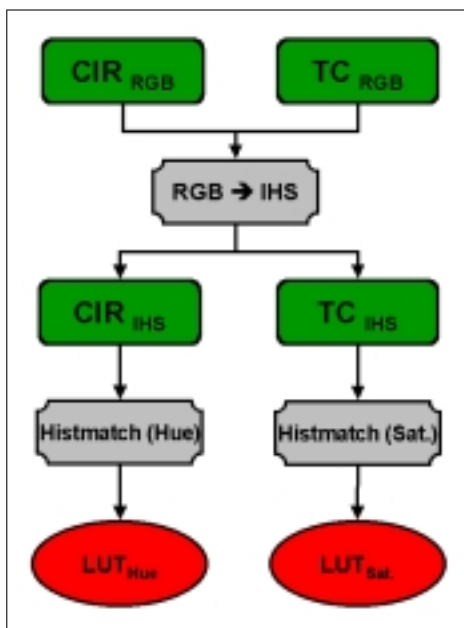


Abbildung 4.17: Ablaufschema zur Bestimmung der LuT für die Kanäle Hue und Saturation

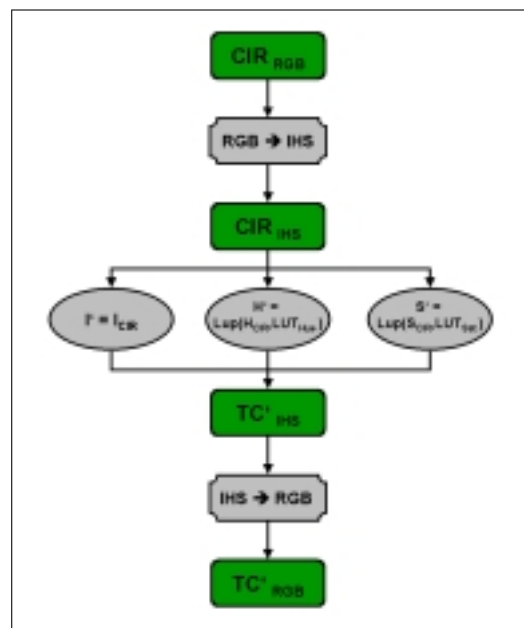


Abbildung 4.18: Ablaufschema zur Histogrammangleichung

²Die look-up-Table ist eine Tabelle mit 256 Einträgen mit den relativen Adressen 0 bis 255. Der Grauwert $s(x, y)$ wird als Index interpretiert, der auf einen der Einträge der look-up-Table zeigt [Haberäcker, 1995].

Die Abbildung 4.17 zeigt das Ablaufschema zur Bestimmung der Funktion f nach Gleichung 4.7 in Form einer look-up-Table. Die vereinfacht dargestellte Transformation „Hist-Match“ erzeugt die LuT für den Hue- und Saturation-Kanal.

4.3.2 Einsatz der Transformationsfunktion

Wurden die LuT einmal mit einem Referenzpaar Bilder erzeugt, dann können CIR-Bilder in eine Echtfarbendarstellung transformiert werden. Die notwendigen Schritte zeigt Abbildung 4.18. Zuerst wird das Bild nach den Gleichungen 2.2 und 2.3 in den IHS-Farbraum transformiert. Die LuT werden anschließend auf das zu transformierende CIR-Bild angewendet. Die Zuweisung der neuen Werte wird hier mit Lup (LookUp) abgekürzt. Die dadurch entstehenden Kanäle H' und S' ergeben mit dem unverändert übernommenen Intensitäts-Kanal des CIR-Bildes nach der Rücktransformation in den RGB-Farbraum nach Gleichungen 2.4 und 2.5 die erwünschte Darstellung in Echtfarben.

4.3.3 Verfeinerung der Synthese durch den NDVI

In Abhängigkeit des Verhältnisses der Anteile von Grün- und versiegelten Flächen des aufgenommenen Geländes ergibt sich immer ein anderes charakteristisches Histogramm in den Hue- und Saturation-Kanälen sowohl in CIR- als auch in Echtfarbendarstellung. Damit verändert sich auch die für die Histogrammangleichung notwendige Transformationsfunktion f . Wird zwischen diesen beiden Flächen unterschieden und dadurch getrennte Transformationsfunktionen ermittelt, wird der Algorithmus unabhängig vom anteiligen Verhältnis von Grün- und versiegelten Flächen.

Mittels des NDVI werden analog zum Abschnitt 4.2.3 (Unterscheidung von versiegelten Flächen und Grünflächen) vier verschiedene LuT für folgende Gebiete erstellt:

- Grünflächen im Hue-Kanal
- Grünflächen im Saturation-Kanal
- versiegelte Flächen im Hue-Kanal
- versiegelte Flächen im Saturation-Kanal

Die Berechnung jeder Tabelle erfolgt getrennt. Das Bild wird erst durch den NDVI klassifiziert. Anschließend werden die LuT in Abhängigkeit des Klassifikators NDVI durch die Histogrammangleichung erstellt.

4.3.4 Kanalteilung

Wie in Abschnitt 4.2.4 dargestellt, können Informationen aus dem grünen und blauen Kanal des CIR-Bildes in der Echtfarbendarstellung verwendet werden. Auch hier wird die Kanalzuordnung nach Gleichung 4.4 berücksichtigt, wodurch nur ein Kanal simuliert werden muß. Bindet man diesen Gedanken in die Synthese durch Histogrammangleichung ein, so ergibt sich die Echtfarbendarstellung in Abbildung 4.19. Das Ergebnis zeigt eine



Abbildung 4.19: Ergebnis der Histogrammangleichung nach der Kanalteilung

natürliche Farbzunordnung in den Grünflächen. Die versiegelten Flächen werden alle bis auf die großen Straßen und die braunen Flächen auf der Halde korrekt dargestellt. Insgesamt ähnelt das Bild sehr stark dem Ergebnis der parametrischen Synthese in Abbildung 4.16.

Kapitel 5

Beispiele

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 4 erarbeiteten Algorithmen an Beispielbildern getestet und mit den Ergebnissen des bestehenden Ansatzes mit gewichtetem Mittel aus Abschnitt 3.1 verglichen. Zur Verfügung stehen Luftbilder der DSK von vier verschiedenen Halden, aufgenommen mit einem Farbinfrarotfilm: Rungenberg, die bereits in Kapitel 4 als Referenzdatenpaar verwendet wurde, Haniel, Norddeutschland und Rheinelbe. An diesen Beispielen ist zu erkennen, daß zwischen der parametrischen Synthese und der Synthese mittels Histogrammgleichung kein auffälliger Unterschied besteht. Aus diesem Grund sind die darauf folgenden Darstellungen auf den Ansatz über die Histogrammgleichung beschränkt, die Ergebnisse des parametrischen Ansatzes und weitere Bildbeispiele sind auf der beigefügten CD zu finden.

Des weiteren wurden Aufnahmen des optomechanischen Scanners Daedalus verwendet. Diese Daten zeichnen sich dadurch aus, daß aus einem Multispektralbild sowohl eine Echtfarbendarstellung als auch eine CIR-Simulation durch geeignete Kanalkombination erstellt werden kann. Somit können die simulierten mit der aus der Kanalkombination erstellten Echtfarbendarstellung verglichen werden.

Die hochauflösenden IKONOS-Satellitenbilder können ebenfalls durch eine Kanalkombination sowohl in Echtfarben als auch in CIR-Simulation dargestellt werden. Ein Bildbeispiel wurde ausgewählt, um die Anwendbarkeit der Algorithmen ansatzweise zu untersuchen.

Nach den Beispielbildern folgt in diesem Kapitel eine Bewertung der mit den Bildern der DSK erzielten Ergebnisse. Weiterhin wird die Möglichkeit der Nutzung der Algorithmen für anderes Datenmaterial anhand der Daedalus- und IKONOS-Aufnahmen bewertet.

5.1 Die Halde Haniel

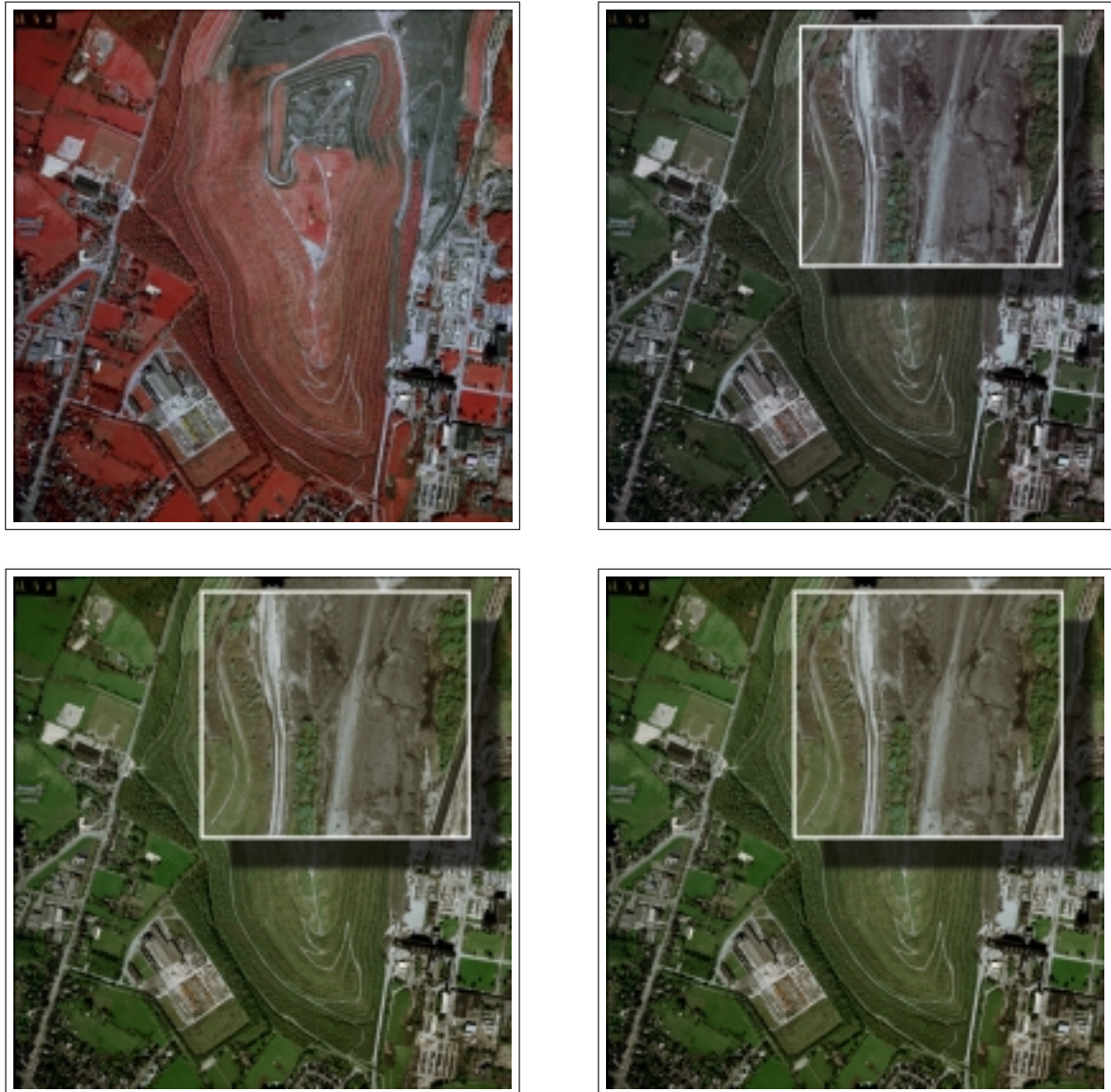


Abbildung 5.1: Die Halde Haniel in CIR-Darstellung (oben links), in Echtfarbendarstellung durch Synthese mit gewichtetem Mittel im RGB-Farbraum (oben rechts), durch parametrische Synthese im IHS-Farbraum (unten links) und durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum (unten rechts).

5.2 Die Halde Norddeutschland

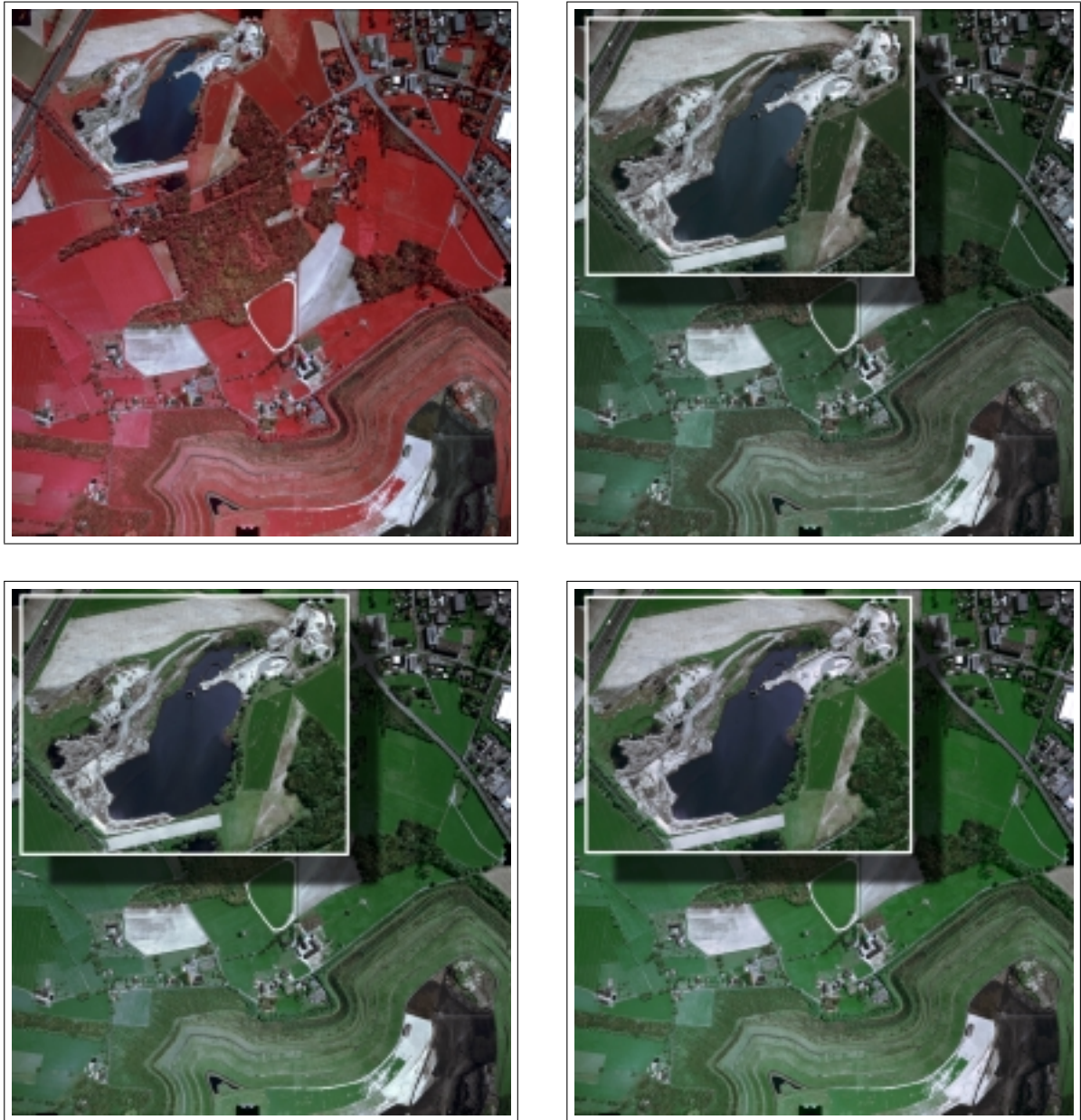


Abbildung 5.2: Die Halde Norddeutschland in CIR-Darstellung (oben links), in Echtfar-bendarstellung durch Synthese mit gewichtetem Mittel im RGB-Farbraum (oben rechts), durch parametrische Synthese im IHS-Farbraum (unten links) und durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum (unten rechts).

5.3 Die Halde Rheinelbe

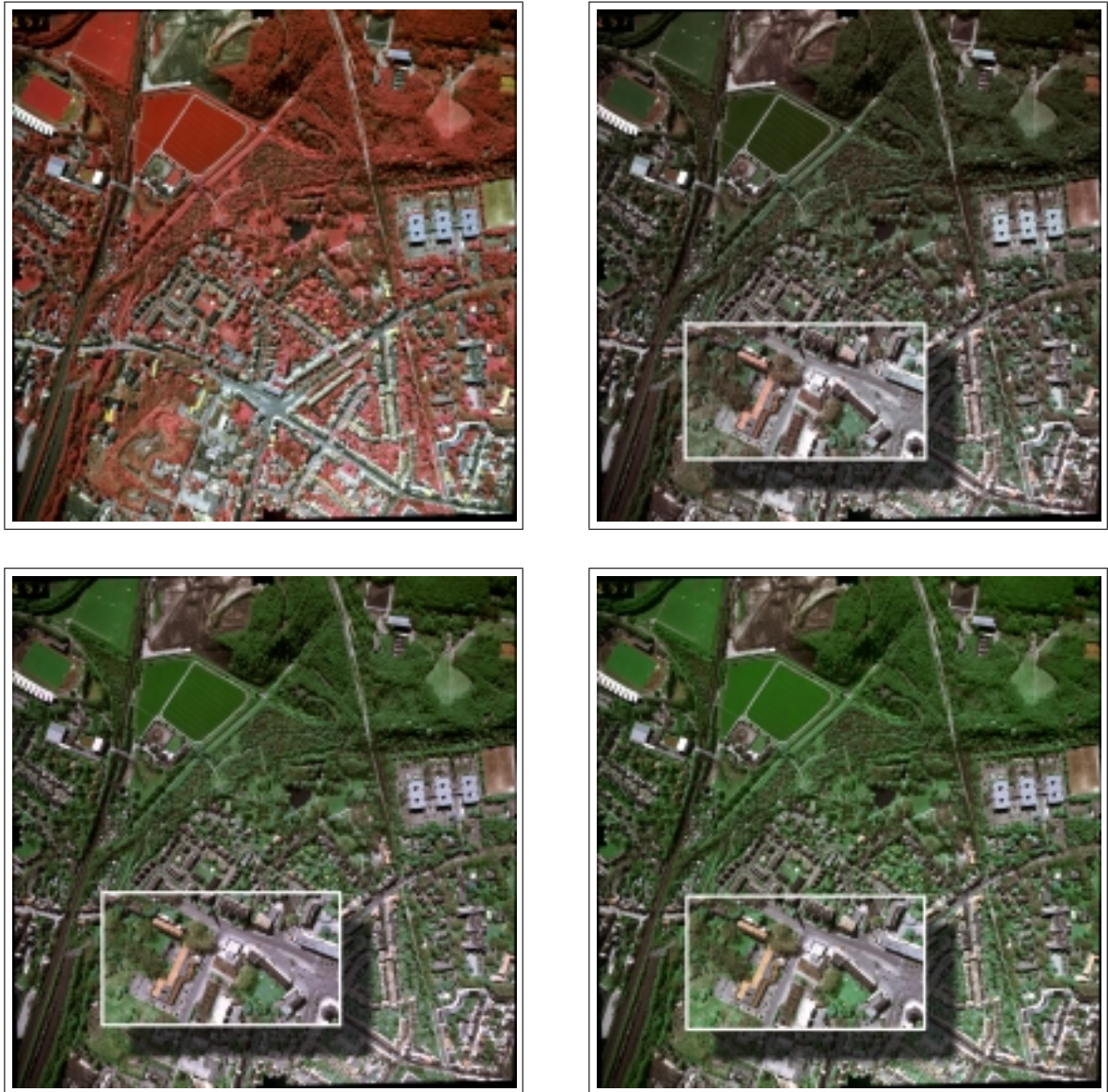


Abbildung 5.3: Die Halde Rheinelbe in CIR-Darstellung (oben links), in Echtfarbendarstellung durch Synthese mit gewichtetem Mittel im RGB-Farbraum (oben rechts), durch parametrische Synthese im IHS-Farbraum (unten links) und durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum (unten rechts).

5.4 Die Halde Rungenberg

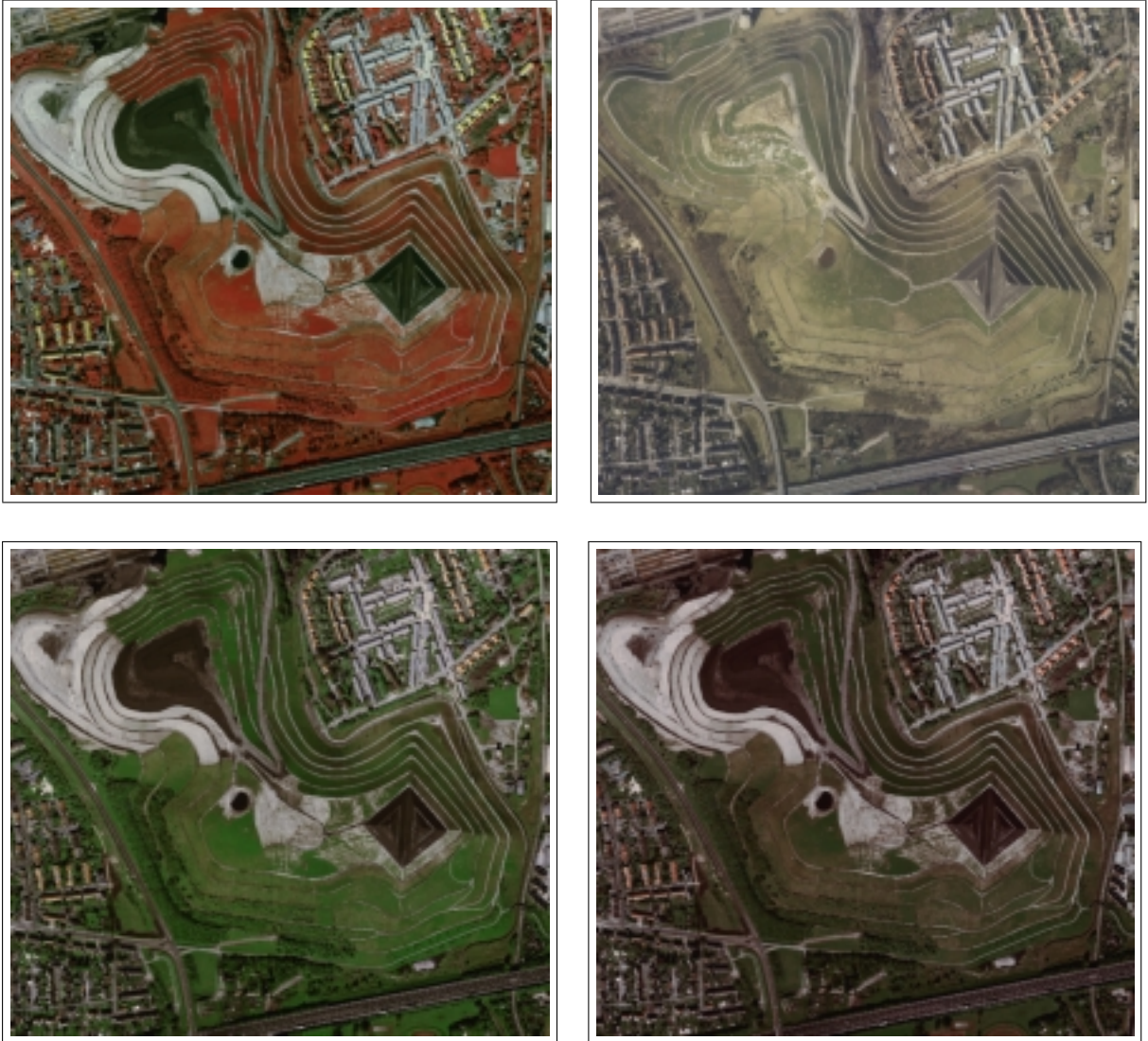


Abbildung 5.4: Die Halde Rungenberg in CIR-Darstellung (oben links), in Echtfarben mit konventionellem Farbfilm (oben rechts), in Echtfarbendarstellung durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum (unten links) und in Echtfarbendarstellung durch Synthese mit gewichtetem Mittel im RGB-Farbraum (unten rechts).

5.5 Daedalus

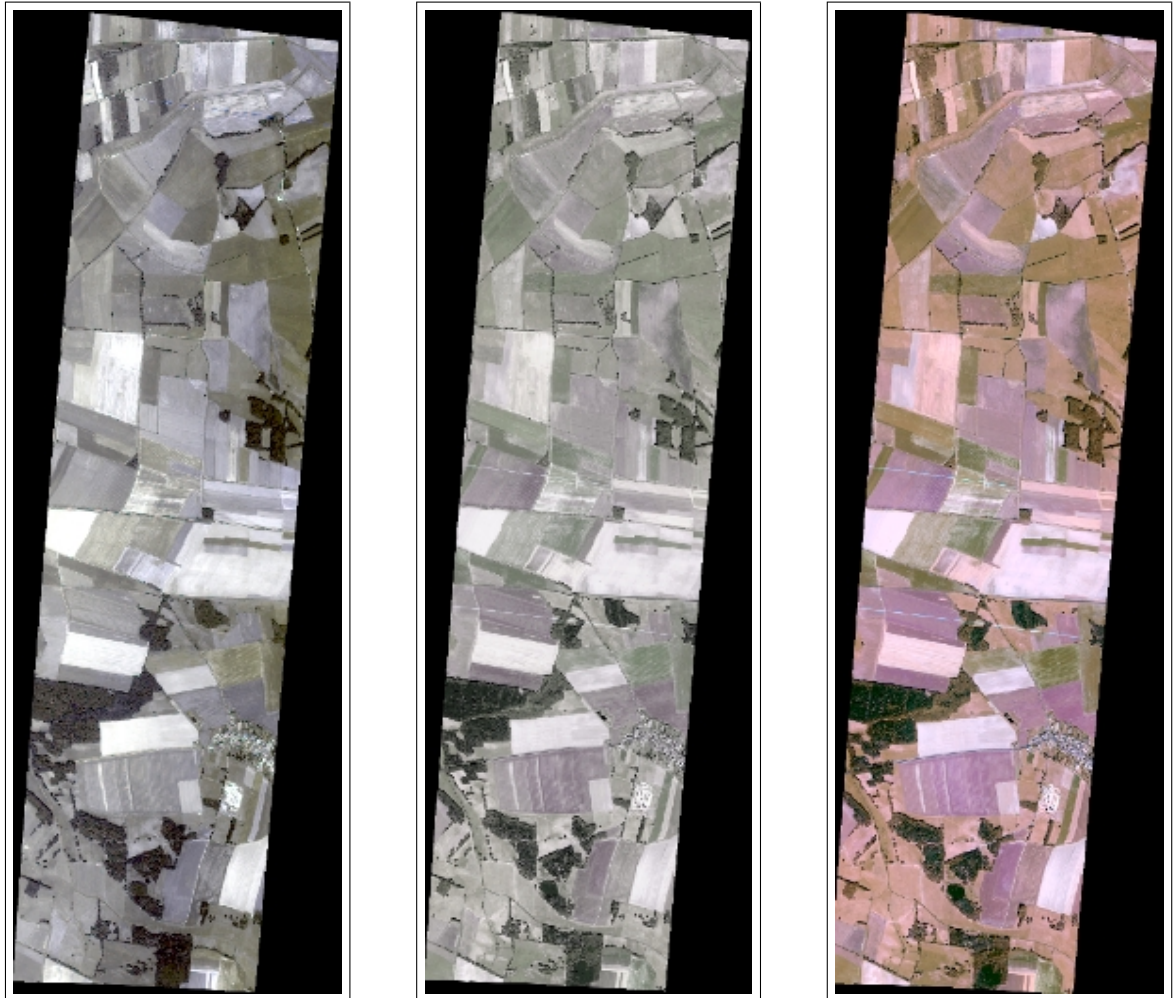


Abbildung 5.5: Daedalus-Aufnahmen in Echtfarbendarstellung durch Kombination der ersten drei Aufnahme-Kanäle (links), durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum (Mitte) und durch Synthese mit gewichtetem Mittel im RGB-Farbraum (rechts).

5.6 IKONOS



Abbildung 5.6: Aus der CIR-Simulation der Ikonos-Aufnahme (oben links) ergeben sich die Echtfarbandarstellungen durch die Synthese mittels Histogrammangleichung (unten links) und durch die Synthese mit gewichtetem Mittel (unten rechts). Als Vergleich dient die Echtfarbandarstellung durch Kombination der ersten drei Kanäle des Multispektralbildes (oben rechts).

5.7 Bewertung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die mit den Bildern der DSK erzielten Ergebnisse hinsichtlich ihrer späteren Nutzbarkeit als Layer in einem GIS bewertet. Die entwickelten Transformationsansätze werden weiterhin hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf andere Daten anhand der Bilder von Daedalus und Ikonos beurteilt.

5.7.1 Die Bilder der DSK

Zur besseren Interpretation sind die Beispielbilder in einem Ausschnitt jeweils vergrößert worden. Für eine optimale Bewertung jedoch sind die Bilder auf dem Monitor zu betrachten, da durch den Ausdruck die Farben oftmals nicht korrekt wiedergegeben werden. Alle Bildbeispiele liegen dieser Arbeit auf CD bei.

Die ersten drei Beispielseiten zeigen jeweils oben links die CIR-Darstellung, oben rechts die Echtfarbendarstellung durch Synthese im RGB-Farbraum nach Abschnitt 3.1, unten links die Echtfarbendarstellung durch parametrische Synthese im IHS-Farbraum nach Abschnitt 4.2 und die Echtfarbendarstellung durch Synthese mittels Histogrammangleichung im IHS-Farbraum nach Abschnitt 4.3.

Das erste Bildbeispiel zeigt die Halde Haniel. Im vergrößerten Ausschnitt ist ein Teil der aufgeschütteten Fläche zu sehen. In allen drei simulierten Echtfarbendarstellungen sind die Strukturen erhalten geblieben. Am Gesamtbild ist jedoch ein kleiner Unterschied zu erkennen: Die Synthese durch gewichtetes Mittel liefert ein dunkleres Bild, während die Ansätze im IHS-Farbraum gesättigtere Farben liefern. Besonders das Grün erscheint viel kräftiger. Ein Unterschied zwischen den beiden Ansätzen im IHS-Farbraum ist dagegen kaum zu erkennen.

Das zweite Bildbeispiel zeigt die Halde Norddeutschland. Hier wird in der Ausschnittsvergrößerung die Darstellung einer Wasserfläche verdeutlicht. Auch hier weisen die Ansätze keine bemerkbaren Unterschiede auf. In allen drei Fällen hat die Wasserfläche ein kräftiges Blau bekommen.

Im nächsten Beispiel wird anhand der Halde Rheinelbe die Darstellung von versiegelten Flächen untersucht. Eine zufriedene Darstellung bieten alle drei Ansätze. Sowohl der graue

Farbton der Straßen als auch der rote Farbton der Dächer ist augenscheinlich korrekt dargestellt.

Das letzte Beispielbild von der DSK zeigt die Halde Rungenberg, das bereits im Kapitel 4 als Referenzdatenpaar diente. Da ein konventionelles Farbbild vorliegt und abgebildet ist, wird auf die Echtfarbendarstellung durch parametrische Synthese verzichtet. Der interessierte Leser kann sich dieses Ergebnis auf der beiliegenden CD anschauen.

Der Vergleich der Echtfarbensimulationen mit der Echtfarbendarstellung mit konventionellen Farbfilm am Beispiel Rungenberg zeigt deutliche Unterschiede. Besonders die Grünflächen differieren sowohl im Farbton, als auch in der Sättigung. In der Echtfarbendarstellung nach der Synthese im RGB-Farbraum ist ein leichter Braunstich in den grünen Flächen zu erkennen. In der Echtfarbendarstellung durch Synthese im IHS-Farbraum fällt das kräftige Grün in den Vegetationsflächen auf.

In den versiegelten Flächen unterscheiden sich die Echtfarbensimulationen kaum von der Echtfarbendarstellung mit konventionellem Farbfilm. Die roten und grauen Gebäudedächer werden in allen drei Darstellungen ähnlich dargestellt. Lediglich die großen Straßen werden in den Simulationen nicht grau, sondern eher braun dargestellt. Dieses Phänomen ist auch ganz deutlich am quadratischen Gebäude auf der Halde zu erkennen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es jedoch nicht, eine möglichst gute Simulation einer Aufnahme mit konventionellem Farbfilm zu erreichen, sondern vielmehr eine *natürliche* Farbdarstellung, die der Betrachter als gute Repräsentation des Geländes erkennt. Das Ergebnis soll, wie im Kapitel 1 angesprochen, als Layer in einem GIS dienen. Hierzu dient die Farbe in erster Linie als Assoziationshilfe, damit der Betrachter eine eindeutige Zuordnung der abgebildeten Flächen zu deren realen Objekten erhält. Gesättigtere Farben wie das Grün im Beispiel Rungenberg unten links helfen dem Beobachter bei der Assoziation. Welche Darstellung letztendlich bevorzugt wird, hängt vor allem vom Betrachter ab. Die individuelle Farbwahrnehmung (siehe Kapitel 2.3) beeinflusst die Entscheidung, welche Darstellung bevorzugt wird. Deswegen wird an dieser Stelle bewußt keiner Echtfarbendarstellung der Vorrang gegeben. Diese Entscheidung bleibt dem Leser überlassen.

5.7.2 Die Bilder von Daedalus und Ikonos

Anhand der weiteren Bildbeispiele von Daedalus und Ikonos soll ansatzweise gezeigt werden, welche Echtfarbendarstellungen mit anderem Datenmaterial möglich ist.

Das Beispielbild des optomechanischen Scanners Daedalus zeigt neben der Echtfarben- darstellung durch Kanalkombination des Multispektralbildes die Echtfarbensimulationen durch Histogrammangleichung und durch gewichtetes Mittel. Die Histogrammangleichung erzielt ein akzeptables Ergebnis, das der Echtfarben- darstellung des Multispektralbildes ähnelt. Die Synthese im RGB-Farbraum liefert jedoch kein gutes Ergebnis im Vergleich zur Echtfarben- darstellung des Multispektralbildes. Die Simulation erzeugt zu sehr gesättigte Farben.

Das Bildbeispiel des Satelliten Ikonos zeigt sowohl eine CIR-Darstellung als auch eine Echtfarben- darstellung. Die aus dem CIR-Bild berechneten Echtfarbensimulationen weisen beide im Druck einen unnatürlichen Rotstich in den versiegelten Flächen auf. Dies ist jedoch in erster Linie auf die falsche Farbwiedergabe des Druckers zurückzuführen. Die Monitordarstellung weist eine natürlichere Farbwiedergabe in diesem Bereich auf, die jedoch nicht vollkommen zufriedenstellend ist. Die Grünflächen im Ergebnis nach der Synthese durch gewichtetes Mittel erscheinen in einem sehr gesättigten Grün.

Im Anhang B sind in einer Übersicht die spektralen Empfindlichkeiten verschiedener Aufnahmesysteme zusammengestellt. Daraus ist zu entnehmen, daß die zur CIR- Simulation herangezogenen Kanäle von Ikonos (2, 3 und 4) und von Daedalus (3, 5 und 7) in der spektralen Empfindlichkeit identisch sind. Die Synthese mit gewichtetem Mittel wurde jedoch auf SPOT-Daten abgestimmt (siehe 3.1). Dieser Satellit weist jedoch andere spektrale Empfindlichkeiten auf. Besonders der rote und der infrarote Kanal unterscheiden sich jeweils von den entsprechenden Kanälen von Ikonos und Daedalus. Hier kann die Ursache für die mangelnde Transformation der Bilder von Daedalus und Ikonos mit gewichtetem Mittel liegen.

Weiterhin ist an Abbildung 5.7 zu erkennen, daß die Empfindlichkeiten der Spot-Kanäle (in rot eingezeichnet) den relativen spektralen Empfindlichkeiten der Schichten des Farbinfrarotfilmes ähneln. Besonders um die Maxima der Empfindlichkeiten der drei Farbschichten liegen die Empfindlichkeiten der Spot-Kanäle. Hieraus ist zu schließen, daß die Anwendbarkeit des Ansatzes mit gewichtetem Mittel gut auf CIR-Luftbilder übertragen werden kann. Die weiteren Bildbeispiele von Daedalus und Ikonos haben gezeigt, daß eine Echtfarben- darstellung auch mit anderem Datenmaterial möglich ist. Jedoch sind hierfür noch genauere Untersuchungen durchzuführen, da die Ergebnisse nicht als ideal bewertet werden können. Da sich diese Diplomarbeit in erster Linie auf das Datenmaterial des DSK

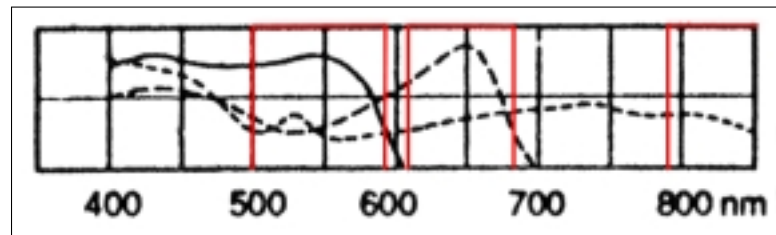


Abbildung 5.7: Relative spektrale Empfindlichkeit des Farbinfrarotfilmes Kodak Aerochrome Infrared 2443 [Albertz, 1991]. Die spektralen Empfindlichkeiten der Kanäle des Satelliten Spot sind in rot eingezeichnet.

bezieht, sind solche Untersuchungen nicht angestellt worden.

Kapitel 6

Schlußbetrachtung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden zwei Algorithmen entwickelt, die es ermöglichen, aus einer CIR-Aufnahme eine Echtfarbendarstellung zu simulieren. Im Gegensatz zu den bisherigen Ansätzen, die in Kapitel 3 vorgestellt wurden, zeichnen sich die erarbeiteten Ansätze dadurch aus, daß die Bildmanipulation im IHS-Farbraum vorgenommen werden.

Der erste Ansatz ermittelt Parameter für den Hue- und den Saturation-Kanal, die eine CIR-Aufnahme und eine Echtfarbensimulation verbinden. Eine einfache Klassifizierung mit dem NDVI und die darauffolgende Kanalteilung verfeinern diesen Ansatz zu einer verbesserten Echtfarbendarstellung.

Der zweite entwickelte Ansatz gleicht den Hue- und Saturation-Kanal des CIR-Bildes den entsprechenden Kanälen in der Echtfarbendarstellung mittels einer Histogrammangleichung an. Analog zum ersten Ansatz verfeinern eine einfache Klassifizierung mit den NDVI und die anschließende Kanalteilung das Ergebnis.

Das Ziel, die CIR-Luftbilder der DSK in eine Echtfarbendarstellung zu transformieren, um sie anschließend als Layer in einem GIS verwendet zu werden, wurde mit den erarbeiteten Algorithmen erreicht. Darüber hinaus wird mit diesen Ansätzen auch die Möglichkeit gegeben, andere Datenmaterialien (z.B. Daedalus- und Ikonos-Aufnahmen) in eine natürliche Farbwiedergabe zu transformieren.

Vergleichend zur Synthese mit gewichtetem Mittel ist zu bemerken, daß die neuen Algorithmen keine große Verbesserung in der Darstellung natürlicher Farbtöne aufweisen. Hinsichtlich der Funktionalität weisen die drei Ansätze jedoch Unterschiede auf. Während

der Ansatz mit gewichtetem Mittel und der Ansatz mittels Histogrammangleichung keine gezielten Veränderungen in den Ergebnissen zulassen, kann das Ausgabebild im parametrischen Ansatz gezielt variiert werden. Soll z.B. die Sättigung der Echtfarbendarstellung verringert werden, so ist lediglich der Parameter k geeignet abzuändern.

Denkbar wäre solch eine Bildmanipulation natürlich auch mit den Ergebnissen der anderen beiden Synthesen mittels eines geeigneten Bildverarbeitungsprogramms. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß dies nach der Synthese erfolgen muß. Liegt eine größere Anzahl von zu transformierenden Bildern vor, so ist diese Manipulation mit jedem Bild einzeln notwendig. Bei dem parametrischen Ansatz ist dieser Schritt innerhalb der Synthese des Echtfarbenbildes möglich. Dies kann Arbeitszeit einsparen.

In weiteren Untersuchungen ist es durchaus denkbar, eine Verfeinerung der Ansätze vorzunehmen. Eine Möglichkeit wäre z.B. statt der einfachen Klassifizierung durch den NDVI eine Multispektralklassifizierung durchzuführen. Somit können anstelle der zwei Klassen Grün- und versiegelte Flächen mehrere Klassen gebildet werden. Somit könnten gezielter bestimmte Flächen in ihrem Aussehen verändert werden.

Entwickelt wurden die Algorithmen anhand von Beispieldaten der DSK. Ansatzweise wurde untersucht, inwieweit eine Anwendbarkeit auf anderes Datenmaterial möglich ist. Es wurde aufgezeigt, daß die Ergebnisse nicht als optimal anzusehen sind. Mit einem verbreitertem Spektrum an unterschiedlichem Datenmaterial müßten die bisherigen Untersuchungen nochmals durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- Albertz, J., 1991, *Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt
- Bergmann, L. / Schaefer, C., 1993, *Lehrbuch der Experimentalphysik Band 3 Optik*, de Gruyter
- Benecke, N., 1996, *Verarbeitung photogrammetrisch erzeugter Höhenmodelle im Geoinformationssystem der Ruhrkohle AG*, Markscheidewesen 3/96
- Haberäcker, P., 1995, *Praxis der Digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung*, Hanser
- Hake, G. / Grünreich, D., 1994, *Kartographie*, de Gruyter
- Heipke, C., 1998, *Vorlesungsskript Digitale Bildverarbeitung 3. Semester*, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessung, Universität Hannover
- Kraus, K., 1994, *Photogrammetrie Band 1: Grundlagen und Standardverfahren*, Dümmler Linotype-Hell AG, Broschüre *Color-Management*, Linotype-Hell AG
- Messina, J., *Persönliche Mail an M. Röder*, 2000
- Neumann-Mayer, U.-P., 1996, *Frühling in Europa. Arbeit mit dem Vegetationsindex*. In: *Geographie Heute*
- Richter, M., 1981, *Einführung in die Farbmeterik*, de Gruyter
- Schlüter, M., 2000, *Fortführung von Geoinformationssystemen anhand direkt aufzeichneter digitaler Bilddaten*, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 14

Anhang B

Spektralbereiche verschiedener Aufnahmesysteme

Sensor	Kanal	Spektralbereich (in μm)
Daedalus ATM	1	0,420 - 0,450
	2	0,450 - 0,520
	3	0,520 - 0,600
	4	0,605 - 0,625
	5	0,630 - 0,690
	6	0,695 - 0,750
	7	0,760 - 0,900
	8	0,910 - 1,050
	9	1,550 - 1,750
	10	2,080 - 2,350
	11	8,500 - 13,000
Ikonos	1	0,450 - 0,520
	2	0,520 - 0,600
	3	0,630 - 0,690
	4	0,760 - 0,900
Landsat TM	1	0,450 - 0,520
	2	0,520 - 0,600
	3	0,630 - 0,690
	4	0,760 - 0,900
	5	1,550 - 1,750
	6	1,040 - 1,250
	7	2,080 - 2,350
Spot	1	0,500 - 0,590
	2	0,610 - 0,680
	3	0,790 - 0,890

Tabelle B.1: Spektralbereiche verschiedener Aufnahmesysteme