

Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme
Interaktive und Multimediale Systeme
Technische Universität Wien

Projektpraktikum (mit Bakkalaureatsarbeit)
SS 2004

JPEG vs. JPEG2000

Thema Nr. 26

Wien, 02.07.2004

Marie-Theres Tschurlovits 0125975

mth.web@gmx.net

Inhalt

1.	Zusammenfassung	3
1.1	Links auf andere Lerneinheiten	3
2.	Level of Detail 2	4
2.1	JPEG – Joint Photographic Experts Group	4
2.1.1	Kompressionsmodi	4
2.1.2	Ablauf der Kompression	4
2.1.3	Resümee	6
2.2	JPEG2000	6
2.2.1	Wavelet-Transformation	6
2.2.2	Grundprinzip der Diskreten Wavelet-Transformation	6
2.3	Gegenüberstellung von JPEG und JPEG2000	9
2.3.1	Erweiterungen in JPEG2000	9
2.3.2	Vorteile von JPEG2000	11
2.3.3	Vorteile von JPEG	11
2.4	JPEG vs. JPEG2000 anhand eines Bildbeispiels	12
2.5	Bewertung von Bildqualität	15
3.	Level of Detail 3	17
3.1	Vergleich der Auflösung von Farb- bzw. Helligkeitswerten	17
3.1.1	Vorschlag interaktive Anwendung	17
3.1.2	Weiterführende Literatur und Links	17
4.	Literatur	18
4.1	Eigene Literatur	18

1. Zusammenfassung

1.1 Links auf andere Lerneinheiten

LU17 – Grundlagen der perzeptuellen Bildkodierung

LU18 – JPEG

LU22 – JPEG2000

LU25 – Vergleich von Komprimierungsverfahren

2. Level of Detail 2

2.1 JPEG – Joint Photographic Experts Group

JPEG (Joint Photographic Experts Group) ist eigentlich ein Standard für verlustbehaftete Komprimierung, der 1993 als ISO 10918 festgeschrieben wurde. Spricht man von „JPEG“, wird jedoch oft das Bildformat *JPEG JFIF (JPEG File Interchange Format)* gemeint, das von der *IJG (Independent JPEG Group)* entwickelt wurde. [E01]

JPEG ist ein verlustbehaftetes Verfahren, das auf die Komprimierung von Bildern mit fließenden Farbübergängen optimiert wurde. Für Bilder mit harten Kontrasten, Liniengrafiken oder Texten, die große Farbflächen mit starken Farbwechslern aufweisen, ist dieses Bildformat weniger geeignet. [E02]

2.1.1 Kompressionsmodi

Der inhaltliche Schwerpunkt, der bei der Entwicklung des Kompressionsverfahrens gesetzt wurde, war, einen Algorithmus zur Komprimierung natürlicher Grau- oder Farbtöne zu entwickeln. Damit sind vor allem realitätsnahe Bilder wie Fotos gemeint. Es sollte ein guter Kompromiss zwischen einer hohen Kompressionsrate einerseits und hohen Geschwindigkeit bei Kodierung und Dekodierung erzielt werden. Es stellte sich heraus, dass es nicht so einfach ist, einen passenden Algorithmus zu finden, der all diese Erfordernisse gleichermaßen gut erfüllt. Deshalb unterscheidet JPEG mehrere Kompressionsmodi, die sich jeweils auf bestimmte Anforderungsaspekte konzentrieren.

Progressiver Modus (progressive mode)

Das Grundprinzip des progressiven Komprimierungsmodus besteht darin, das Bild in mehreren Durchgängen zu kodieren, bzw. auch wieder zu dekodieren. Bei der Darstellung des Bildes wird somit zuerst ein Bild schlechterer Qualität gezeigt, das schrittweise an Qualität zunimmt.

Hierarchischer Modus (hierarchical mode)

Bei diesem Modus wird das Bild sowohl in guter als auch in schlechter Auflösung gespeichert. Das Bild geringer Auflösung zeichnet sich dadurch aus, wesentlich schneller übertragen und dekodiert werden zu können und somit gut als Vorschaubild geeignet.

Sequentieller Modus (sequential mode)

In dieser Einstellung wird ein Bild in einem einzigen Kodierungsdurchgang von links oben nach rechts unten abgearbeitet. Für die meisten Anwendungen ist diese, am einfachsten zu implementierende und die besten Kompressionsraten erzielende, Einstellung ausreichend.

2.1.2 Ablauf der Kompression

Im Folgenden wird kurz der Kompressionsablauf, den JPEG im sequentiellen Modus aufweist, erläutert. Die anderen verlustbehafteten Komprimierungsmodi (hierarchischer und progressiver Modus) gehen im Grunde nach demselben Grundprinzip vor.

In einem Vorverarbeitungsschritt wird das Bild in Blöcke der Größe von 8×8 Pixeln geteilt. Auf jeden einzelnen dieser Pixelblöcke wird danach die *Diskrete Cosinus Transformation (DCT)* angewandt. Durch die DCT werden die Daten in einen für die Kompression vorteilhaften Bildraum transformiert. Insgesamt erfolgt die Kodierung bzw. Dekodierung dieser Pixelblöcke in den folgenden Schritten:

Kodierung

1. Farbraumveränderung und Indexverschiebung
2. Vorwärtsgerichtete Diskrete Cosinus Transformation (DCT)
3. Quantisierung
4. Arithmetische Kodierung oder Huffman-Kompression

Dekodierung

Die Dekodierung stellt einfach den inversen Prozess zur Kodierung dar, d.h. alle bei der Dekodierung angewandten Schritte werden in umgekehrter Reihenfolge auf das kodierte Bild angewandt:

1. Arithmetische Dekodierung oder Huffman-Dekompression

2. Dequantisierung
3. Inverse Diskrete Cosinus Transformation
4. Indexverschiebung [E03, Kap. 4]

Farbraumveränderung

Meistens liegen Farbbilder im RGB-Modell vor. JPEG macht sich jedoch zunutze, dass das Auge eine schlechtere Farb- als Helligkeitsauflösung aufweist. Um dies zu erreichen werden deshalb die vorliegenden Daten in ein Farbmodell umgewandelt, das Farb- und Helligkeitswerte getrennt voneinander speichert, wie beispielsweise YUV. Es gibt einige ähnliche Farbmodelle, die auf diesem Prinzip basieren, JPEG zieht aber kein spezielles System vor. Der nämlich wesentliche Schritt ist dabei, eine Unterabtastung der Farbwerte vorzunehmen, d.h. diese mit geringerer Auflösung zu speichern. Eine gängiges Format ist hierbei unter anderem das 4:2:2 YUV-Format, wobei die Werte der beiden Farbkanäle U und V mit der halben Auflösung der Helligkeitswerte Y gespeichert werden.

Indexverschiebung

Für das weitere Vorgehen ist es auch zweckmäßig eine so genannte Indexverschiebung vorzunehmen, d.h. die Werte aus dem Intervall $[0, 255]$ in das Intervall $[-128, 127]$ abzubilden. [E03, Kap. 5]

Vorwärtsgerichtete Diskrete Cosinus Transformation

Jeder 8×8 Pixelblock wird nun als Vektor, bestehend aus 64 Pixelwerten (den Koeffizienten) eines geeigneten Bildraumes interpretiert. Auf jeden dieser Blöcke wird nun die DCT laut nachfolgender Formel angewandt:

$$d_{mn} = \frac{1}{4} c_m c_n \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 a_{ij} \cos \frac{(2i+1)m\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)n\pi}{16}$$

$$\text{mit } c_m, c_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ für } m, n = 0, \text{ sonst } c_m, c_n = 1$$

Durch obige Transformation werden die 64 Pixelwerte in 64 Frequenzbereiche umgewandelt, und somit eine zweidimensionale Frequenz wiedergegeben. Ein Koeffizient mit einer horizontalen und vertikalen Frequenz von 0 wird als *DC-Koeffizient* (*direct current*) bezeichnet, alle weiteren Koeffizienten nennt man *AC-Koeffizienten* (*alternating current*).

Große und regelmäßige Farbflächen schlagen sich in niedrigen Frequenzanteilen nieder, feinere Details und Farbunterschiede in höheren. Auch hier werden wieder Schwachstellen in der menschlichen Wahrnehmung ausgenutzt, so dass die hohen Ortsfrequenzen, die das Auge ohnehin nicht wahrnehmen kann, ohne größere Verluste befürchten zu müssen, herausgefiltert werden können.

Benachbarte Pixelwerte unterscheiden sich in den meisten Fällen nur geringfügig voneinander, was sich darin bemerkbar macht, dass nur der DC-Koeffizient und einige niederfrequente AC-Koeffizienten größere Werte annehmen, während der Großteil der Koeffizienten Werte um null oder gleich null annehmen. Somit wird bereits hier ein Komprimierungseffekt ersichtlich, indem nur einige wenige große Zahlen und eine große Menge kleinerer Zahlen kodiert werden müssen. [E04, E05, Kap. 5]

Quantisierung

Im Quantisierungsschritt der Kodierung werden die AC-Koeffizienten durch einen gewissen Quantisierungsfaktor geteilt und auf einen Integerwert gerundet. Der DC-Koeffizient, der den Farbmittelwert des Pixelblockes und somit die wichtigste Information beinhaltet wird hierbei nicht verändert.

Bei der inversen Operation zur Quantisierung, die bei der Dekodierung erfolgt, werden die einzelnen Werte einfach wieder mit den Faktoren multipliziert, durch die sie im Kodierungsschritt dividiert wurden. Da jedoch bei der Kodierung die Werte durch Rundung geringfügig verändert wurden, kommt es hier natürlich zu einem Informationsverlust.

Bei der JPEG-Kompression lässt sich der Grad der Kompression vom Benutzer manuell einstellen. Dabei wird der Quantisierungsfaktor entsprechend skaliert. Ein Komprimierungsfaktor der unter einem Zehntel liegt ist mit kaum merklichem Informationsverlust verbunden. Komprimiert man allerdings zu stark, kommt es zur Bildung

von Artefakten, was bedeutet, dass die Blockstruktur des Bildes (das Bild wurde ja in einem Vorverarbeitungsschritt in 8×8 Pixelblöcke unterteilt) sichtbar wird. [E04]

Kodierung

In diesem Schritt wird nun ausgenutzt, dass ein größerer Teil der gespeicherten Information, Redundanzen aufweist. Häufig auftretende Werte werden nun mit kurzen Symbolen kodiert, selten vorkommende mit längeren. In JPEG werden zwei Kodierungsverfahren zur Komprimierung der Daten unterstützt, die Huffman-Kodierung und die Arithmetische Kodierung. Aufgrund patentrechtlicher Umstände wird, obwohl die Arithmetische Kodierung meist 5-10% kleinere Dateien erzeugt, meist die Huffman-Kodierung eingesetzt. Das Ausnutzen von Redundanzen durch geschickte Kodierung erzeugt den eigentlichen Komprimierungseffekt. [E05, Kap. 7]

2.1.3 Resümee

JPEG bietet also ein gutes Verfahren um mit relativ starker Kompression immer noch recht hochwertige Bilder zu erhalten. Das Format weist jedoch auch zwei Schwachpunkte auf:

1. Es können keine Zusatzinformationen mit abgespeichert werden, wie beispielsweise den Autor des Bildes, ein digitales Wasserzeichen, ergänzende Kommentare etc.
2. Bei einer sehr hohen Kompressionsrate kommt es, wie bereits oben erwähnt, zur Bildung von Artefakten, deren Ursachen die Zusammenfassung zu Pixelblöcken für die DCT und der Quantisierungsschritt darstellen. [E03, Kap. 11]

Für nähere Informationen siehe LU18 (JPEG).

2.2 JPEG2000

Das Format *JPEG2000*, eine Weiterentwicklung des JPEG-Formats wurde im Januar 2001 von der *International Organization of Standardization (ISO)* zum Standard erklärt. An der Entwicklung des Formats waren die ISO und die University of British Columbia (UBC) beteiligt.

JPEG2000 weist nun gegenüber seinem „Vorgänger“ JPEG einige veränderte technische Eigenschaften auf, die dazu führten, dass es auch bei sehr hohem Kompressionsfaktor zu keiner Artefaktbildung mehr kommt was in weiterer Folge natürlich eine Qualitätsverbesserung bedeutet. Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass die Diskrete Cosinus Transformation durch die so genannte Wavelet-Transformation ersetzt wurde. Bei dieser Transformation ist es nicht mehr nötig das Bild in 8×8 Pixelblöcke aufzuteilen, stattdessen erlaubt sie die Codierung von Bilddaten in einem kontinuierlichen Datenstrom. Damit können zugleich höhere Kompressionsraten und eine bessere Bildqualität erzielt werden. [E03, Kap. 11]

2.2.1 Wavelet-Transformation

Die in JPEG2000 eingesetzte Variante der Wavelet-Transformation ist die *Diskrete Wavelet-Transformation (DWT)*. Die DWT ist der Diskreten Fourier-Transformation sehr ähnlich benutzt jedoch, statt örtlich unbegrenzten, *endliche Sinus- und Cosinusfunktionen* zur Analyse des Bildmaterials.

Die Basisfunktionen der Wavelet-Transformation stellen die so genannten *Skalierungs-Funktionen (scaling functions)* und die *Wavelets* dar. Diese Funktionen weisen die grundlegende Eigenschaft der Orthogonalität auf, die eine Transformation und eine identische Rekonstruktion erst ermöglicht. Außerdem besitzen die Funktionen eine endliche Ausdehnung, was zu einer Analyse der Bilddaten ohne Fenstereffekte führt. Die Abtastraten der Frequenzen sind bei der DWT Abhängig von der jeweiligen Frequenz. Wird beispielsweise die Frequenz um eine Oktave erhöht wird dafür die Abtastrate verdoppelt.

2.2.2 Grundprinzip der Diskreten Wavelet-Transformation

Anhand der einfachsten Wavelet-Funktion, dem Haar-Wavelet, soll das Grundprinzip der Diskreten Wavelet-Transformation erläutert werden.

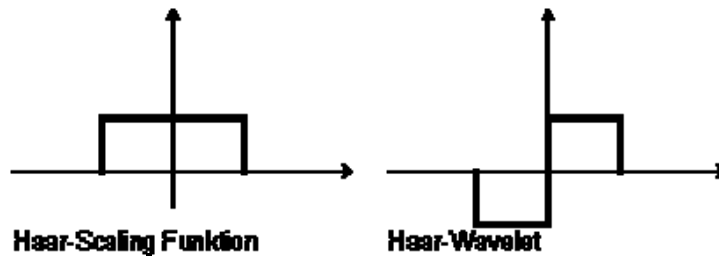


Abbildung 1: Die Haar-Skalierungs-Funktion und das Haar-Wavelet
 [http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wave-2.gif]

Erklärung: Abbildung 1 zeigt die einfachsten Funktionen der DWT: die Haar-Skalierungs-Funktion und das Haar-Wavelet.

Im einfachsten Fall bedeutet die Bildanalyse (eine Faltungsoperation) mit den Haarfunktionen, dass Mittelwert und Differenz zweier benachbarter Pixelwerte berechnet werden. Die Ergebnisse dieser Berechnung werden danach unterabgetastet und als Tiefpass- und Hochpassanteile gespeichert. Der Tiefpassanteil wird mit Hilfe der Haar-Funktionen weiteren Analysen unterzogen. Das Endergebnis eines durch Wavelets transformierten Bildes ist durch eine gewisse Anzahl immer kleiner werdender Hochpassanteile und einen einzigen Tiefpassanteil gekennzeichnet.

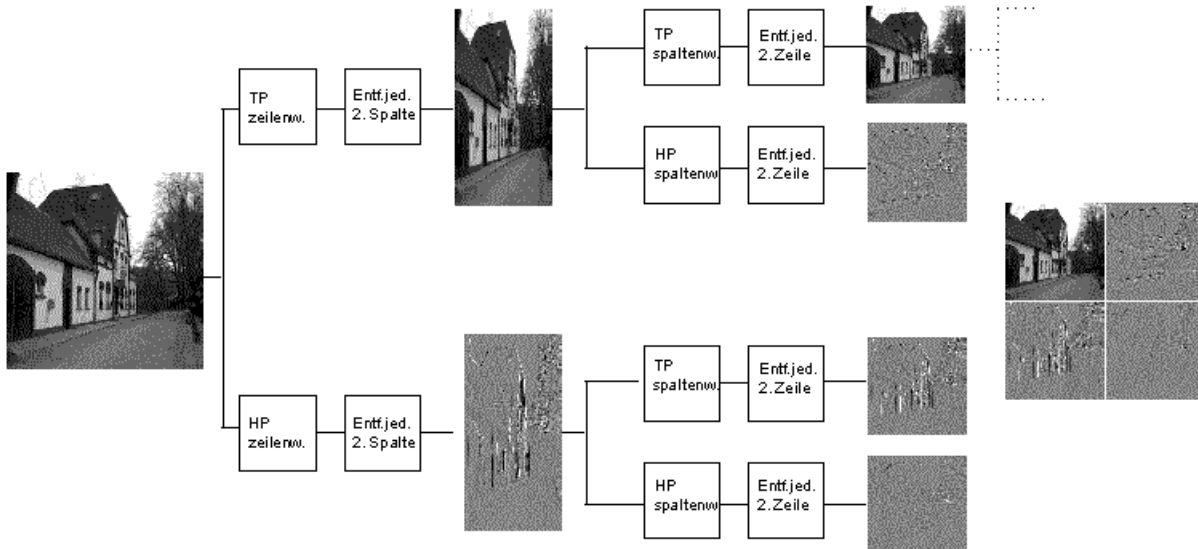


Abbildung 2: Das Grundprinzip einer Wavelet-Transformation
 [http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wavelet2.gif]

Erklärung: In Abbildung 2 wird das Grundprinzip einer Wavelet-Transformation veranschaulicht. Das erste kleine Bild auf der linken Seite der Abbildung zeigt das Originalbild, das mit der Wavelet-Transformation bearbeitet werden soll. Der erste Schritt stellt die zeilenweise Hoch- und Tiefpassfilterung (HP, TP) dar. Danach erfolgt die Unterabtastrung durch Speicherung nur jeder zweiten Spalte. Danach wird das Bild spaltenweise einer Hoch- und einer Tiefpassfilterung unterzogen und jede zweite Zeile entfernt. Dieses Prinzip wird bis zum Erreichen der gewünschten Kompression fortgeführt. Auf die gleiche Weise können nun weitere Transformationsstufen durchlaufen werden wodurch das Originalbild sozusagen hierarchisch immer weiter zerlegt wird.

In den Hochpassanteilen des ersten Transformationsdurchganges werden die feineren Bildstrukturen erfasst, während in den Hochpassteilen der weiteren Durchgänge zunehmend größere Bildstrukturen aufgenommen werden.

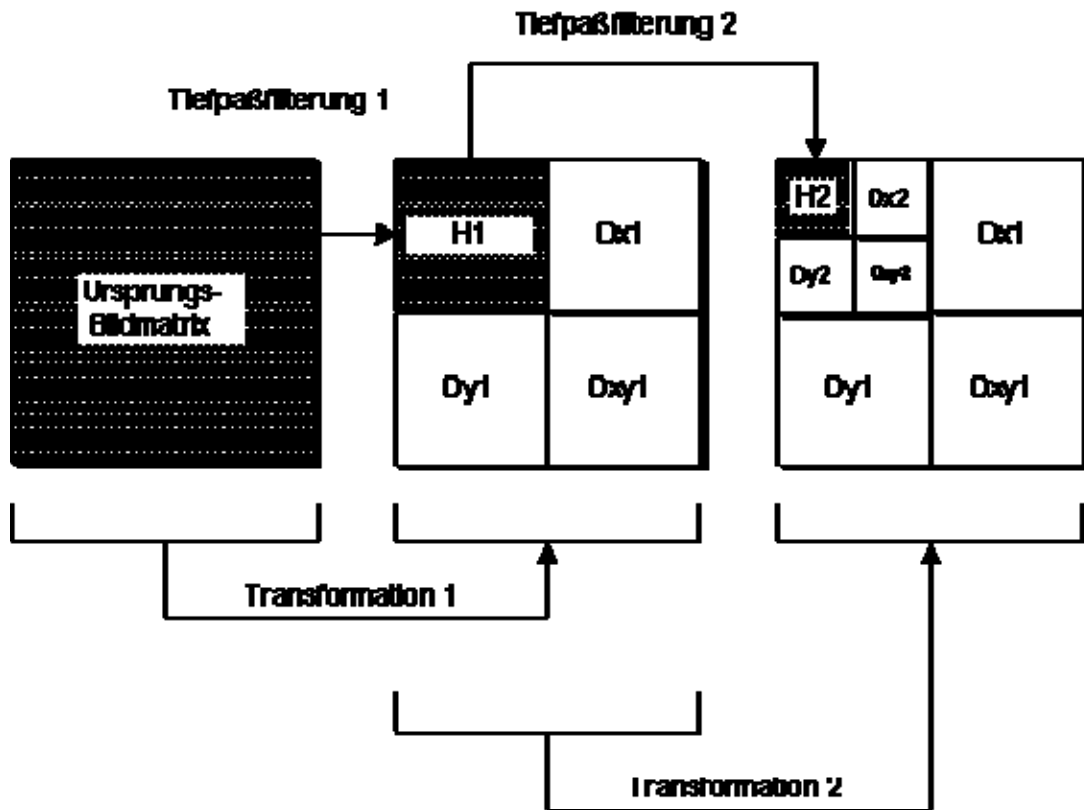


Abbildung 3: Zwei Iterationen einer Wavelet-Transformation
[\[http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wave-1.gif\]](http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wave-1.gif)

Erklärung: Die Ursprungsmatrix des Ausgangsbildes wird in Abbildung 3 in der ersten Transformationsstufe in drei Hochpassanteile (Dx1, Dy1, Dxy1) und einen Tiefpassanteil (H1) zerlegt. Im nächsten Schritt wird der erste Tiefpassanteil (H1) wiederum in drei Hochpassanteile (Dx2, Dy2, Dxy2) und einen neuen Tiefpassanteil (H2) zerlegt, wobei die Hochpassanteile der ersten Transformationsstufe erhalten bleiben.

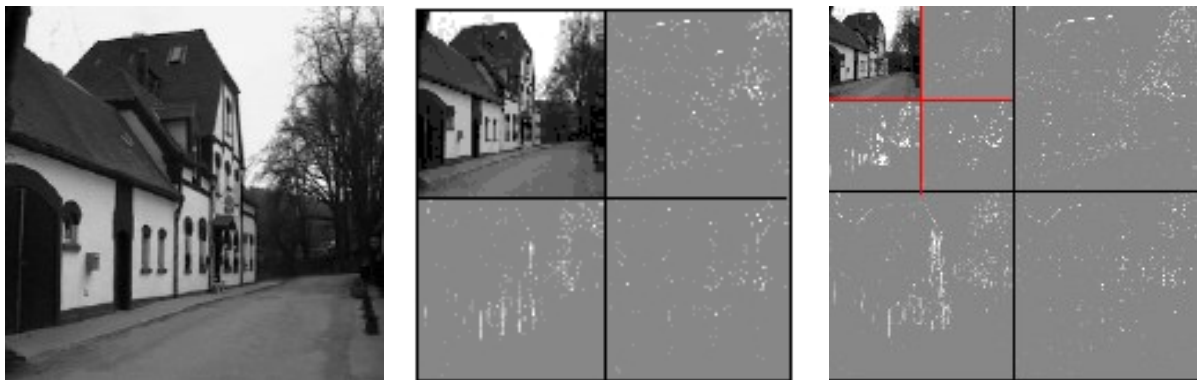


Abbildung 4: Verdeutlichung der Transformationsschritte an einem Bildbeispiel
[\[http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus.jpg,](http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus.jpg)
[http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus-tr0.jpg,](http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus-tr0.jpg)
[http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus-tr.jpg\]](http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/haus-tr.jpg)

Erklärung: Abbildung 4 soll das in Abbildung 2 und 3 erläuterte Grundprinzip nochmals an einem Bildbeispiel verdeutlichen. Das linke Bild zeigt das Ursprungsbild, das in zwei Transformationsstufen zerlegt wird. Das mittlere Bild ist bereits das erste transformierte Abbild, wobei das Teilbild links oben den Tiefpassanteil der ersten Transformationsstufe zeigt. Das kleine Bild Teilbild in der linken oberen Ecke des rechten Bildes stellt somit den Tiefpassanteil der zweiten Transformationsstufe dar. Die restlichen Teilbereiche zeigen die Hochpassanteile des Bildes.

Das Grundprinzip wurde an dem einfachen Beispiel der Haar-Funktionen verdeutlicht. Um jedoch gegenüber JPEG überlegene Resultate zu erzielen werden in der Praxis speziellere Funktionen, wie beispielsweise die so genannten *Daubechies Wavelets* oder die *Biorthogonalen Wavelets* eingesetzt.

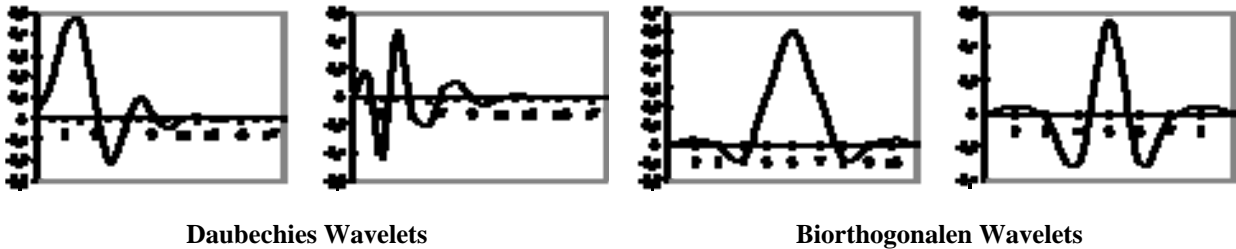


Abbildung 5: Skalierungs- und Wavelet-Funktion der Daubechies Wavelets und der Biorthogonalen Wavelets

[<http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wt41.gif>,
<http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wt42.gif>,
<http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wt61.gif>,
<http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wt62.gif>]

Erklärung: Abbildung 5 zeigt die komplexeren Wavelet-Funktionen, deren Einsatz in weiterer Folge Kompressionsresultate ermöglicht, die der Kompression mit JPEG überlegen sind.

Die Transformation durch Wavelets allein führt jedoch noch nicht zu einer Kompression. Die Komprimierung wird, wie auch bei JPEG, durch die Quantisierung der Transformationskoeffizienten und eine nachfolgende Entropie-Kodierung erreicht. [E06]

Für nähere Informationen siehe LU22 (JPEG2000).

2.3 Gegenüberstellung von JPEG und JPEG2000

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die grundlegende Funktionsweise der beiden Formate JPEG und JPEG2000 erläutert. In diesem Kapitel sollen sie nun konkret einander gegenübergestellt werden.

2.3.1 Erweiterungen in JPEG2000

- *Bildgröße:* Während die Bildgröße im JPEG-Format mit 65536×65536 Pixel begrenzt ist, unterliegen die Bilder in JPEG2000 keiner solchen Einschränkung mehr.
- *Tiling – Aufteilung in Bildabschnitte:* In JPEG2000 kann ein Bild (ausgenommen von Restflächen an den Bildrändern) in Quadrate der Seitenlänge 2^x aufgeteilt werden was zu einer Reduzierung des Speicherbedarfs führt. Die Kodierung der Bildabschnitte erfolgt unabhängig voneinander. Diese Aufteilung des Bildes in *Tiles* darf jedoch nicht mit der im JPEG üblichen Aufteilung in 8×8-Pixelblöcke verwechselt werden. Durch eine symmetrische Erweiterung des Signals einzelner Tiles vor der Wavelet-Transformation werden Randeffekte, die durch die Länge der Filter verursacht werden, reduziert. Im ersten Teil des JPEG2000 Standards sind nur Tiles vorgesehen, die sich nicht überlappen, während im zweiten Teil auch die Möglichkeit überlappender Tiles gegeben ist, die für eine weitere Verminderung der Bildung von störenden Effekten sorgen.
- *Progressiver Bildaufbau:* In JPEG2000 lassen sich unterschiedliche Darstellungen eines Bildes aus einer einzigen Datei generieren. Benötigt man z.B. nur ein kleines Vorschaubild, wird vorerst nur dieses angezeigt. Ist man an einer Darstellung mit höherer Auflösung interessiert kann dieses, durch den Betrachter gesteuert, nachgeladen werden. Außerdem ist es so möglich in einer Datei sowohl eine verlustfreie als auch eine verlustbehaftete Variante desselben Bildes zu speichern, wozu früher zwei separate Dateien nötig waren (z.B. eine im JPEG- und die andere im TIFF-Format). Diese Eigenschaft findet sowohl im Webbereich (z.B. Thumbnails) als auch in der Druckindustrie (z.B. Probeabzug) Verwendung. Der progressive Bildaufbau ist zwar bereits mit JPEG möglich, leider steht diese Variante nur in spezifischen Implementierungen des Standards zur Verfügung.

- *Regions of Interest (ROI)*: Durchschnittlich liefert JPEG2000 gegenüber JPEG einen 30% höheren Kompressionsfaktor. In Spezialfällen ist es jedoch möglich noch weitaus höhere Kompressionsraten zu erzielen. In JPEG2000 lassen sich so genannte *Regions of Interest ROI* definieren, die Bildteile beschreiben, die besonders schonend komprimiert werden sollen. Im Gegenzug werden dafür Bildteile außerhalb dieses Bereichs stärker komprimiert. Das Bildmaterial innerhalb der ROI behält so auch bei starker Kompression seine Schärfe bei, während die anderen Bereiche mit geringerer Detailgenauigkeit gespeichert werden.



Abbildung 6: Beispiel für eine *Region of Interest*
[http://www.tecchannel.de/multimedia/67/images/0000433_PIC.jpg]

Erklärung: Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für eine so genannte *Region of Interest ROI*. JPEG2000 bietet die Möglichkeit, Teile eines Bildes mit geringerem Kompressionsfaktor zu codieren. Der Rahmen begrenzt hier die ROI. Das Bildmaterial innerhalb dieses Bereichs wurde mit einem geringeren Kompressionsfaktor codiert, und wirkt deshalb schärfer, als das restliche Bildmaterial außerhalb dieser Region.

- *Verlustlose Komprimierung:* Im Gegensatz zu JPEG, wo verlustlose Kompression zwar prinzipiell möglich ist, aber nur sehr unbefriedigende Resultate liefert, und deshalb ein eigenständiges Format mit verlustloser Kompression, JPEG-LS, ausgegliedert wurde, vereint JPEG2000 verlustbehaftete und verlustlose Kompression und ermöglicht einen fließenden Übergang der beiden.
- *Stufenlose Kompression:* Bei JPEG2000 werden die begrenzten Wavelet-Basisfunktionen so lange passend verschoben und skaliert, bis das gesamte Bild in der gewünschten Detailtiefe repräsentiert wird. Dieses Verfahren lässt sich beliebig iterieren, was in weiterer Folge eine stufenlose Anpassung der Kompressionsrate an die jeweilige Anwendung ermöglicht. JPEG lässt zwar auch eine manuelle Steuerung der Kompression zu, jedoch nur durch Festlegung fixer Qualitätsparameter.
- *Hohe Fehlertoleranz:* Durch Aufteilung des Bildes, fehlerkorrigierende Codes und Resynchronisierung weist JPEG2000 eine hohe Fehlertoleranz auf was zu einer relativ geringen Auswirkung von Übertragungsfehlern führt.
- *Farbkanäle:* JPEG2000 stellt im Gegensatz zu JPEG insgesamt 256 Kanäle zur Beschreibung des Bildes zur Verfügung, wodurch auch die Möglichkeit zur Speicherung und Verarbeitung komplexerer Farbräume gegeben ist. Es ist beispielsweise möglich, ein Bild nun sowohl im RGB- als auch im CMYK-Format gleichzeitig zu speichern, während man sich in JPEG noch für eine Variante entscheiden musste. Die Kanäle bieten auch genügend Kapazität um ICC-Profile zu berücksichtigen, was eine geräteunabhängige Konstanz der Farben gewährleistet.
- *Metadaten:* Eine wichtige Erweiterung zu JPEG stellt die Möglichkeit dar, in JPEG2000 auch Metainformationen eines Bildes speichern zu können. Beispiele für solche Metadaten sind u.a. der Ersteller eines Bildes, die Kamera mit der ein Bild aufgenommen wurde, Lizenzrechte, etc. Die Metadaten sind auch im Nachhinein noch editierbar. Weiters lassen sich beispielsweise digitale Wasserzeichen u.ä. als Kopierschutz einfügen.

2.3.2 Vorteile von JPEG2000

- *Speicherplatz:* JPEG2000-Bilder sparen bei vergleichbarer Bildqualität und annehmbarem Qualitätsverlust ungefähr im Bereich von 30% an Speicherplatz gegenüber Bildern im JPEG-Format, abhängig von der Anwendung.
- *Fehler:* Ein sehr hoher Kompressionsfaktor äußert sich bei JPEG aufgrund der für die DCT nötigen blockweisen Zusammenfassung von Pixeln durch Artefakte, die dem Bild ein „pixeliges“ (die Blöcke sind als solche eindeutig zu erkennen) Aussehen verleihen. Da für die im JPEG2000 verwendete Wavelet-Transformation keine blockweise Verarbeitung nötig ist, sondern stattdessen die Bilddaten in einem kontinuierlichen Datenstrom kodiert werden, äußert sich ein starker Kompressionsfaktor hier eher durch eine diffuse Unschärfe.

2.3.3 Vorteile von JPEG

Auch wenn es vielleicht so scheinen mag, als wäre JPEG2000 die Lösung aller Probleme, so darf man nicht vergessen, dass es sich eigentlich nur um eine verfeinerte und nachgebesserte Version des JPEG-Formats handelt. Auch wird JPEG deshalb noch nicht so schnell von der Bildfläche verschwinden, da es durch die langjährige Entwicklung zu einem sehr ausgereiften Format wurde, welches auch jetzt noch einige Pluspunkte aufweist.

- *Geringere Komplexität und Rechenzeit:* Die mathematische Komplexität der Wavelet-basierten Kompression ist ungefähr zehnmal so hoch wie die der Diskreten Cosinus Transformation. Während dies bei schnellen Rechnern nicht unbedingt ins Gewicht fallen muss, bereitet dieser Umstand beispielsweise Digitalkameras Probleme. Hier muss deshalb ein Kompromiss zwischen Rechenleistung, Speicherbedarf und Batterieverbrauch gesucht werden.
- *Bessere verlustlose Kompression:* Die verlustlose Kompression mit JPEG2000 liefert mit einem Verhältnis von ca. 2:1 sogar ein etwas schlechteres Ergebnis als die Komprimierung mit JPEG-LS (verlustfreies JPEG).
- *Gut geeignet für Texturen:* Obwohl JPEG2000 insgesamt höhere Kompressionsraten erzielt, gibt es trotzdem noch Anwendungsfelder in denen man mit JPEG besser beraten ist. Als Faustregel könnte man sagen, dass JPEG2000 eine bessere Komprimierung bei Bildmaterial mit hohen Kontrasten aufweist, JPEG sich jedoch für Texturen besser eignet.

	JPEG	JPEG2000
Anwendung	+ : Bilder mit vielen verschiedenen Farben (True Color): Fotos (Internet) - : Bilder mit großen gleichartigen Flächen: Logos, ... hoher Kompressionsfaktor führt zu Artefakten	Siehe JPEG, jedoch kein Problem mehr mit pixeligen Artefakten
Farbmodelle	RGB, CMYK	RGB, Graustufen, CMYK
Kanäle	3 oder 4 Farbkanäle	256 Kanäle
Bittiefe	8 Bit/Kanal	1-16 Bit/Kanal
Max. Bildgröße	65536 × 65536 Pixel	
Kompression	DCT	Wavelet
	Verlustbehaftete Kompression	Verlustbehaftete und verlustfreie Kompression
	Relativ guter Kompromiss zwischen Kompression und Bildqualität	Im Vergleich zu JPEG, bessere Kompression bei gleich bleibender Bildqualität
Entwickler	JPEG, ISO	JPEG, ISO
Plattformen	Mac, Windows, Unix	Mac, Windows, Unix

[E07, S. 262 ff, E08, E09, E10, E11, E12, E13]

2.4 JPEG vs. JPEG2000 anhand eines Bildbeispiels

Nun soll anhand von Bildbeispielen, die unterschiedlichen Auswirkungen der Kompression mit JPEG bzw. mit JPEG2000 verdeutlicht werden. Ausgangsbasis war ein eingescanntes Foto von einer Grünpflanze, das sowohl Feinstrukturen als auch kleinere Farbflächen aufweist. Es werden im folgenden Vergleiche zwischen JPEG und JPEG2000 mit größter und kleinstmöglicher Qualität angestellt. Eine direkte Gegenüberstellung ist deshalb schwierig, da sich die zugrunde liegenden Verfahren trotz mancher Ähnlichkeit z.T. stark unterscheiden. Deshalb werden die Bilder hinsichtlich der sichtbaren Qualitätsunterschiede bei gleicher Dateigröße betrachtet bzw. bei minimaler und maximaler Kompression.

Die Komprimierung erfolgte mit Photoshop 7.0, versehen mit einem Plug-In für das JPEG2000 Format, das in dieser Version von Photoshop noch nicht standardmäßig unterstützt wird.

Die im Folgenden angegebenen Daten beziehen sich nur auf das konkret angegebene Bild. Bei anderem Bildmaterial kann es natürlich zu etwas anderen Ergebnissen kommen. Hierbei soll nur ein einfacher Vergleich hinsichtlich Bildqualität, Dateigröße, ... zwischen JPEG und JPEG2000 getroffen werden.

Ausgangsbild: Bildausschnitt der Größe 256×256 Pixel, TIFF (unkomprimiert) mit 206 KB

TIFF



**Abbildung 7: TIFF (ohne LZW), 206 KB
[lu26_drachenbaum.tif]**

1. Vergleich bei maximaler Bildqualität

JPEG



Abbildung 8: JPEG, Qualitätsstufe 12, 103 KB
[lu26_drachenbaum_max_12.jpg]

JPEG2000



**Abbildung 9: JPEG2000, Qualität 100%,
verlustfrei, 111 KB**
[lu26_drachenbaum_j2k_lossless.jpif]

Bei einem Vergleich zwischen dem Originalbild, das verlustfrei und ohne LZW (Lempel-Ziv-Welch), eine Dateigröße von 206 KB aufweist, bietet JPEG2000 selbst in der verlustlosen Form der Komprimierung eine deutliche Reduzierung der Dateigröße auf 111 KB (53% des Originals). Doch vergleicht man auch mit dem JPEG-Bild, das mit höchster Qualität, also beinahe verlustfrei, komprimiert wurde, erhält man eine Dateigröße von 103 KB (50% des Originals)!

2. Vergleich bei kleinstmöglicher Bildqualität

JPEG



Abbildung 10: JPEG, Qualitätsstufe 0, 27 KB
[lu26_drachenbaum_min_00.jpg]

JPEG2000



Abbildung 11: JPEG2000, Qualität 1%, 2 KB
[lu26_drachenbaum_j2k_00.jpif]

Hier wurde versucht, das Originalbild sowohl mit JPEG als auch mit JPEG2000 so weit wie in Photoshop möglich zu komprimieren. Die Bildqualität ist hier nicht direkt vergleichbar, da mit JPEG2000 eine größere Kompression bei der kleinstmöglichen Einstellung erreicht werden kann. Trotzdem sieht man bei dem JPEG-Bild

schön die blockförmigen Artefakte, die aufgrund der blockweisen Zusammenfassung für die DCT und die nachfolgende Quantisierung entstehen. Bei dem mit JPEG2000 komprimierten Bild lässt sich trotz der Dateigröße von 2 KB das Motiv noch ungefähr erahnen. Hier sieht man deutlich, dass zwar leichte Artefakte entstehen, es aber weit mehr zu einem „verschmieren“ des Bildes kommt.

3. Vergleich bei einem Viertel der ursprünglichen Dateigröße

JPEG



**Abbildung 12: JPEG, Qualitätsstufe 9, 52 KB
[lu26_drachenbaum_hoch_09.jpg]**

JPEG2000



**Abbildung 13: JPEG2000, Qualität 50%, 57 KB
[lu26_drachenbaum_j2k_viertel.jpif]**

Bei einer Reduktion der Dateigröße auf ein Viertel (JPEG, 52 KB und JPEG2000, 57 KB) der Originaldatei zeigen sich nur kaum merkliche Qualitätsunterschiede.

4. Vergleich bei einem Achtel der ursprünglichen Dateigröße

JPEG



Abbildung 14: JPEG, Qualitätsstufe 0, 27 KB
[lu26_drachenbaum_min_00.jpg]

JPEG2000



Abbildung 15: JPEG2000, Qualität 24%, 28 KB
[lu26_drachenbaum_j2k_achtel.jpg]

Um einen besseren Vergleichswert für das bereits oben (2. Vergleich) angeführte mit der Qualitätsstufe 0 komprimierte JPEG zu erzielen (27 KB), wurde es auch mit JPEG2000 auf dieselbe Dateigröße komprimiert um die Bildqualität bei gleicher Dateigröße vergleichen zu können.

Hier zeigt sich bei gleicher Dateigröße ein deutlich besseres Ergebnis bei der Komprimierung mit JPEG2000. Es ist im Grunde kaum ein Unterschied zwischen dem komprimierten Bild und dem Original zu erkennen, obwohl die Dateigröße mit 28 KB nur knapp ein Achtel der ursprünglichen beträgt.

2.5 Bewertung von Bildqualität

Das so genannte *Spitzenwert-Signal-Geräusch-Verhältnis*, besser bekannt als *Peak Signal to Noise Ratio PSNR*, stellt eine weit verbreitete, objektive Messgröße für die Qualität eines Bildes dar. Je höher der Wert der PSNR, desto besser ist das Ergebnis, also die Bildqualität.

Das PSNR wird in [dB] (Dezibel) angegeben und lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{peak^2}{noise}$$

wobei

$$peak = \max[f(x, y)]$$

und

$$noise = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [f(x_i, y_j) - \tilde{f}(x_i, y_j)]^2$$

Der *Spitzenwert (peak)* nimmt, bei der am häufigsten verwendeten Form der Quantisierung von 8 Bit, meist den Wert 255 ($2^8 - 1$) an.

Das *Rauschen (noise)* entspricht dem Fehler zwischen dem Originalsignal $f(x, y)$ und der Rekonstruktion des Signals $\tilde{f}(x, y)$.

Mit PSNR wird zwar eine Möglichkeit zur objektiven Messung von Bildqualität geboten, oft beschreibt diese Größe die vom Menschen subjektiv empfundene Bildqualität nur unzureichend. Trotzdem bietet PSNR eine gute Möglichkeit verschiedene Kompressionsverfahren miteinander zu vergleichen. [E14]

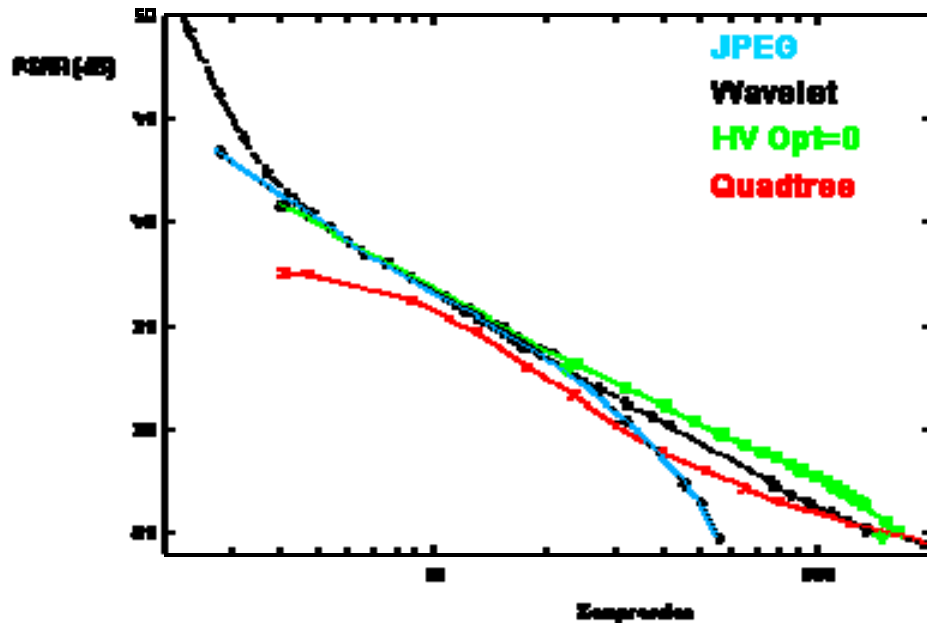


Abbildung 16: Vergleich der Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) der JPEG-Kodierung (DCT) und der Kodierung mit der Wavelet-Transformation
[\[http://home.arcor-online.de/chr.rauch/wavelet/compare.gif\]](http://home.arcor-online.de/chr.rauch/wavelet/compare.gif)

Erklärung: Abbildung 7 zeigt einen Vergleich der PSNR-Werte (ein höherer Wert zeugt von besserer Bildqualität) der Kodierung im JPEG-Format (mit Diskreter Cosinus Transformation) und mit der Wavelet-Transformation, wie sie auch im JPEG2000-Standard verwendet wird. Sowohl bei niedrigen (< 5) als auch bei höheren Kompressionsraten (> 20) zeigt sich die Überlegenheit der Wavelets gegenüber der Kodierung mit JPEG.

3. Level of Detail 3

3.1 Vergleich der Auflösung von Farb- bzw. Helligkeitswerten

3.1.1 Vorschlag interaktive Anwendung

1.1.1.1. Beschreibung der Anwendung

1.1.1.2. Mögliche Einstellungen

1.1.1.3. Ausgabe

3.1.2 Weiterführende Literatur und Links

Unter der folgenden URL findet sich ein Applet, das das Prinzip der Wavelet-Transformation veranschaulichen soll:

<http://www.bernd-bock.de/Interessantes/JPEG2000/jpeg2demo.html>

4. Literatur

4.1 Eigene Literatur

E01	JPEG JFIF	
Untertitel		
URL	http://www.w3.org/Graphics/JPEG	
Datum (URL)	13.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	Chris Lilley	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	13.2.1996	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E02	Kapitel 2 : JPEG-Bilddatenkompression	
Untertitel		
URL	http://i31www.ira.uka.de/docs/semin94/02_JPEG	
Datum (URL)	13.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	Dietmar Baumstark	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	02.05.1995	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E03	Die JPEG-Kompression	
Untertitel		
URL	http://www.mathematik.de/spudema/spudema_beitraege/beitraege/rooch/	
Datum (URL)	29.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	S. Wickenburg, A. Rooch, J. Groß	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	2002	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E04	Diskrete Cosinus Transformation (DCT)	
Untertitel		
URL	http://jendryschik.de/michael/inf/dct/	
Datum (URL)	29.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	Michael Jendryschik	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	2002	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E05	Diskrete Kosinus Transformation	
Untertitel		
URL	http://www.ti5.tu-harburg.de/Staff/Lamers/stab/node3.html	
Datum (URL)	29.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	Frank Lamers	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	1995	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E06	Beschreibung des Wavelet-Verfahrens	
Untertitel		
URL	http://www.fh-jena.de/contrib/fb/et/personal/ansorg/ftp/wavelet/wavelet.htm	
Datum (URL)	29.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	J. Ansorg	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von	Fachhochschule Jena – FB Elektrotechnik und Informationstechnik	
Veröffentlichungsdatum		
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E07	Photoshop 7.0	
Untertitel	Für Windows und Macintosh	
URL		
Datum (URL)		
Autor/ Autorin		
Name(n)	H. Neumeyer	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von	Markt+Technik Verlag	
Veröffentlichungsdatum	2000	
Veröffentlicht in	München	
URL		
Datum (URL)		

E08	digit online! Know-how / Imaging Technologie: JPEG2000	
Untertitel		
URL	http://www.digit.de/know_how/qtvr/know_how_jpg2000.html	
Datum (URL)	29.06.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	M. Thierschmann, T. Mosch	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum		
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E09	tecChannel : JPEG 2000: Das neue Format für Bilder	
Untertitel		
URL	http://www.tecchannel.de/multimedia/67/index.html	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	R. Menn	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	2000	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E10	tecChannel : JPEG 2000: Das neue Format für Bilder	
Untertitel		
URL	http://www.jpeg.org/jpeg/jpegls.html	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)		
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von	Elysium Ltd	
Veröffentlichungsdatum	2000	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E11	Webdesign	
Untertitel		
URL	http://www.netzmafia.de/skripten/webdesign/mm2.html	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	J. Plate	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von	FH München	
Veröffentlichungsdatum		
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E12	JPEG2000-Features	
Untertitel		
URL	http://nirvana.informatik.uni-halle.de/~ritter/Seminar2002/klapperstueck/03Features.html	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	St. Kreide, M. Klapperstock	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	2002	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E13	Seminar: Kommunikation und Multimedia	
Untertitel	JPEG 2000	
URL	http://www.ibr.cs.tu-bs.de/lehre/ss03/skm/ausarbeitungen/jpeg2000.pdf	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	F. Rotte	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	2003	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		

E14	Bildkompression mit der Wavelet- Transformation	
Untertitel	Kapitel 4 – Bildqualität	
URL	http://home.arcor-online.de/chr.rauch/wavelet/kap4.htm	
Datum (URL)	02.07.2004	
Autor/ Autorin		
Name(n)	Ch. Rauch	
URL		
Datum (URL)		
Veröffentlichung		
Veröffentlicht von		
Veröffentlichungsdatum	1999	
Veröffentlicht in		
URL		
Datum (URL)		