

„LuraWave“ - ein neues Verfahren zur effizienten Bildkompression für INTERNET / INTRANET - Anwendungen

M. Thierschmann, U. Martin

LuRaTech GmbH, Berlin

Einleitung

In allen Bereichen der Kultur und Wissenschaft werden zunehmend digitale Bilddaten eingesetzt. Diese müssen archiviert und effizient verwaltet werden, um einen schnellen Zugriff über vernetzte Systeme zu gewährleisten.

Schnell stoßen Archivierungs- und Datenübertragungssysteme dabei an ihre Leistungsgrenzen. Vor allem in Netzen mit variablen und geringen Übertragungsraten, wie z.B. das INTERNET, ist der Bildaufbau ein mühsames Unterfangen. Die Bildersuche ist oft langwierig, der Bildaufbau sehr träge. Außerdem treten aufgrund der für Bilddaten typisch hohen Dateigrößen nicht zu vernachlässigende Übertragungskosten auf.

Abhilfe verschafft die Kompression der Bilddaten. Dabei treten jedoch nicht mehr rekonstruierbare Fehler im Bild auf, die - bei Verwendung bisher gängiger Verfahren, wie z.B. JPEG - schon bei mittleren Kompressionsraten sichtbar werden.

Unter Verwendung des neuen - im Auftrag der Deutschen Raumfahrtagentur (DARA) entwickelten LuraWave - Verfahrens sind Bildfehler selbst bei hohen Kompressionsraten kaum sichtbar. Das Verfahren ist darüberhinaus auch in der Lage, Bilder „pixelidentisch“ verlustfrei zu komprimieren.

Übersicht gebräuchlicher Bild-Kompressionsverfahren

Die heute verwendeten Bildkompressionsverfahren lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen: *verlustfreie* und *verlustbehaftete* Kompressionsverfahren. *Verlustfreie* Kompressionsverfahren erlauben die identische Rekonstruktion des Originalbildes aus den komprimierten Daten, während bei *verlustbehafteter* Kompression zugunsten höherer Kompressionsraten eine gewisse Abweichung des rekonstruierten Bildes vom Originalbild zugelassen wird.

Die mit verlustfreien Verfahren erreichbaren Kompressionsraten für natürliche Bilder sind gering: von 1:1 (nicht komprimierbar) bis 1:3, ein typischer Wert ist 1:1,5 (Bsp.: TIF-LZW-Kodierung).

Bei verlustbehafteter Kompression wird zugunsten höherer Kompressionsraten eine gewisse Abweichung des rekonstruierten Bildes vom Originalbild zugelassen. So sind Kompressionsraten von 1:5 - 1:30 mit Standardverfahren (JPG), Kompressionsraten bis 1:300 mit neueren Verfahren (Wavelet LWF, WV; Fraktale FIF) erreichbar. Die verlustbehafteten Verfahren basieren meist auf zweidimensionalen Transformationen, gefolgt von einer Quantisierung und Kodierung der transformierten Bilddaten. Der Verlust an Information entsteht (neben eventuellen Rundungsfehlern in der Transformation) durch die Quantisierung, die bewußt wenig relevante Bildinformationen verwirft.

Für künstliche Bilder existieren an die Bildcharakteristik angepaßte Verfahren, die verlustfrei hohe Kompressionsraten erreichen. Diese basieren auf Run-Length-Codierung, z.T. gefolgt von einer Entropiekodierung. Dazu zählen z.B. die Fax-Kodierung und die Bildformate PCX und RLE.

	Verlustfrei	Verlustbehaftet
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Entropiecoder (LZW,Huffman) • Run-Length-Kodierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformation DCT, DWT, Fraktaltransformationen • Quantisierung „einfache“ Quantisierung (linear, uniform, Kennlinien) Bit-Plane-Quantisierung, sukzessive Approx.-qu. • Kodierung Entropiecoder, Quadtree-Kodierung
Erreichbare Kompressionsraten		
Natürl. Bilder (Fotos, Scans)	1:1,5 - 1:2	<ul style="list-style-type: none"> • 1:1,5 - 1:15 visuell verlustfrei • 1:10 - 1:200 verlustbehaftet
künstliche Bilder (Strichzeichnungen , „Comics“)	1:1,5 - 1:20	<ul style="list-style-type: none"> • 1:1,5 - 1:10
Bildformate	<ul style="list-style-type: none"> • TIFF-LZW • Fax, BMP(RLE), PCX 	<ul style="list-style-type: none"> • JPG • LWF,WV • FIF

Tab. 1: Übersicht gebräuchlicher Bildkompressionsverfahren

Die für den potentiellen Anwender teilweise verwirrende Vielfalt an Kompressionsverfahren hemmt deren praktischen Einsatz. Wünschenswert sind Verfahren und Formate, die ein breiteres Spektrum unterschiedlicher Anforderungen an die Kompression abdecken.

Ein Versuch, ein solches Verfahren für natürliche Bilder zur Verfügung zu stellen, stellt das JPEG-Verfahren dar. Dieser integriert eine Anzahl von Kompressionsverfahren in einem gemeinsamen Standard. Seine Funktionsweise wird im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt.

Neuere Methoden, basierend auf der Wavelet-Transformation bieten die Möglichkeit, die verschiedenen, im JPEG-Standard mit unterschiedlichen Betriebsmodi realisierte Funktionsvielfalt in einem einzigen Verfahren zu integrieren und dabei alle Vorteile der verschiedenen Verfahren *gleichzeitig* zu nutzen. Dies soll im weiteren bei der Erläuterung des Funktionsprinzips der Wavelet-Bildkompressionsverfahren verdeutlicht werden. Daneben bieten die neuen Kompressions-Methoden eine gesteigerte Kompressionsqualität.

Beschreibung der Wavelet-Kompression

Wavelet-Kompressionsverfahren benutzen -wie JPEG und fraktale Kompressionsverfahren- zweidimensionale Transformationen, um die Bildinformationen zu dekorrelieren. Die Kompression mit Wavelet-Kompressionsverfahren läuft in den folgenden Schritten ab:

1. Bildvorbereitung
2. Transformation
- 3.a Quantisierung
- 3.b Kodierung

Die Schritte Quantisierung und Kodierung sind bei modernen Verfahren in einem Schritt zusammengefaßt und ermöglichen so das sog. *embedded coding*, worauf später näher eingegangen wird.

Bildvorbereitung:

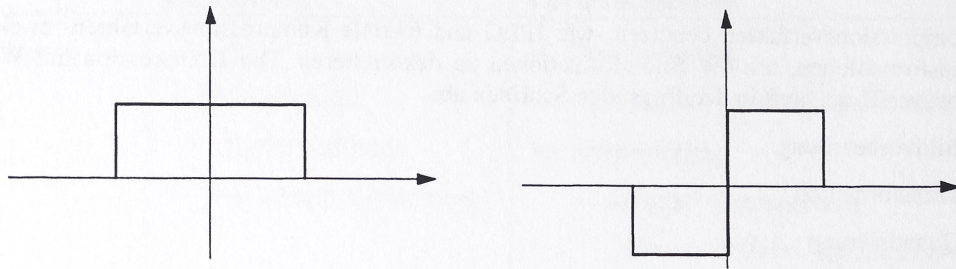
Die Wavelet-Transformation läuft rekursiv über mehrere Stufen (*level*), wobei die Originalbildmatrix stets in zwei x zwei transformierte Bildmatrizen der halben Spalten und Zeilenzahl transformiert wird. Um diese Zweiteilung in jeder Transformationsstufe zu ermöglichen, wird das Bild vor der Transformation derart erweitert, daß seine Kantenlängen 2^{level} Bildpunkte betragen.

Eine Zerlegung des Bildes in Blöcke, wie sie JPEG und fraktale Kompressionsverfahren benutzen, ist für die diskrete Wavelet-Transformation nicht erforderlich, kann jedoch im Sinne einer effektiven Speichernutzung durchgeführt werden. Die Transformation wird in diesem Falle über die Blockgrenzen überlappend ausgeführt, so daß diese keinerlei Einfluß auf das transformierte Bild ausüben.

Transformation:

Die diskrete Wavelet-Transformation ist der Diskreten Fourier-Transformation (DFT) sehr ähnlich, benutzt aber nicht die örtlich unbegrenzten Sinus- und Kosinusfunktionen zur Analyse des Bildmaterials. Die Basisfunktionen sind die Scaling-Funktionen und die Wavelets. Diese Funktionen verbinden die grundlegende Eigenschaft der Orthogonalität, die eine Transformation und eine identische Rekonstruktion erst ermöglicht, mit der Eigenschaft des „compact support“, d.h., sie besitzen eine endliche Ausdehnung. Dies erlaubt die Analyse von Bilddaten ohne Fenstereffekte, die aus der Anwendung unendlicher Funktionen auf endliche Bildbereiche resultieren. Daher ist auch keine Blockzerlegung des Bildes notwendig.

Die einfachste Wavelet-Funktion, das Haar-Wavelet, soll die Wavelet-Transformation im diskreten Fall erläutern :



Haar - Scalingfunktion -> Tiefpaß

Haar - Wavelet -> Hochpaß

Ein Transformationskoeffizient ist ...

Mittelwert

Differenz

... zweier benachbarter Pixel

Abb 1: Das Haar-Wavelet

In diesem einfachen Fall bedeutet eine Analyse (eine Faltung) mit den Haar-Funktionen die Berechnung des Mittelwertes und der Differenz zwischen zwei benachbarten Pixelwerten. Die Ergebnisse werden unterabgetastet und als Tiefpaß und Hochpaßanteile gespeichert. Der Tiefpaßanteil wird mit den Haar-Wavelet- und Scalingfunktionen weiter analysiert.

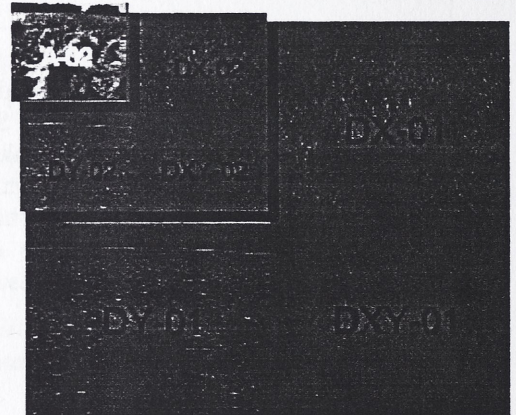
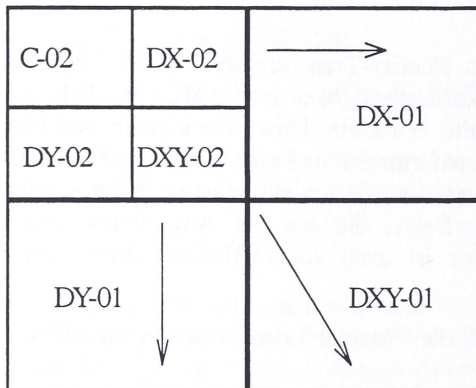


Abb 2: Schema und Beispiel einer 2stufigen, 2dimensionalen Wavelet-Transformation

Zuletzt ist das wavelet-transformierte Bild durch eine Anzahl kleiner werdender Hochpaßanteile und einen einzigen Tiefpaßanteil gekennzeichnet. In Abb 2, links ist das Prinzip der Wavelet-Transformation vereinfacht erläutert. Die Ursprungsmatrix wird in der ersten Transformationsstufe in drei Hochpaßanteile (Dx01, Dy01, Dxy01) sowie einen Tiefpaßanteil (C01) zerlegt. In einer weiteren Transformationsstufe wird nur noch der erste Tiefpaßanteil (C01) wiederum in drei Hochpaßanteile (Dx02, Dy02, Dxy02) sowie einen neuen Tiefpaßanteil (C02) zerlegt. Die Hochpaßanteile der ersten Transformationsstufe bleiben erhalten. Auf diese Weise können nun weitere Transformationsstufen durchlaufen werden. Das Ursprungsbild wird so hierarchisch zerlegt. In den Hochpaßanteilen der ersten Transformationsstufe werden die feinen Bildstrukturen erfaßt, in den Hochpaßanteilen der folgenden Transformationsstufen werden zunehmend größere Bildstrukturen erfaßt.

Ein praktisches Beispiel zeigt der rechte Teil von Abb 2. Das Ursprungsbild ist in zwei Transformationsstufen zerlegt worden. Das kleine Bild in der linken oberen Ecke im transformierten Abbild stellt den Tiefpaßanteil der zweiten Transformationsstufe dar. Alle übrigen Bildbereiche sind Hochpaßanteile.

Normalerweise wird die Transformation mit anderen Funktionspaaren durchgeführt. Diese spezielleren Funktionen, wie Daubechies Wavelets oder biorthogonale Wavelets, führen zu gegenüber JPEG überlegenen Resultaten.

Die Transformation kann mit Fließkomma- oder Integerarithmetik durchgeführt werden. Für Fließkommaarithmetik spricht die größere Anzahl unterschiedlicher verwendbarer Wavelet-Filter sowie die hohe Qualität bei verlustbehafteter Kompression. Dem steht jedoch der Nachteil der aufwendigen Elimination von auftretenden Rundungsfehlern sowie die meist höhere Rechenzeit entgegen. Soll auch verlustfrei komprimiert werden, so darf bei während der Transformation keinerlei Rundungsfehler auftreten, dies wird mit Hilfe einer speziellen, auf Integerarithmetik basierenden Transformationsvorschrift erreicht.

Quantisierung und Kodierung:

Die Quantisierung und Kodierung sorgen für die Auswahl und die Anordnung der Informationen im Datenstrom. Dabei verwirft zunächst die Quantisierung die bei der geforderten Kompressionsqualität irrelevanten Informationen und leitet nur die wichtigsten an den nachfolgenden Entropiekodierer weiter.

Durch die Kombination der Quantisierung mit der Kodierung in einer Stufe ergibt sich jedoch die Möglichkeit einer genauen Steuerung der Kompressionsqualität (Bildqualität vs. Kompressionsrate). Die Länge des erzeugten Datenstromes kann so exakt vorherbestimmt werden.

Die Quantisierung der Bildinformation findet dabei erst während der Kodierung statt.

Zu Beginn wird grob quantisiert, nur die größten und daher wichtigsten Transformationskoeffizienten liefern einen Beitrag zum entstehenden Datenstrom. Anschließend werden die zu Beginn verwendeten Quantisierungsintervalle weiter aufgeteilt, dabei werden weitere Koeffizienten signifikant, die im ersten Durchlauf nicht berücksichtigt wurden. Die Werte derjenigen Koeffizienten, die schon im ersten Durchlauf signifikant waren, werden durch zusätzliche Informationen genauer eingegrenzt. Dieser Vorgang wird fortgesetzt, bis entweder die gewünschte Datenmenge erreicht ist oder die gesamte Information übertragen ist, d.h., wenn die Größe des Quantisierungsintervalles der digitalen Auflösung der Koeffizienten entspricht. Angewandt auf Binärzahlen und jeweils halbierte Intervalle werden so die einzelnen Bitebenen der Binärzahlen in separaten Kodierzyklen ausgegeben, man spricht vom Bitplane-Coding, der entstehende Datenstrom ist embedded, d.h. die Bildinformation ist nach ihrer Wichtigkeit angeordnet. Praktisch ermöglicht dies, den Datenstrom an jeder beliebigen Stelle unterbrechen zu können und dennoch aus den zuvor empfangenen Daten ein vollständiges Bild rekonstruieren zu können, mit gegenüber dem Original entsprechend der abgeschnittenen Datenmenge vermindelter Qualität.

Damit verfügt man über ein Kompressionsverfahren, welches verlustfreie und verlustbehaftete Kompression in sich vereint. Aus verlustfrei komprimierten Daten kann jede beliebige höhere Kompressionsrate durch simples Abschneiden des Datenstromes nach der gewünschten Datenmenge erzeugt werden. Gleichzeitig entsteht eine bessere Bildqualität als mit der entsprechenden verlustbehafteten JPEG-Kompression.

Dies ist ein Vorteil des Verfahrens, welcher völlig neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnet.

Das Wavelet-Kompressionsverfahren LuraWave

Dieser Abschnitt soll die Funktionalitäten moderner Bilddatenkompressionsmethoden am Beispiel des Wavelet-Bilddatenkompressionsverfahrens „LuraWave“ erläutern.

Ein wesentliches Merkmal des Bilddatenkompressionsverfahrens „LuraWave“ stellt die gegenüber bisherigen Verfahren **deutlich gesteigerte Bildqualität** dar. Abbildung 1 stellt die Kompressionscharakteristik des waveletbasierten Verfahrens, dem bisherigen Standardverfahren JPEG gegenüber. Als statistische Bewertungsgröße wurde das Maß des Spitzen-Signal-Rauschabstandes (PSNR) verwendet. Es zeigt sich, daß sich mit dem modernen LuraWave-Verfahren bei jeder Kompressionsrate eine bessere Bildqualität erzielen läßt.

Besonders deutlich wird die gesteigerte Bildqualität bei hohen bis extrem hohen Kompressionsraten, wie sie bei Anwendungen im Internet erforderlich sind.

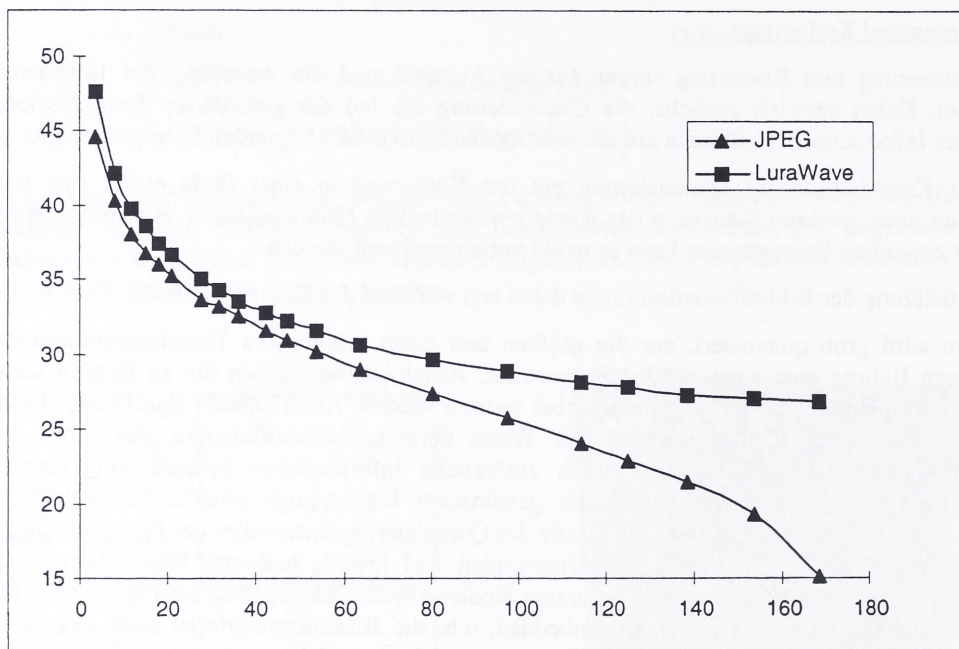


Abbildung 1: statistische Qualität (PSNR) LuraWave vs. JPEG am Bild „Butterfly“

Der visuelle Vergleich zwischen LuraWave und JPEG (siehe Tabelle 1) macht die unterschiedliche Arbeitsweise zwischen dem Standardverfahren JPEG und LuraWave deutlich. Während bei JPEG das originale Bild in einzelne, voneinander unabhängige Blöcke zerlegt wird, die dann anschließend unabhängig voneinander weiterverarbeitet werden, wird bei waveletbasierten Verfahren das Bild als Gesamtheit betrachtet und auch als Gesamtheit verarbeitet. Bei hohen Kompressionsraten zeigt sich die blockbasierte Arbeitsweise von JPEG anhand der Blockartefakte. Waveletbasierte Verfahren zeigen keine Blockartefakte. Die rekonstruierten Bilder weisen bei LuraWave Glättungseffekte auf.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die Möglichkeit der **verlustlosen Kompression**. Die verlustlose Kompression stellt den Grenzfall der verlustbehafteten Kompression dar. Bei einer verlustlosen Kompression werden die nach der Wavelet-Transformation entstandenen Koeffizienten solange immer feiner werdend quantisiert, bis die Quantisierungsintervalle eine Breite von nur noch einem Bit besitzen und dadurch eine vollständige, verlustlose Übertragung der ganzzahligen Transformationskoeffizienten möglich ist.

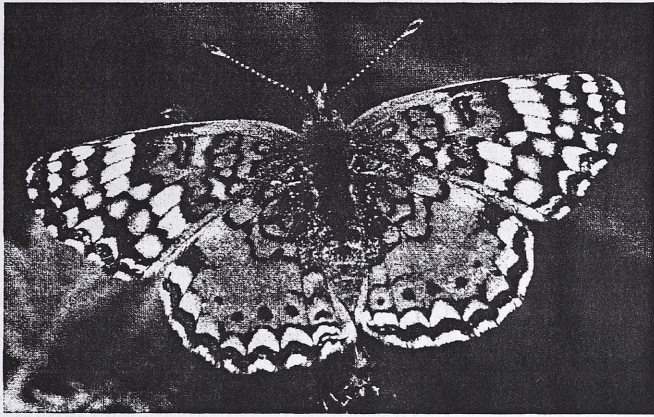
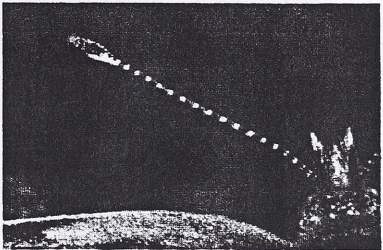
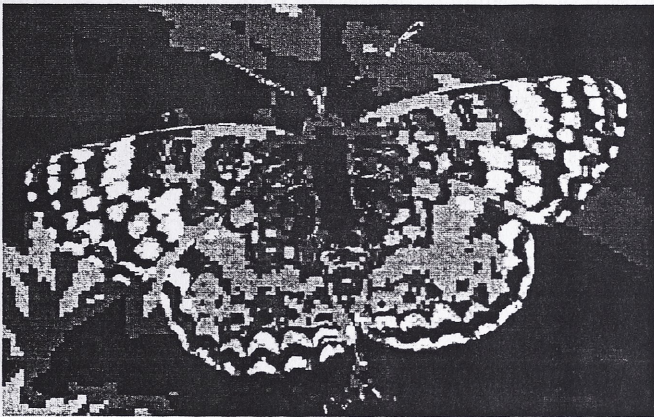
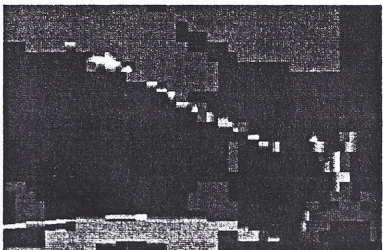
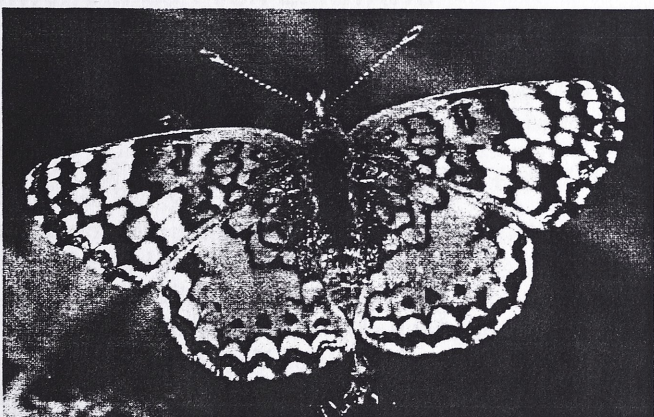
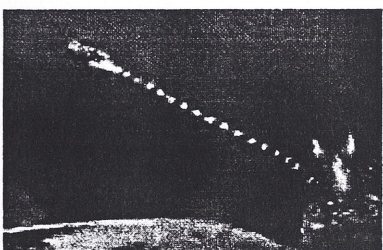
	Gesamtansicht	Ausschnittvergrößerung
Original	 <p data-bbox="248 767 385 804">(2,7 MByte)</p>	
JPEG 1:150	 <p data-bbox="248 1274 404 1310">(17,5 kBytes)</p>	
LuraWave 1:150	 <p data-bbox="248 1780 404 1817">(17,5 kBytes)</p>	

Tabelle 1: visueller Vergleich zwischen JPEG und LuraWave bei hohen Kompressionsraten

Aus verlustfrei abgelegten Daten können aber dennoch jederzeit Bilder mit jeder beliebigen höheren (verlustbehafteten) Kompressionsrate erzeugt werden. Dabei wird nur ein Bruchteil der gespeicherten Daten benötigt, die ihrerseits wiederum nur einen Teil der Originalbilddatenmenge ausmachen. Für Anwendungen, in denen Bilder in verschiedenen Qualitäts- oder Auflösungsstufen benötigt werden, ergibt sich mit herkömmlichen Kompressionsverfahren ein erhöhter Aufwand sowohl in der Verwaltung der Bilder als auch im Speicherbedarf, da jedes Motiv in den verschiedenen Auflösungen generiert und separat gespeichert werden muß.

Aus einem LuraWave komprimiert gespeicherten Bild, welches mit der höchsten geforderten Qualität komprimiert wurde, kann dagegen jede der anderen, niedrigeren Auflösungen ausgelesen werden. Diese Möglichkeit der flexiblen Bildbehandlung wird **Skalierbarkeit in Größe und Qualität** bezeichnet.

Die Skalierbarkeit findet ihre Anwendung beispielsweise in Vorschauseiten von Bilddatenbanken. Dabei wird berücksichtigt, daß die Wiedergabemedien (beispielsweise Computerbildschirme) nur eine gewisse physikalische Auflösung besitzen. Es ist bei einer verkleinerten Bild Darstellung nicht notwendig, die gesamte Bildinformation zu übertragen. In einer verkleinerten Darstellung werden Bilder mit deutlich höherer Kompressionsrate visuell einwandfrei wiedergegeben.

Abbildung 2 illustriert diese Eigenschaft anhand einer Bilderreihe in verschiedenen Auflösungsstufen. Für die Darstellung der unterschiedlichen Bilder in unterschiedlicher Größe wurden nur so viele Daten eingesetzt, wie sie für die entsprechende Bildgröße benötigt werden. Dadurch reduziert sich der Verwaltungsaufwand in Bilddatenbanken wesentlich, da für die Generierung der Überblicksdarstellung und für die Darstellung der besten Auflösungsstufe nur eine einzige Datei verwendet werden kann.

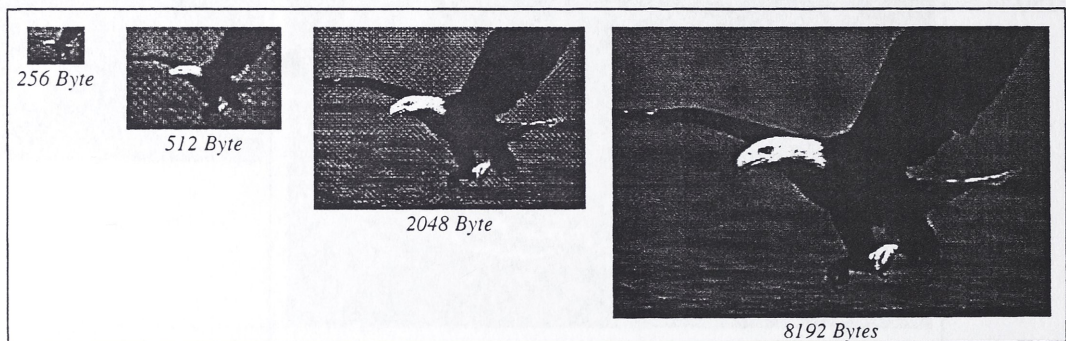


Abbildung 2: Skalierbarkeit in Größe und Qualität

Die **Komplexität und somit Rechengeschwindigkeit** der Waveletkompression ist trotz der größeren Funktionalität und Flexibilität mit der JPEG-Kompression vergleichbar. Im Gegensatz zu fraktalen Kompressionsverfahren mit ihren sehr langen Kompressionszeiten hat die Wavelet-Kompression einen symmetrischen Rechenaufwand für Kompression und Dekompression.

Eine weitere Besonderheit von LuraWave besteht in der Möglichkeit einer Inhaltsadaptiven Kompression, in **verbesserten Bildbereichen**. In einigen Anwendungsfällen ist es wichtig, daß bestimmte Bildbereiche eines Bildes von wesentlicher Bedeutung sind, die evt. sogar verlustlos übertragen werden müssen. Andere Bereiche desselben Bildes dürfen dagegen verlustbehaftet sein. Dies ist bei bisherigen Verfahren nur durch eine verlustlose Kompression des gesamten Bildes möglich. Die dabei erreichbaren Kompressionsraten fallen dementsprechend gering aus. LuraWave ermöglicht hingegen die Definition von mehreren verbesserten Bildbereichen, die im Gegensatz zu deren Umgebung mit einer besseren Qualität übertragen werden. Abbildung 3 zeigt diese Möglichkeit. Mit LuraWave ist es erstmals möglich, **innerhalb** eines Bildes die Kompressionsrate von verlustloser Kompression bis zu stark verlustbehafteter Kompression individuell zu steuern.

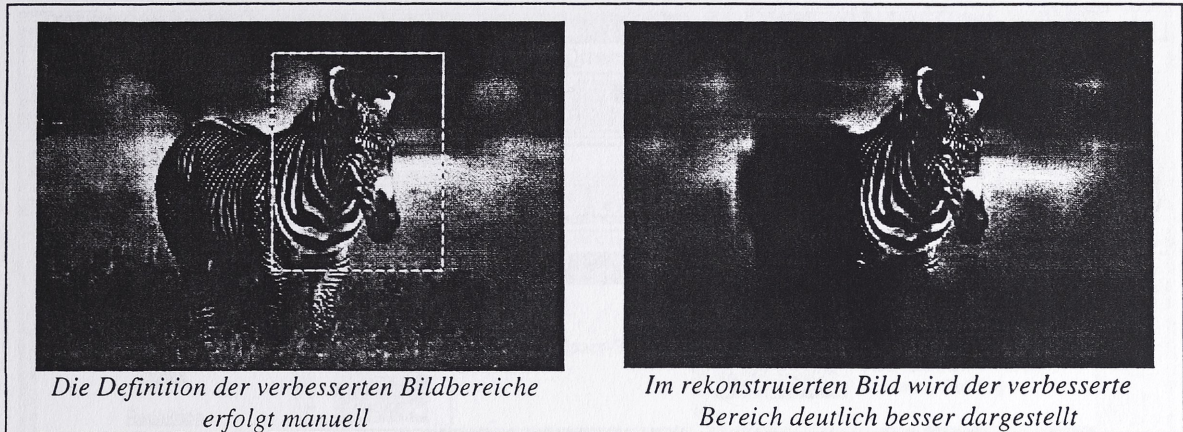


Abbildung 3: Verbesserte Bildbereiche

Der **Passwortschutz** erlaubt einen beschränkten Zugriff auf die Bilddaten. Im Gegensatz zu anderen Schutzmechanismen erlaubt LuraWave den unbegrenzten Zugriff auf eine vorher definierte „freie Qualität“. Erst durch die Eingabe des korrekten Passwortes ist eine Betrachtung in voller Auflösung möglich.



Abbildung 4: Passwortschutz von LuraWave-Bildern

Beispielanwendungen von LuraWave

LuraWave stellt in seiner aktuell vorliegenden Version 2.0 eine Reihe von Softwarekomponenten zur Verfügung, die die oben angesprochene Funktionalität in existierende Standardsoftware integrieren: Netscape - Plugin (Macintosh, MS-Windows) , PhotoShop - Plugin (Macintosh, MS-Windows), Commandline-Tools (UNIX, MS-Windows), MS-Windows-OCX-Control, LuraWave für Windows, LuraWave-Quicktime PlugIn (Macintosh, MS-Windows), LuraWave-C-SDK (MS-Windows).

Ein Haupteinsatzfeld für die Kompression von Bilddaten stellt das Internet, darin wiederum speziell das World Wide Web dar, welches zunehmend für kommerzielle Anwendungen genutzt wird. Die heute im Internet verfügbare Bandbreite reicht jedoch zur Übertragung großer, hochauflöster Bilder oft nicht aus, die Bilder müssen komprimiert werden, um zeit- und kostensparend übertragen werden zu können.

Anbieter von Bilddatenbanken bieten im WWW Bilder verschiedener Auflösungen an. Der Aufwand für Verwaltung, Speicherung und Vertrieb kann durch Verwendung wavelet-komprimierter Bilder erheblich gesenkt werden. Die LuraWave-Kompression bietet neben der oben erwähnten Funktionalität die Option, Bilder ab einer gewissen Qualität mit einem Paßwortschutz zu versehen. Das ermöglicht, daß nur autorisierte Nutzer auf die volle Bildqualität zugreifen können, ohne das Paßwort wird das Bild mit der geringeren, freien Qualität dargestellt. Die Darstellung mit dieser Funktionalität realisiert das LuraWave-Netscape-PlugIn. Der Anbieter einer Internet-Seite hat die Möglichkeit, die Datenmenge, die der Benutzer zunächst zur Darstellung des Bildes erhält vorzugeben. Der Benutzer kann nun aber seinerseits Daten nachladen, um die Qualität der Darstellung zu erhöhen.

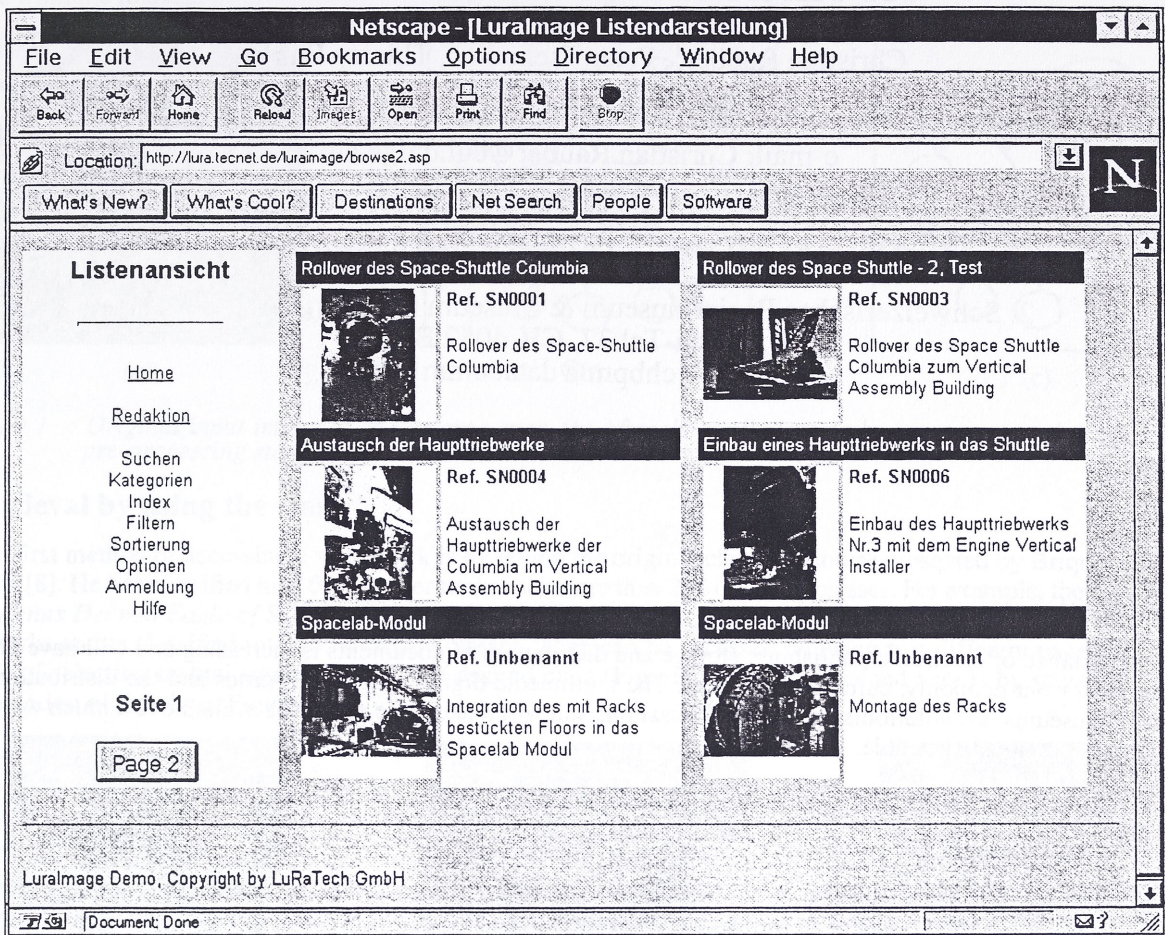


Abbildung 5: Listendarstellung der Bilddatenbank „LuraImage“

Diese Vorteile kommen selbverständlich auch bei Datenbankanwendungen im Intranet zum Tragen, dabei können mit Hilfe des OCX- oder C-SDK's auch eigene anwenderspezifische Programme um die Funktionalität der LuraWave-Kompression ergänzt werden.

Zusammenfassung

Mit der Wavelet-Kompression steht ein neues hochleistungsfähiges Verfahren zur Bildkompression zur Verfügung, welches eine gegen JPEG gesteigerte Funktionalität mit einer wesentlich höheren Kompressionsqualität verbindet. Verlustfreie und verlustbehaftete Kompression natürlicher Bilder sind in einem Kompressionsverfahren übergangslos integriert. Weitere Funktionalitäten, die besonders auf die Anwendung von Bilddatenkompressionsverfahren im Internet abgestimmt sind, ergänzen die Vorteile waveletbasierter Verfahren.

Das Softwarepaket LuraWave stellt die Funktionalität der Wavelet-Bildkompression für praktische Anwendungen zur Verfügung. Neben der gesteigerten Bildqualität stellt LuraWave zusätzliche Möglichkeiten der Skalierbarkeit, Verbesserung von Bildbereichen und des Schutzes des Bildmaterials vor unberechtigtem Zugriff.