

Kompression und Generalisierung von Fernerkundungsdaten in einem GIS mit einem optimierten Wavelet-Codierer

B. Triebfürst, Saube, D.
Institut für Informatik, Universität Freiburg

H. Saurer
Institut für Physische Geographie, Universität Freiburg

Inhalt:

- [Zusammenfassung](#)
- [1 Einleitung](#)
- [2 Kompressionsverfahren](#)
- [2.1 Verlustfreie Kompression](#)
- [2.2 Verlustbehaftete Bildkompression](#)
- [2.2.1 Grundidee der Transformationskodierung](#)
- [2.2.2 Wavelet-Kodierung](#)
- [3 Bewertungsverfahren für die Kompressionsgüte](#)
- [3.1 Visuelle Bewertung](#)
- [3.2 Quantitative Bewertung](#)
- [3.3 Bewertung im Rahmen von GIS-Anwendungen](#)
- [4 Optimierung des Wavelet-Kodierers für GIS-Anwendungen](#)
- [5 Schlußfolgerung und Ausblick](#)
- [6 Literatur](#)

Zusammenfassung:

Fernerkundungsdaten sind aufgrund ihrer Flächendeckung wichtige Basisdaten für Kartierung und Modellierung im Rahmen von GIS-Anwendungen. Zukünftige Satellitensysteme werden mit zunehmenden Maße in ihrer räumlichen, radiometrischen und spektralen Auflösung verbessert werden. Das große Datenvolumen von Fernerkundungsdaten künftiger Systeme macht eine Bearbeitung in GIS schwierig. Somit ergibt sich die Notwendigkeit der Datenkompression, die bei den notwendigen Kompressionsraten nicht mehr verlustfrei erfolgen kann. Wir geben eine kurze Übersicht über verschiedene in GIS einsetzbare Kompressionsverfahren Abschnitt 2: und zeigen Methoden auf, wie der bei der Kompression entstehende Datenverlust bewertet werden kann Abschnitt 3: . Da in Rasterdatensätzen häufig nur bestimmte Regionen von Interesse sind, haben wir einen auf der Wavelet Transformation basierenden Kodierer entwickelt mit dem einzelne Regionen unterschiedlich stark komprimiert werden können. Wir zeigen an einem Anwendungsbeispiel, wie mit Hilfe dieses Kodierers Waldregionen durch hohe Kompression generalisiert werden können und damit der durch die Kompression entstehenden Datenverlust eine Weiterverarbeitung erleichtert Abschnitt: 4 .

1 Einleitung

Fernerkundungsdaten sind aufgrund ihrer Flächendeckung wichtige Basisdaten für Kartierung und Modellierung im Rahmen von GIS-Anwendungen. Vorteilhaft sind dabei die exakte zeitliche Zuordnung der Daten und eine hohe räumliche Auflösung. Die räumliche Auflösung führt allerdings in manchen Fällen auch zu Problemen, hier ist von der Seite der Anwendung etwa an das *Downscaling*, bei denen Generalisierungen vorgenommen werden müssen, und aus der Sicht der Datenverarbeitungstechnik an das zu speichernde Datenvolumen zu denken. Die Einbeziehung künftiger Satellitensysteme mit ihrer größeren räumlichen vor allem aber auch spektralen Auflösung (Stichwort: *imaging spectroscopy*) wird die Probleme noch verstärken. Deshalb ist es notwendig, das Datenvolumen zu verringern, d.h. eine Datenkompression vorzunehmen. Dies kann allerdings nicht allein dadurch erfolgen, daß die Daten erst klassifiziert und evtl. vektorisiert werden, bevor sie in ein GIS eingebunden werden. Im Hinblick auf die Gestaltungsmöglichkeiten wie eine Hinterlegung von Sachinformation mit Fernerkundungsbildern oder Modellierung physikalischer Größen (z.B. Strahlungstemperatur), müssen auch die Originaldaten zum Teil mit einem gewissen Informationsverlust komprimiert und in ein GIS eingegliedert werden können. Ein für GIS optimiertes Verfahren muß auch erlauben, die Daten regional oder nutzungstypisch unterschiedlich stark zu komprimieren.

2 Kompressionsverfahren

Verfahren zur Verringerung des Speicherplatzbedarfs, kurz Kompressionsverfahren, werden in der Fernerkundung, der Signalverarbeitung, der Bildverarbeitung aber eingeschränkt auch im Rahmen von GIS eingesetzt. Die nachstehende kurze Übersicht über Kompressionsverfahren, die in GIS genutzt werden, faßt die Methoden in die zwei Gruppen der verlustfreien (lossless) und verlustbehafteten (lossy) Methoden zusammen. .

2.1 Verlustfreie Kompression

Eine sehr einfache Kompressionsmethode für Rasterdaten in GIS ist die Lauflängenkodierung. Weisen die Rasterdaten zusammenhängende Gebiete mit gleichem Grauwert auf, z.B. bei Nominaldaten, können die Daten durch Lauflängenkodierung komprimiert werden. Im Optimalfall können so hohe Kompressionsraten erzielt werden. Für heterogene Daten wie Luftbilder und Fernerkundsaufnahmen ist diese Methode jedoch ungeeignet.

Verlustfreie Kompressionsverfahren (z.B. zip, gzip, compress) finden ihre Hauptanwendungen bei Textdateien und binären Objektdateien. Prinzipiell sind sie auch für Rasterdaten in GIS einsetzbar. Bei heterogenen Datensätzen können jedoch nur Kompressionsraten von 1.1:1 bis 4:1 erwartet werden. Die folgende Tabelle zeigt die Kompressionsraten für den Ausschnitt einer 7-kanaligen Fernerkundungsaufnahme (Landsat-TM) des Freiburger Raumes. Kanal 6 (Thermalkanal) fällt als Ausnahme mit hohen Kompressionsraten auf, da der Kanal ebenfalls in der 30m x 30m Auflösung vorliegt, aber nur durch Pixelreplikation seiner tatsächlichen Auflösung von 120m x 120m. Neben den ansonsten allgemein sehr niedrigen Kompressionsraten fallen Kanal 4 und 5 durch besonders niedrige Kompressionsraten auf. Solche Verfahren sind deshalb nur bedingt in GIS nutzbar und deswegen üblicherweise nicht realisiert.

Verfahren	Kana 11	Kana 12	Kana 13	Kana 14	Kana 15	Kana 16	Kana 17
gzip	1.71:1	2.00:1	1.87:1	1.26:1	1.24:1	19.26:1	1.56:1
kompress	1.71:1	2.12:1	1.91:1	1.14:1	1.15:1	5.48:1	1.52:1

2.2 Verlustbehaftete Bildkompression

2.2.1 Grundidee der Transformationskodierung

Um höhere Kompressionsraten zu erreichen, müssen Kompressionsmethoden eingesetzt werden, die die Daten nicht wieder exakt reproduzieren können, d.h. man muß einen gewissen Datenverlust in Kauf nehmen. Eine sehr einfache GIS-übliche Methode besteht in der Verringerung der geometrischen und radiometrischen Auflösung, wobei ein großer Informationsverlust in Kauf genommen wird. Komplexere Kompressionsmethoden aus der digitalen Bildverarbeitung werden bisher kaum in GIS eingesetzt. Solche Methoden lassen sich unterteilen in Kompressionsalgorithmen, die direkt auf die Bilddaten angewendet werden und Algorithmen, die die Daten erst in geeigneter Weise transformieren (Transformationskodierung). Zur ersten Gruppe gehören Vektor-Quantizierer und Methoden der fraktalen Bildkompression. Einführungen geben GERSHO & GRAY(1991) und FISHER(1994). Wir beschränken uns im folgenden auf die zweite Gruppe der Transformationskodierungen. Durch eine lineare Transformation (z.B. Fourier-Transformation, Cosinus-Transformation) wird das Bild derart transformiert, daß ein Großteil der Bildinformation auf wenigen betragsmäßig hohe Koeffizienten lokalisiert ist und nur die hochfrequenten Bildanteile auf viele Koeffizienten mit kleinem Betrag verstreut sind. In einem zweiten Schritt werden die Koeffizienten geeignet quantisiert, (Repräsentierung der *Floting-Point*-Werte durch eine Symbolfolge mit geringerem Speicheraufwand) wobei die betragsmäßig kleinen Koeffizienten auf Null gesetzt werden. Der Bildinhalt bleibt damit weitgehend erhalten. Dadurch ergibt sich eine erste Kompression des Datenvolumens. In einem dritten Schritt werden die quantisierten Koeffizienten mit einem Entropiekodierer (Huffman-, Runlength-, Arithmetic-Kodierer) verlustfrei komprimiert. Eine Einführung gibt GONZALES & WOODS (1992). Der gängigste Codierer und derzeitige Industriestandard, ein durch die *Joint Photographic Experts Group* standardisiertes Verfahren (JPEG) gehört zu den Transformationskodierern basierend auf der diskreten Cosinus Transformation (DCT) (Ein JPEG-Kodierer ist etwa im GIS-Softwarepaket ERDAS/IMAGINE V.8.2 integriert). Es handelt sich hier um einen blockbasierten Transformationskodierer, d.h. der Datensatz wird in einzelne Blöcke (8x8 Pixel) zerlegt, die einzeln transformiert und kodiert werden. Bei höheren Kompressionsraten ist er aufgrund seiner blockartigen Artefakte für GIS-Anwendungen nur bedingt geeignet ist.

2.2.2 Wavelet-Kodierung

In letzter Zeit wurden als eine Weiterführung des JPEG-Verfahrens Wavelet-basierte Codierverfahren populär. Wie bei der diskreten Cosinustransformation (DCT) im JPEG-Verfahren wird das Bild orthogonal transformiert in der Art und Weise, daß es in verschiedene Frequenzanteile zerlegt wird. Anstelle der Cosinusfunktionen werden sogenannte Wavelet-Funktionen verwendet, die orthogonal zueinander sind und als besondere Eigenschaft einen kompakten Träger besitzen (DAUBECHIES 1992). Aufgrund dieser Eigenschaft ist es möglich, ein Signal oder ein Bild in verschiedene Frequenzanteile zu zerlegen (Frequenzbänder) und innerhalb jedes Frequenzbandes die Ausprägung dieses Frequenzanteiles räumlich zu lokalisieren (Orts-Frequenz-Zerlegung, In der Digitalen Bildverarbeitung spricht man von der Darstellung des Bildes in der *Wavelet-Domain*). Diese Eigenschaft ist grundlegend für die Optimierung unseres Wavelet-Kodierers (Kap. Kap. 4). Ihre Popularität im Bereich der Bildkompression verdankt die Wavelet-Transformation neben der Tatsache, daß sich mit ihr in der Regel bessere Kompressionsergebnisse erzielen lassen als mit der DCT, der Eigenschaft, daß sie auf ein einfaches schnelles Schema iterierter eindimensionaler Low-Pass und High-Pass Filterungen zurückgeführt werden kann (s. Abb. 1). Wir benutzen in der vorliegenden Studie ``Daubechies-8-tap``-Filter.

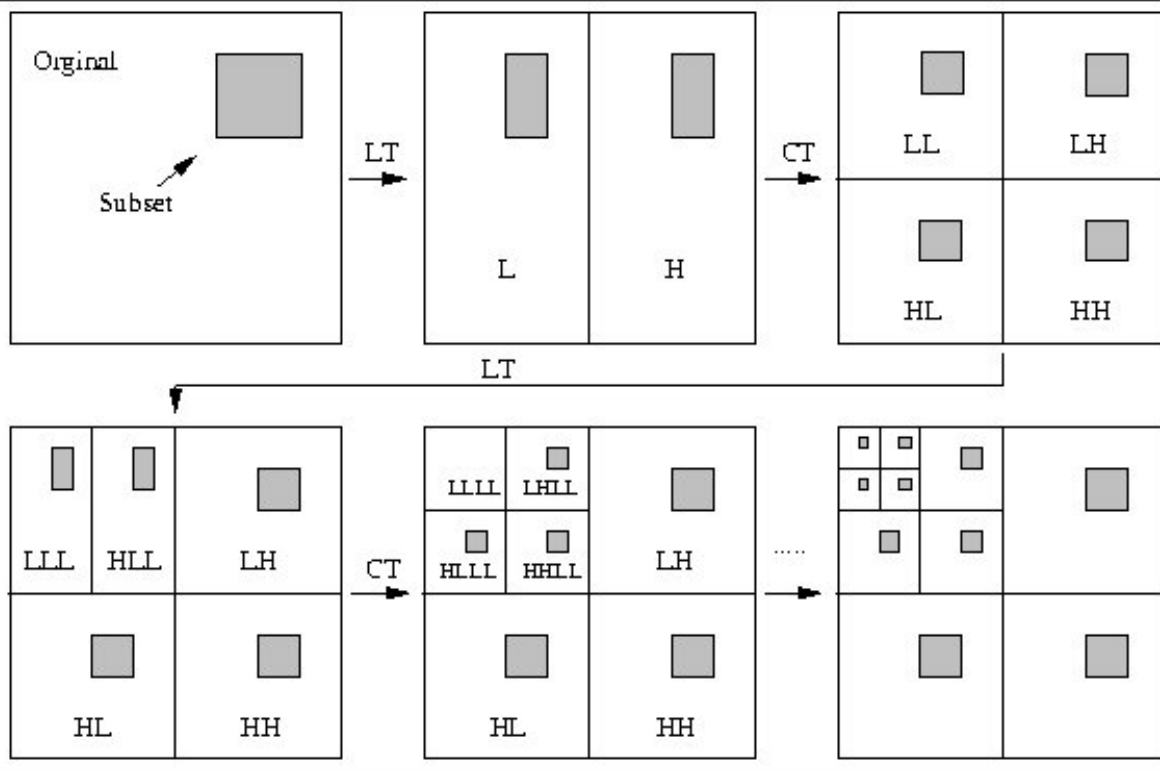


Abbildung 1: Schema der 2-dim. Wavelet Transformation, CT = Spaltentransformation, LT = Zeilentransformation, jede Transformation besteht aus einer Lowpass- und Highpass-Filterung mit anschließender Reduktion der Bildzeile um den Faktor 2 (subsampling), G = High-Pass-Bildanteil, H = Low-Pass-Bildanteil. HH, HL, LH stellen den hochfrequenten Bildanteil dar, HLLL, LHLL, HHLL den Bildanteil mittlerer Frequenzen, und LLLL den niederfrequenten Bildanteil. Die grau unterlegten Flächen zeigen, wie ein Bildausschnitt in den verschiedenen Frequenzbereichen präsentiert ist.

In Anlehnung an den "Index-Kodierer" von TIAN & WELLS(1996) haben wir einen Wavelet-Kodierer implementiert, den wir im folgenden mit dem JPEG-Verfahren im Hinblick auf ihre GIS-Tauglichkeit vergleichen. Der Indexkodierer basiert auf dem Bitplane-Kodierungsschema (GONZALES & WOODS 1992). Die Wavelet-Koeffizienten k_{ij} werden bezüglich eines hinreichend großen Schwellenwertes T zerlegt:

$$k_{ij} = s \cdot T + a_1 \cdot T/2 + a_2 \cdot T/4 + \dots \text{ mit } a_k \in \{0,1\} \text{ } s \in \{-1,+1\}$$

In einem ersten Schritt werden die Positionen aller Koeffizienten kodiert, die bezüglich T signifikant sind, d.h. $|k_{ij}| > T$. Im nächsten Schritt werden für diese Koeffizienten das Bit a_1 bestimmt ("Refinement-Pass"). Anschliessend werden alle bisher nicht signifikanten Koeffizienten auf Signifikanz bezüglich $T/2$ getestet und die Positionen aller k_{ij} mit $|k_{ij}| > T/2$ kodiert. Dieses Verfahren wird solange wiederholt bis ein vorgegebener Bitvorrat aufgebraucht ist. Die Methode zur Kodierung der Positionen der Waveletkoeffizienten in der Waveletdomain ist in TIAN ET AL. (1996) beschrieben.

3 Bewertungsverfahren für die Kompressionsgüte

Der Einsatz von verlustbehafteten Kompressionsmethoden in GIS ist bisher sehr beschränkt, da unklar ist, wie der Datenverlust zu bewerten ist. Es ist schwer allgemeingültige Verfahren zu finden, da ein Datenverlust je nach Anwendung unterschiedlich zu bewerten ist, und teilweise sogar erwünscht sein kann. So ist z.B. die Speckle-Unterdrückung bei Radarbildern nichts anderes als eine geschickte Reduzierung hochfrequenter Bildanteile. ODEGARD ET AL.(1995) haben gezeigt wie mit Hilfe der Wavelet-Transformation eine Rauschunterdrückung und Bildkompression kombiniert werden kann. Auch bei der Generalisierung von Daten für kartographische Anwendungen handelt es sich um einen Datenverlust. In Kapitel 4 zeigen wir eine Möglichkeit, wie Rasterdaten im Hinblick auf eine spätere Generalisierung komprimiert werden können. Der visuellen und statistischen Bewertung stellen wir im folgenden ein GIS-orientiertes Bewertungsverfahren gegenüber. Als Testdatensätze benutzten wir jeweils einen Ausschnitt von 1024 x 1024 Pixeln von allen 7 Kanälen einer Landsat-TM-Szene (07.07.84) aus dem Gebiet Oberrheingraben/Südschwarzwald (Deutschland) sowie eine Landsat-TM-Szene der Süd-Shetland-Inseln (Antarktische Halbinsel).

3.1 Visuelle Bewertung

Die Landsat-TM Szene von Freiburg wurde mit dem JPEG-Verfahren und einem von uns implementiertem Wavelet-Kodierer in verschiedenen Kompressionsraten komprimiert. Ein visueller Vergleich zeigt, daß beide Kodierer schon bei geringen Kompressionsraten (9:1) Artefakte erzeugen, die eine weitere Verwendung der Daten für einige Anwendungen fraglich erscheinen läßt (s. Abb. 2a-d). Bei höheren Kompressionsraten werden die unterschiedlichen Artefakte deutlich (s. Abb. 2c,d). Während der JPEG-Kodierer (Hier der JPEG-Kodierer der ERDAS/IMAGINE V.8.2 GIS-Softwarepaketes) neue Strukturen erzeugt und den Datensatz damit unbrauchbar macht, unterdrückt der Wavelet-Kodierer Strukturen. Betrachtet man in Abb. 2c die Waldregionen (dunkel), so werden sie durch den Wavelet-Kodierer ähnlich einem Low-Pass-Filter geglättet. Für Generalisierungszwecke kann man sich diese Tatsache zu nutze machen (s. Kap. 4). Ein Vergleich mit den Kompressionsergebnissen einer Landsat-TM Szene der Antarktischen Halbinsel zeigt, dass sich Bilder mit weniger Detailstrukturen sehr viel besser komprimieren lassen (s. Abb. 2e-f).

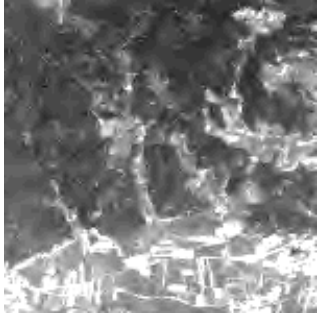


Abbildung 2b: Resultat der Wavelet-Kompression (9:1), Störung feiner Strukturen

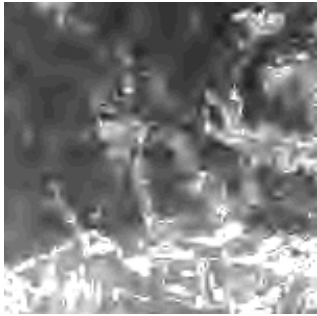


Abbildung 2c: Wavelet-Kompression (18:1), Waldgebiete sind homogenisiert, aber feine Strukturen nicht mehr aufgelöst

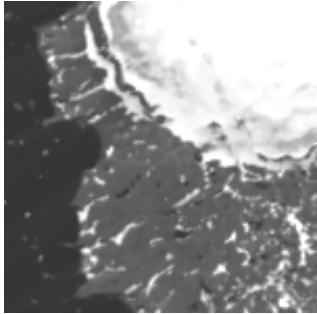


Abbildung 2e: Landsat-TM (Kanal 1), King-George-Island, Antarktische Halbinsel, 150 x 150 Pixel

3.2 Quantitative Bewertung

In der digitalen Bildverarbeitung gibt es eine Vielzahl numerischer Qualitätsmaße zur Bildkompression, eine Übersicht gibt ESKICIOGLU (1995). Wir haben das am häufigste benutzte Maß, den Root-Mean-Square-Error (RMS),

$$\mathcal{RMS}(B, B^q) = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{\substack{i=1, \dots, M \\ j=1, \dots, N}} (b_{ij} - b_{ij}^q)^2}$$

bzw. die hieraus abgeleitete Peak-Signal-To-Noise-Ratio (PSNR)

$$PSNR(B, B^q) = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMS(B, B^q)} \right)$$

benutzt, um für den Testdatensatz des Freiburger Raumes für alle Kanäle zu verschiedenen Kompressionsraten die Qualitätseinbußen zu berechnen. Die in Abb. 3 dargestellten *Rate-Distortion*-Kurven des Wavelet-Kodierers zeigen einerseits (wie schon in Kap. 3.1 festgestellt) die bessere Komprimierbarkeit der Antarktis-Szene und andererseits starke Kompressionsunterschiede zwischen den einzelnen Kanälen. Kanal 4 und 5 lassen sich sehr schwer komprimieren, was auf einen hohen Informationsgehalt im hochfrequenten Bereich hindeutet. Die gute Kompressionsrate von Kanal 6 wird durch die schlechte Auflösung dieses Kanals (120 x 120 m) verursacht. Der JPEG-Kodierer zeigte ähnliche Ergebnisse und war nur durchschnittlich 1 Dezibel schlechter. Repräsentativ sind hier nur die Ergebnisse für den ersten Kanal dargestellt.

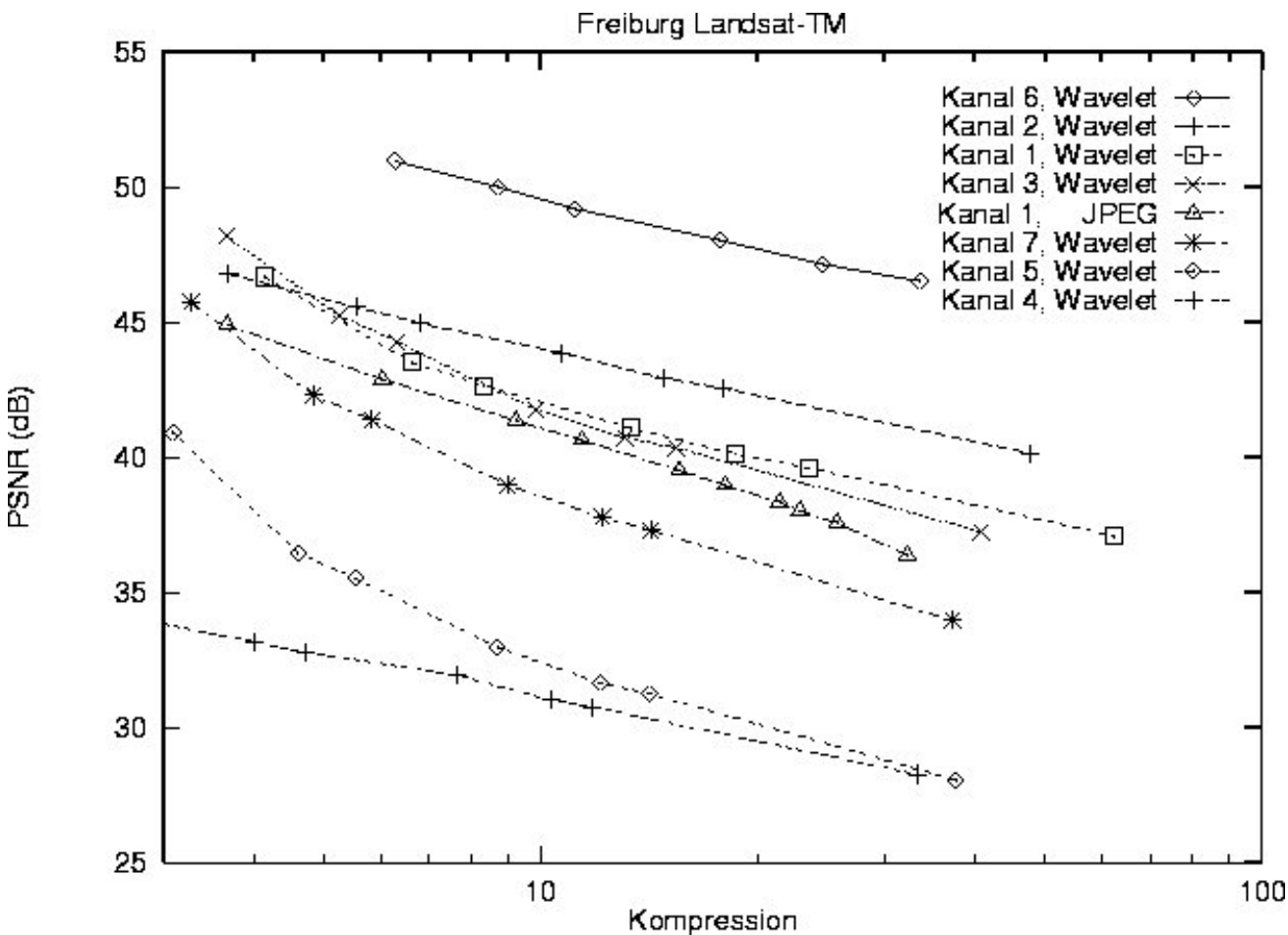


Abbildung 3: Rate-Distortion-Kurve des Wavelet-Kodierers für die sieben Kanäle einer Landsat-TM Szene. Die Rate-Distortion Kurven für das mit dem JPEG-Kodierer komprimierte Bild sind generell schlechter. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist für Vergleichszwecke nur die entsprechende Kurve für Kanal 1 abgebildet.

Der PSNR-Fehler ist eine einfache Möglichkeit, Kodierer zu vergleichen, es lassen sich aber nur Qualitätsbewertungen hinsichtlich des mittleren quadratischen Fehlers machen. Aussagen über blockartige Artefakte, die Zerstörung von Kanten und Texturen oder andere Fehler lassen sich nicht treffen. Inwieweit ein Qualitätsverlust tolerierbar ist, entscheidet letztendlich die jeweilige geowissenschaftliche Anwendung. Somit lassen sich auch nur aus konkreten Anwendungen heraus Qualitätsmaße finden.

3.3 Bewertung im Rahmen von GIS-Anwendungen

Eine typische GIS-Anwendung auf der Grundlage von Fernerkundungsszenen besteht in der Ableitung von Landnutzungsklassen durch überwachte und unüberwachte Klassifikationen. Führt man eine Landnutzungsklassifikation auf einem komprimierten und ein zweites Mal auf einem unkomprimierten Datensatz aus, so läßt sich aus den dadurch entstehenden Fehlklassifikationen eine Qualitätsbewertung ableiten. Für den Untersuchungsraum Freiburg stand uns ein Landnutzungskataster für das Gebiet: Oberrheingraben/Südschwarzwald zur Verfügung, sodaß ausreichend Daten für eine Gesamtbewertung der abgeleiteten Landnutzungsmuster verfügbar waren. Auf der Grundlage dieses Katasters wurden 100 Testgebiete ausgewiesen und eine einfache überwachte Maximum-Likelihood Klassifikation durchgeführt. Dabei wurden folgende Klassen ausgewiesen: Wasser, Mischwald, Nadelwald, Laubwald, Sonderkulturen, Wiese, Acker

und Siedlung. Auf Grundlage der Testgebiete konnte die Klassifikation auf unterschiedlich komprimierten Datensätzen durchgeführt werden. Die Fehlklassifikationen ergeben somit ein Maß für die Güte der Komprimierung an. Abbildung 4 zeigt die abgeleitete Landnutzungsklassifikation (Abb. 4a) sowie die Veränderungen bei Kompressionsraten von 3.5:1 (Abb. 4b) bzw. 17:1 (Abb. 4c).



Abbildung 4b: LNK aus der komprimierten Landsat-TM-Datensatz (Wavelet-Kompression 3.5:1)

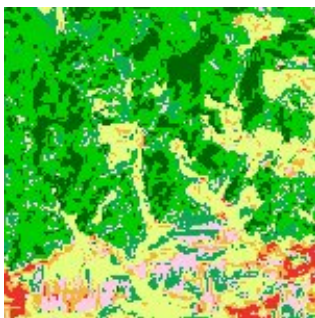


Abbildung 4c:) LNK aus der komprimierten Landsat-TM-Aufnahme (Wavelet-Kompression 17:1)

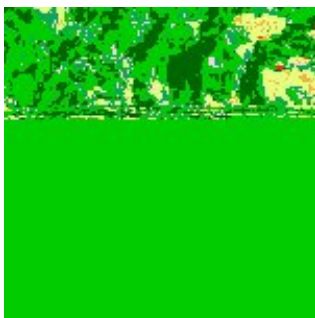


Abbildung 4d: LNK aus der komprimierten Landsat-TM-Aufnahme (JPEG-Kompression 17:1) Die blockartigen Artefakte aus Abb. Abb. 2d sind auch in der Landnutzung erkennbar

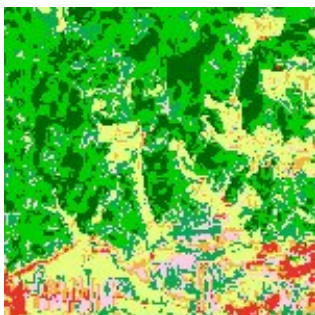


Abbildung 4h:

LNK-Klassen	Wasser	Mischw.	Nadelw.	Laubw.	Wiese	Acker	Sonder	Siedl.
Summe	896	208030	182060	161065	237466	110125	88515	70977

Tabelle 1a: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Landnutzungen bei einer Landnutzungsklassifikation des Landsat-TM Datensatz (Freiburg 07.07.84).

Tabelle 1b: Kreuztabellierung der Klassen zwischen der Landnutzungsklassifikation der Orginal TM-Datensatz und Klassifikationen aus unterschiedlich komprimierten TM-Datensätzen. Für jede Landnutzungs-kategorie ist in einer Spalte dargestellt, wie sich die entsprechenden Pixel der Orginalklassifikation den einzelnen Klassen bei der Landnutzungsklassifikation aus dem komprimiertem

Datensatz zugeordnet werden, sowie der Prozentsatz der richtig klassifizierten Pixel.

4 Optimierung des Wavelet-Kodierers für GIS-Anwendungen

Was ist ein optimaler Kodierer in einem GIS? Ein Kodierer wird die Daten hinsichtlich einer konkreten Problemstellung dann sehr gut komprimieren, wenn er einerseits eine hohe Kompressionsrate liefert und andererseits die geowissenschaftlich wichtige Information weitestgehend erhält. Bei GIS-Anwendungen wird diese Information in den meisten Fällen örtlich lokalisierbar sein: Strassen, Siedlungsstrukturen, Gewässer etc. Das heißt, es wird eindeutig lokalisierbare Regionen geben, die viel Information tragen und andere mit wenig Information. Ein Kodierer kann somit optimiert werden, indem ihm diese Zusatzinformation mitgeteilt wird und er entsprechend regional unterschiedlich mehr oder weniger stark komprimiert. Ein Wavelet-Kodierer ist hierzu besonders gut geeignet, da jeder Ausschnitt aus den Originaldaten in den Wavelet-transformierten Daten lokalisierbar ist (vgl. Abb. 1). Jeder Koeffizient kann nun entsprechend seiner Lokalität im Originalbild feiner oder gröber quantisiert d.h. weniger oder stärker komprimiert werden. Unser Kodierer benötigt hierzu als zusätzlichen Input nur eine Kodierungsmaske, in der für jeden Koeffizienten k_{ij} in der Wavelet-Domain durch einen Integerwert N vorgegeben wird, wie genau er kodiert werden soll, d.h. wie häufig der ``Refinement-Pass`` durchlaufen wird:

$$k_{ij} = s \cdot T + a_1 \cdot T/2 + \dots + a_N \cdot T/2^N$$

Wir zeigen dies exemplarisch an einem Anwendungsbeispiel: Für viele GIS-Anwendungen ist es wünschenswert, Waldgebiete in einer Landnutzungsklassifikation zu generalisieren, d.h. anstelle einer pixelgenauen eine flächengenaue Trennung zwischen Nadelwald, Laubwald und Mischwaldgebieten zu erzielen. Bei anderen Klassen soll die pixelgenaue Trennung erhalten bleiben. Betrachtet man Abb. 4, so bleiben bei einer geringen Kompression der Landsatzenen die feinen Strukturen noch weitestgehend erhalten (Abb. 4b), bei starker Kompression kommt es zu einem Generalisierungseffekt der Waldregionen (Abb. 4c). Diese beiden Effekte können kombiniert werden. Hierzu ist eine Bitmap zur Unterscheidung der Wald- und Nichtwaldgebiete notwendig. Da eine Landnutzungsklassifikation zum Zeitpunkt der Integration der Fernerkundungsszenen in ein GIS in der Regel noch nicht vorliegt, wurde eine solche Bitmap aus den Originaldaten abgeleitet d.h. im vorliegenden Fall aus dem Kanal 3 der Freiburger Landsatzenen durch ein Schwellenwertfahren (s. Abb. 4f).

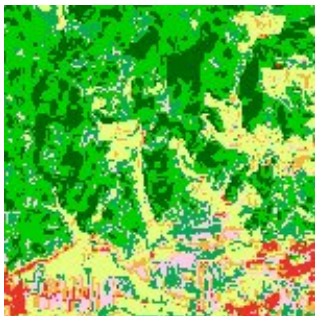


Abbildung 4h: LNK aus der komprimierten Landsat-TM-Aufnahme Abb. 4f (Wavelet-Kompression Wald: 17:1, sonst 3.5:1)

5 Schlußfolgerung und Ausblick

Die Anwendung von Kompressionsverfahren die in der digitalen Bildverarbeitung während der letzten Jahre entwickelt wurden, ermöglicht eine bessere Einbindung heterogener Rasterdatensätze in Geographische Informationssysteme. Besonders geeignet sind Verfahren, die eine ortsabhängige Differenzierung der Kompressionsrate erlauben und deshalb sehr gut für die Generalisierung künftiger, hochaufgelöster Satellitendaten eingesetzt werden können. Die Einbindung solcher Techniken in GIS sowie eine Weiterentwicklung von Verfahren zur Gütebewertung sind Aufgabenbereiche, die in diesem Zusammenhang intensiv weiter bearbeitet werden müssen, um die Einbindung künftiger, hochaufgelöster Fernerkundungsdaten in GIS sicherzustellen. .

6 Literatur

DAUBECHIES, I.(1992): Ten lectures on wavelets. SIAM, Philadelphia, PA; in: Notes from the 1990 CBMS-NSF Conference on wavelets and applications at Lowell, MA. DAUBECHIES, I.: Ten Lectures on Wavelets. SIAM. Publ., Philadelphia, 1992.

- FISHER Y.**(1994): Fractal Image Compression with Quadrees. In: Fractal Image Compression - Theory and Applications to Digital Images. Y. Fisher (ed), Springer-Verlag, New-York, 1994.
- GERSHO & R. M. GRAY**(1991): Vector Quantization & Signal Compression. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- GONZALEZ, R.C. & R.E. WOODS**(1992): Digital image processing. Addison-Wesley, Reading Massachusetts, 716p.
- ODEGARD, J. E., H. GUO, M. LANG, C. S. BURRUS, R. O. WELLS, L. M. NOVAK & M. HIETT**(1995): Wavelet Based SAR Speckle Reduction and Image Compression. In: SPIE Symposium on OE / Aerospace Sensing and Dual Use Photonics, April 1995, Orlando, FL, Algorithm for SAR Imagery II, pp. 17-21.
- SHAPIRO, J.M.**(1993): Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients. In: IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41(2), pp.3445-3462.
- TIAN, J., H. GUO, R. O. WELLS, C. S. BURRUS & J. E. ODEGARD**(1996): Evaluation of a new wavelet-based compression algorithm for synthetic aperture radar images. In: Proc. SPIE 2757, Algorithms for Synthetic Radar Imagery III, Orlando, FL, pp. 421-430.
- TRIEBFUERST, B., C. SCHNEIDER, S. WUNDERLE, H. SAURER, H. GOSSMANN**(1996): Compression of Spaceborne SAR Imagery. In. ITC Journal, in print.