Lossy Bildkompression: Techniken und Bildqualität

Brigitte Forster

Zentrum Mathematik, Technische Universität München,
und
Institut für Biomathematik und Biometrie, Helmholtz-Zentrum München

Konsensuskonferenz:
Kompression radiologischer Bilddaten
23.2.2008

Lossy Bildkompression: Techniken und Bildqualität

1. Zielsetzung
2. Bildkompression – Warum und Wie?
3. JPEG
4. JPEG 2000
5. Visuelle Fehleranalyse
6. Fehlermaße und Kompressionsraten
7. Fazit

1. Lossy Kompression — Ein Vergleich

"Reducing a liter of orange juice to a few grams of concentrated powder is what lossy compression is about. The taste of the restored beverage is similar to the taste of orange juice but has often lost some subtlety." [a]

[a] Stephane Mallat: A wavelet tour of signal processing. Academic Press, 1998. Chapter XI

1. Zu klärende Fragen in der Konsensuskonferenz:

- Lossy Datenkompression ja oder nein?
- Festlegung eines Kompressionsverfahrens
- Kompressionsrate

2. Merkmale medizinischer Rasterdaten

Merkmale

- 16 Bit Wertebereich
- stammen aus physikalisch-technischen Messprozessen
- gewaltige Datenmengen

Beispiele

CT/MR 512 $\times$ 512 Pixel $\times$ 16 Bit = 0.5 MByte
1 Serie: 32 Bilder = **16 MByte**

Röntgen, etwa Mammographie: 1 Aufnahme = 40 MByte
1 Untersuchung: 4 Aufnahmen = **160 MByte**

2. Warum komprimieren?

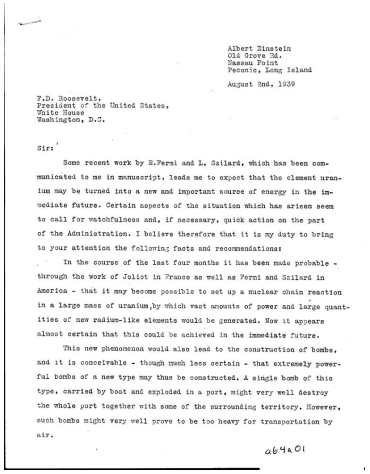
- **Schnellere Übertragung:**
  Komprimierte, also kleinere Datenmengen werden bei gleicher Bandbreite schneller übertragen, als die Originaldaten.

- **Platzsparende Speicherung:**
  Weniger Platzverbrauch im PACS-Archiv.

Risiko: Verlust relevanter Daten.

$\Rightarrow$ Nutze ausschließlich für medizinische Daten **geeignete** Verfahren.

2. Warum ist nicht jedes Kompressionsverfahren geeignet?



Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium,by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

a64a01

FAX

an den Verein der Schwerhörigen und Ertaubten Bonn und Rhein-Sieg-Kreis e.V.

Fax-Nr. Kommunikationszentrum: 02 28 / 3 68 33 56 - Fax-Nr. W. Ring: 0 26 42 / 99 98 83

Anmeldung

für die Veranstaltung _____

Name _____

Vorname _____

Mitgliedsnummer _____

Teilnehmer:

_____ Mitglieder

_____ Gäste

Für Rückfragen:

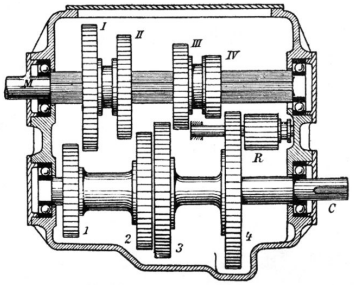
E-Mail-Adresse: _____

Fax-Nummer: _____

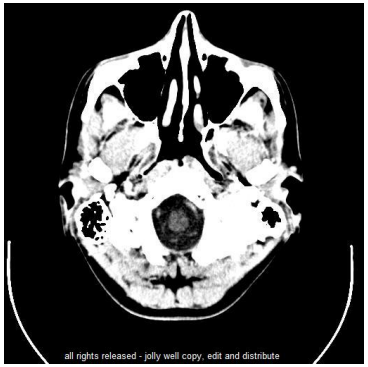
Weitere Kontakte: _____

_____

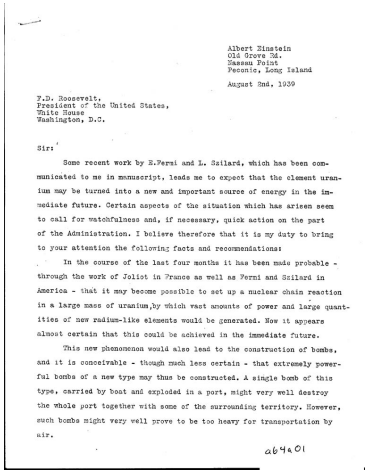
Bemerkungen:



6. Wechselgetriebe für vier Geschwindigkeiten und Rücklauf:
M Angriff der Motorwelle, *C* Angriff der Cardanwelle; Geschwindigkeitsräder *I*, *II*, *III*, *IV*, durch Verschiebung mit *1*, *2*, *3*, *4* in Eingriff gebracht; Rücklaufrad *R*, durch Linksschiebung mit *IV* und *4* in Eingriff gebracht.



2. Warum ist nicht jedes Kompressionsverfahren geeignet?



Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium,by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

a6481

FAX

an den Verein der Schwerhörigen und Ertaubten Bonn und Rhein-Sieg-Kreis e.V.

Fax-Nr. Kommunikationszentrum: 02 28 / 3 68 33 56 · Fax-Nr. W. Ring: 0 26 42 / 99 98 83

Anmeldung

für die Veranstaltung _____

Name _____

Vorname _____

Mitgliedsnummer _____

Teilnehmer:

_____ Mitglieder

_____ Gäste

Für Rückfragen:

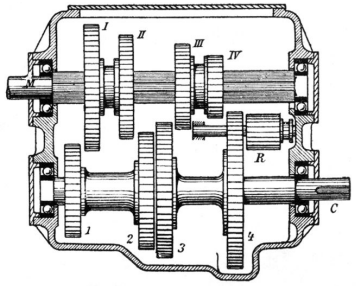
E-Mail-Adresse: _____

Fax-Nummer: _____

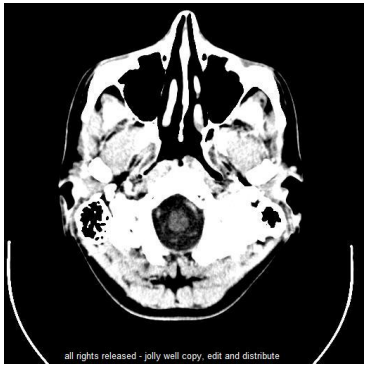
Weitere Kontakte: _____

_____

Bemerkungen:



6. Wechselgetriebe für vier Geschwindigkeiten und Rücklauf:
M Angriff der Motorwelle, *C* Angriff der Cardanwelle; Geschwindigkeitsräder *I*, *II*, *III*, *IV*, durch Verschiebung mit *1*, *2*, *3*, *4* in Eingriff gebracht; Rücklaufrad *R*, durch Linksschiebung mit *IV* und *4* in Eingriff gebracht.



Extrem-Gegenbeispiel

Versand einer Röntgenaufnahme zur Zweitbefundung per FAX.

2. Lossy Bildkompression

- Daten aus physikalisch-technischen Messprozessen enthalten Störungen, Messfehler, Rauschen
- Deren Anteil ist irregulär:
  Durch verlustlose Verfahren schlecht zu komprimieren, d.h. Dateigrößen werden nicht wesentlich verringert.
- Paradigma der lossy Kompression:
  Entscheidung, einen irrelevanten Teil der dargebotenen Bildinformation aufzugeben, um verbliebene relevante Informationen um so effektiver/effizienter komprimieren zu können.
- Anforderung in der Medizin: Erhalten der **Befundungsqualität**.

2. Lossy Bildkompression

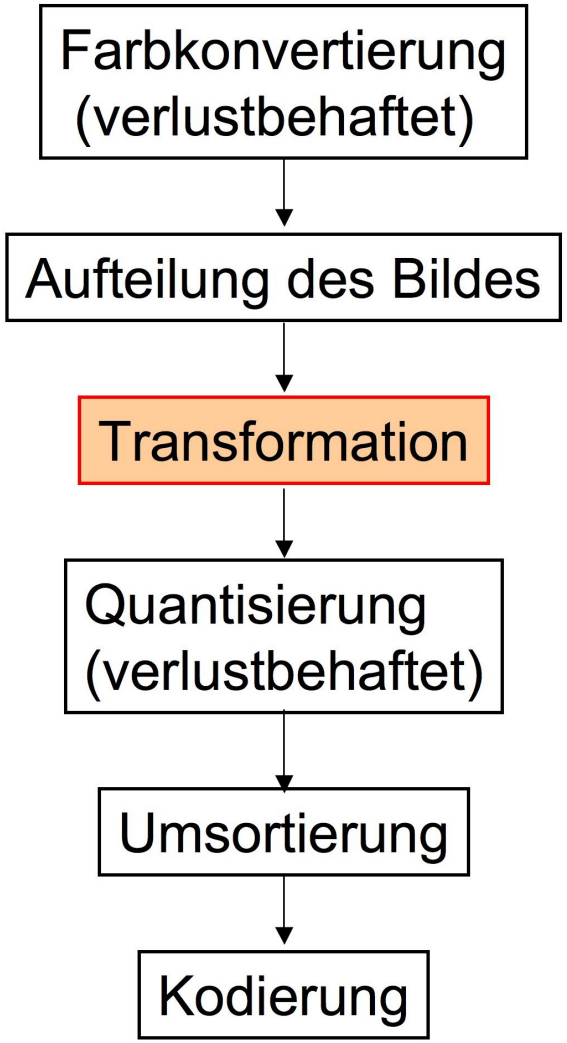
Hochwertige Verfahren zur lossy Bildkompression:

- **JPEG**: Norm ISO/IEC 10918-1 (1992)
- **JPEG 2000**: ISO/IEC 15444-1 (2000)

Vorteile:

- öffentlich
- ISO-Standards
- im DICOM-Standard
- intensiv evaluiert

2. Bildkompression – Funktionsweise

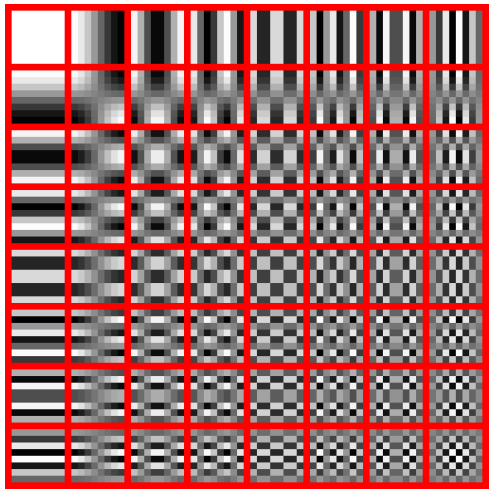


2. JPEG versus JPEG-2000 – Unterschiede in der Funktionsweise

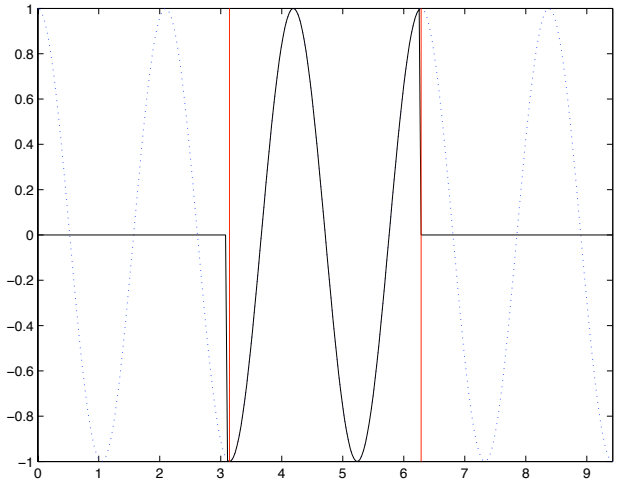
JPEG	JPEG-2000
unterscheidet nur 8 Bit und 12 Bit	kann 16 Bit
Unterteilung des Bildes in 8×8-Blöcke	Unterteilung des Bildes in 256×256 oder 128×128 Teilbilder
Diskrete Cosinus-Transformation auf jedem dieser Blöcke	**Wavelet-Transformation** für jedes dieser Teilbilder

Diskrete Cosinus-Transformation:

$$F(u,v) = \frac{C(u,v)}{4} \sum_{n=0}^{7} \sum_{m=0}^{7} f_{n,m} \cos\left(\frac{(2n+1)\pi}{8} u\right) \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{8} v\right)$$



64 Basis-Elemente
mit unterschiedlichen Frequenzen
abgetastet auf 8×8-Gitter



1D Ansicht einer Basis-Funktion:
Abgeschnittene Cosinus-Funktion.

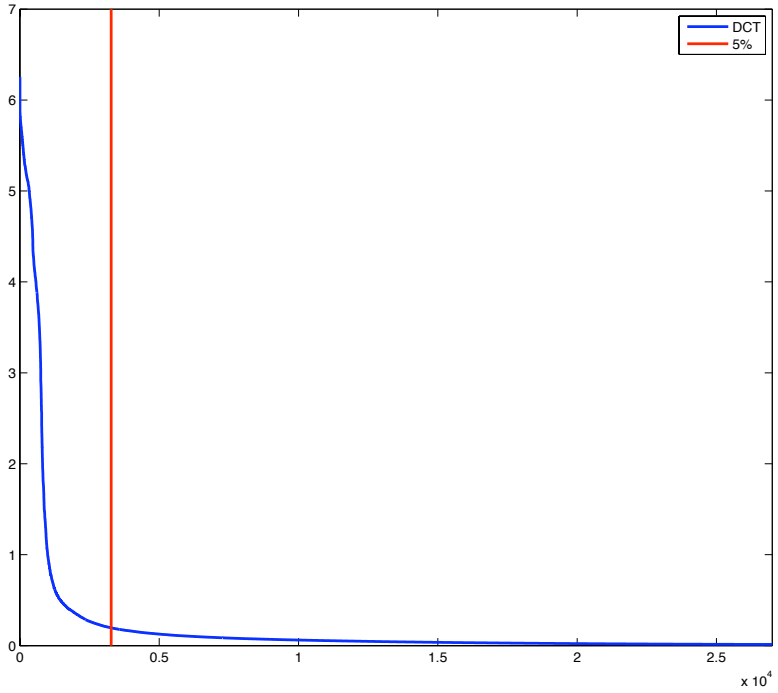
3. JPEG

Beispiel:

Original

JPEG-komprimiertes Bild aus 5% der Originaldaten.

Beispiel:



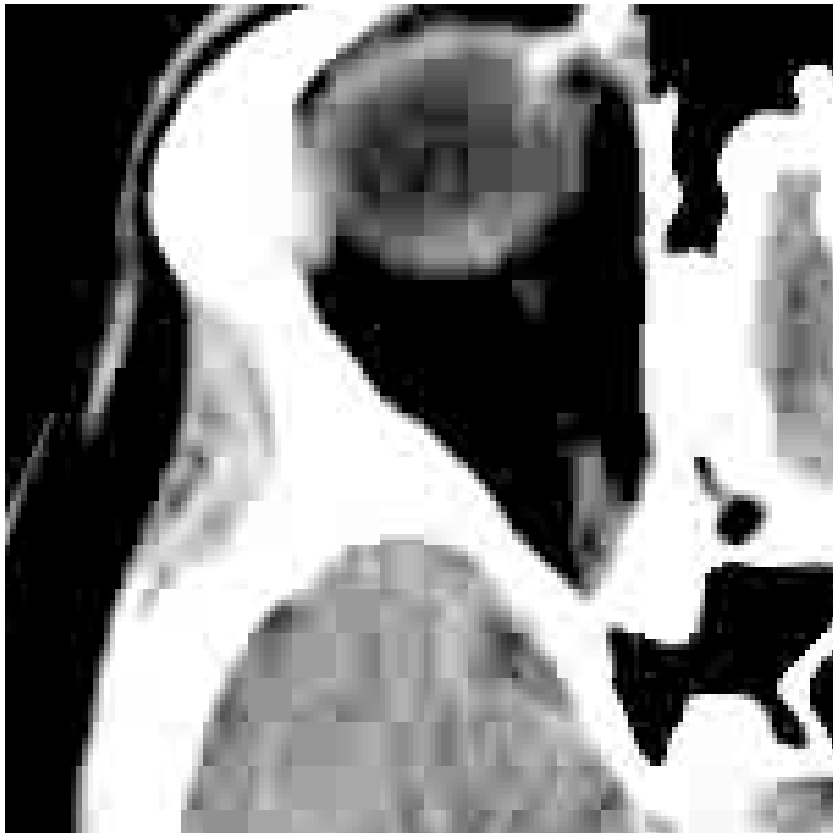
Nur 5% der Originaldaten werden behalten.

Vergrößerung zeigt Block-Artefakte.

3. JPEG

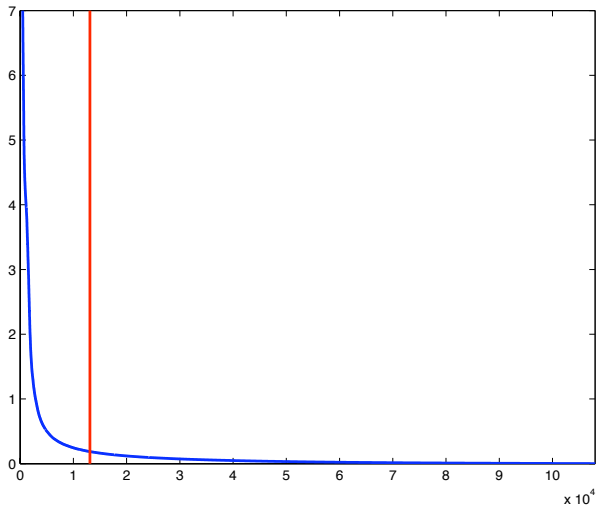
Beispiel: CT

Original

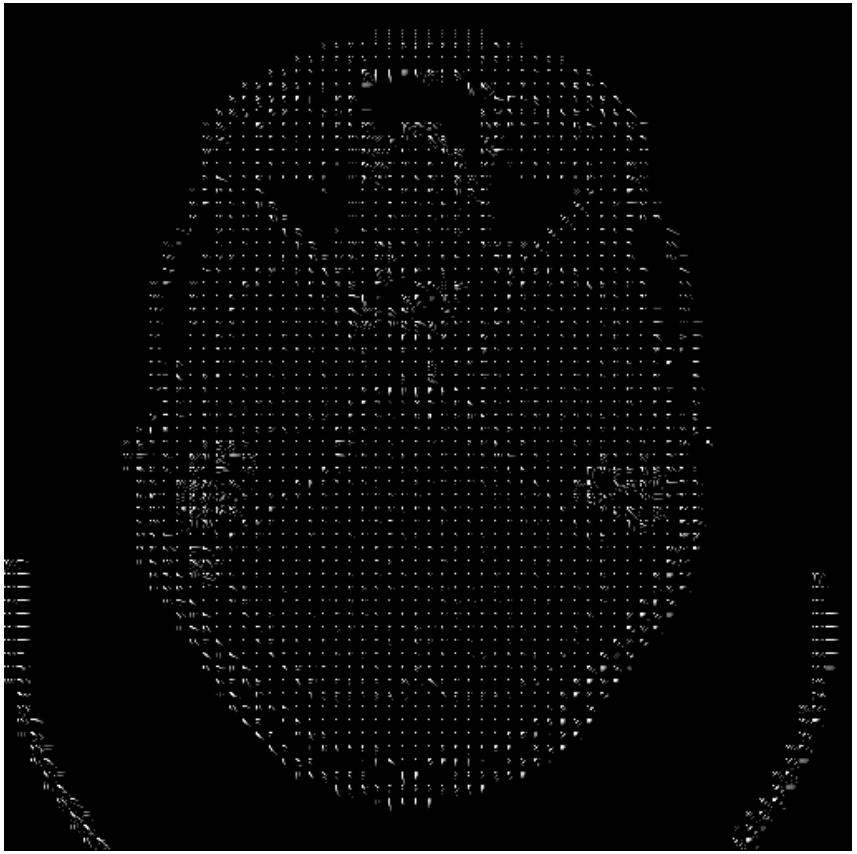


JPEG-komprimiertes Bild aus 5% der Originaldaten.

Beispiel: CT



Nur 5% der Originaldaten werden behalten.



Es wird dort komprimiert, wo wenig Information ist (z.B. am Rand). Im inneren Bereich werden fast alle Koeffizienten behalten.

4. JPEG versus JPEG 2000

Beispiel

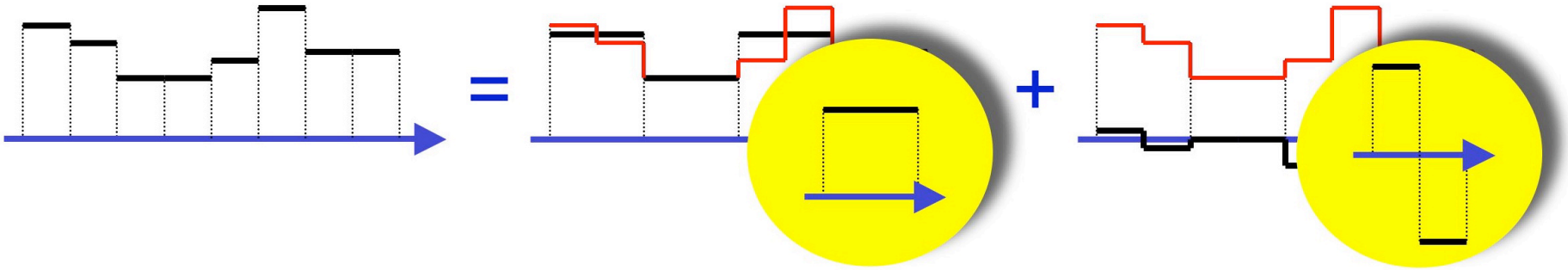
5% der DCT-Koeffizienten wurden erhalten

5 % der Wavelet-Koeffizienten wurden erhalten

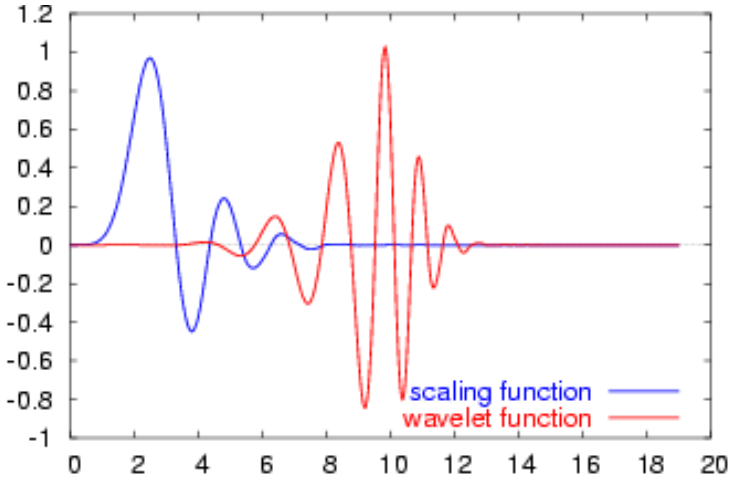
4. JPEG 2000 – Funktionsweise

Wavelet-Transformation

Idee: Zerlegung in Näherungen und Details



Analoge Zerlegung auch mit glatteren Funktionen möglich:



Beispiel: 2D Wavelet-Zerlegung

Original

Koeffizienten-Matrix

4. JPEG 2000 – Funktionsweise

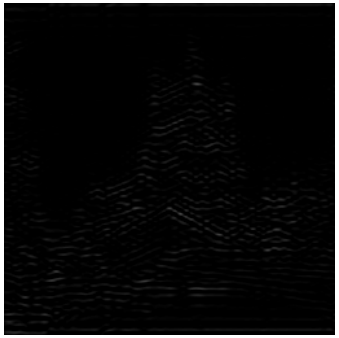
Welche Information steckt in den Bändern?

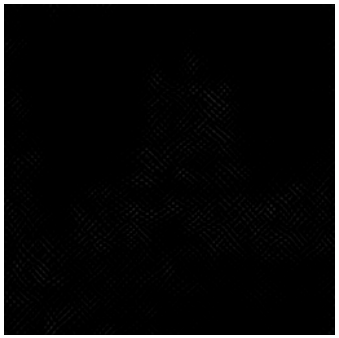
Original in V_2

=

Low pass in V_0

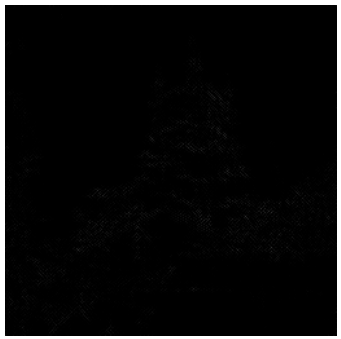
+





Details in W_0

+



Details in W_1

4. JPEG 2000 – Funktionsweise

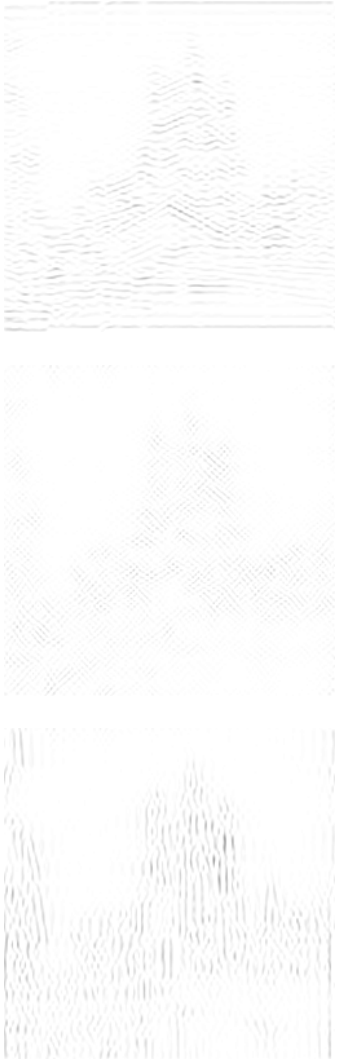
Welche Information steckt in den Bändern?

Original in V_2

=

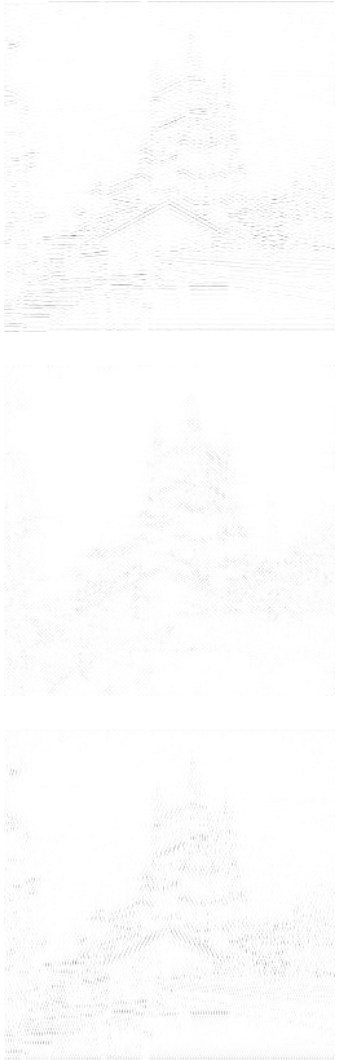
Low pass in V_0

+



Details in W_0

+

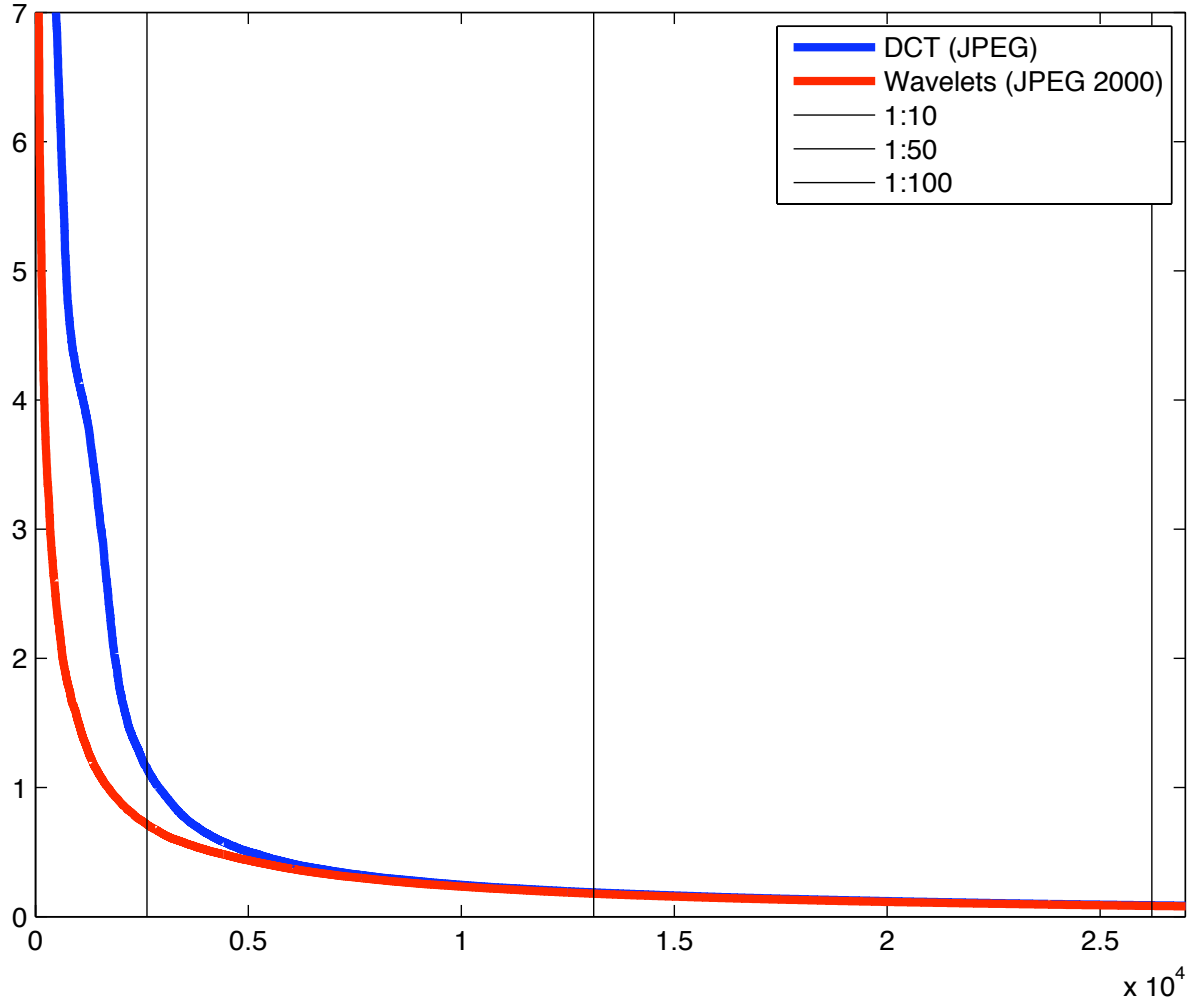


Details in W_1

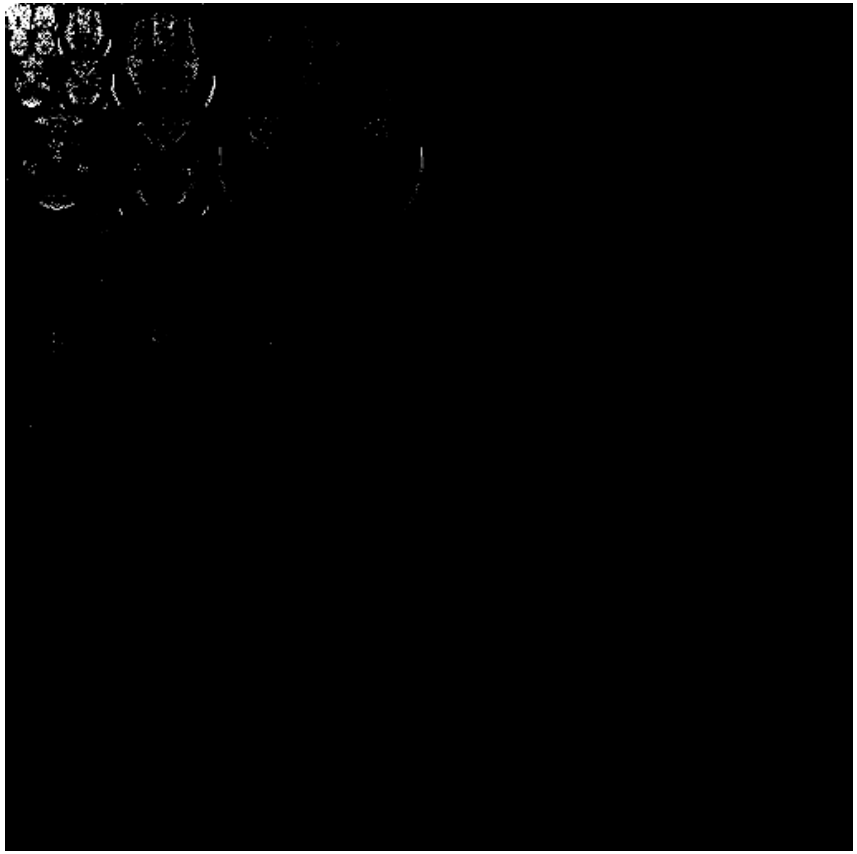
4. Vorteile von JPEG 2000 gegenüber JPEG

- keine störende Blockartefakte
- kann 16 Bit-Daten verarbeiten
- Glatte Gestalt der Artefakte macht JPEG 2000 geeignet für medizinische Bilddaten

4. JPEG versus JPEG 2000 – Abklingen der Koeffizienten



Beispiel: CT Wavelet-Kompression

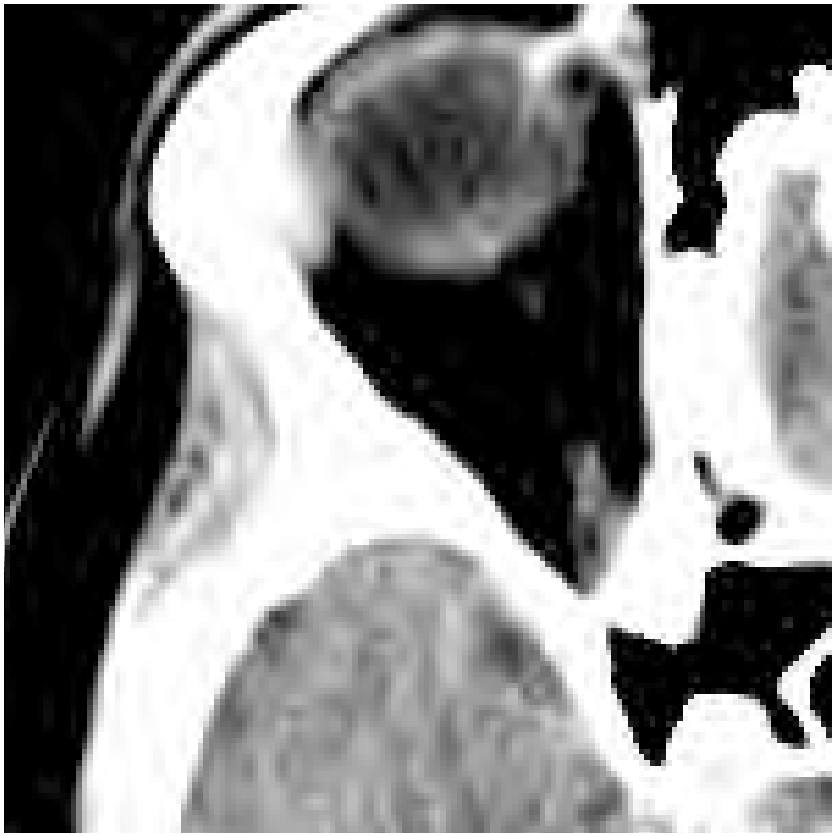


Die relevanten Detail-Koeffizienten werden erhalten.

Rekonstruktion aus 5 % der Daten

Beispiel: CT Wavelet-Kompression, Ausschnitt

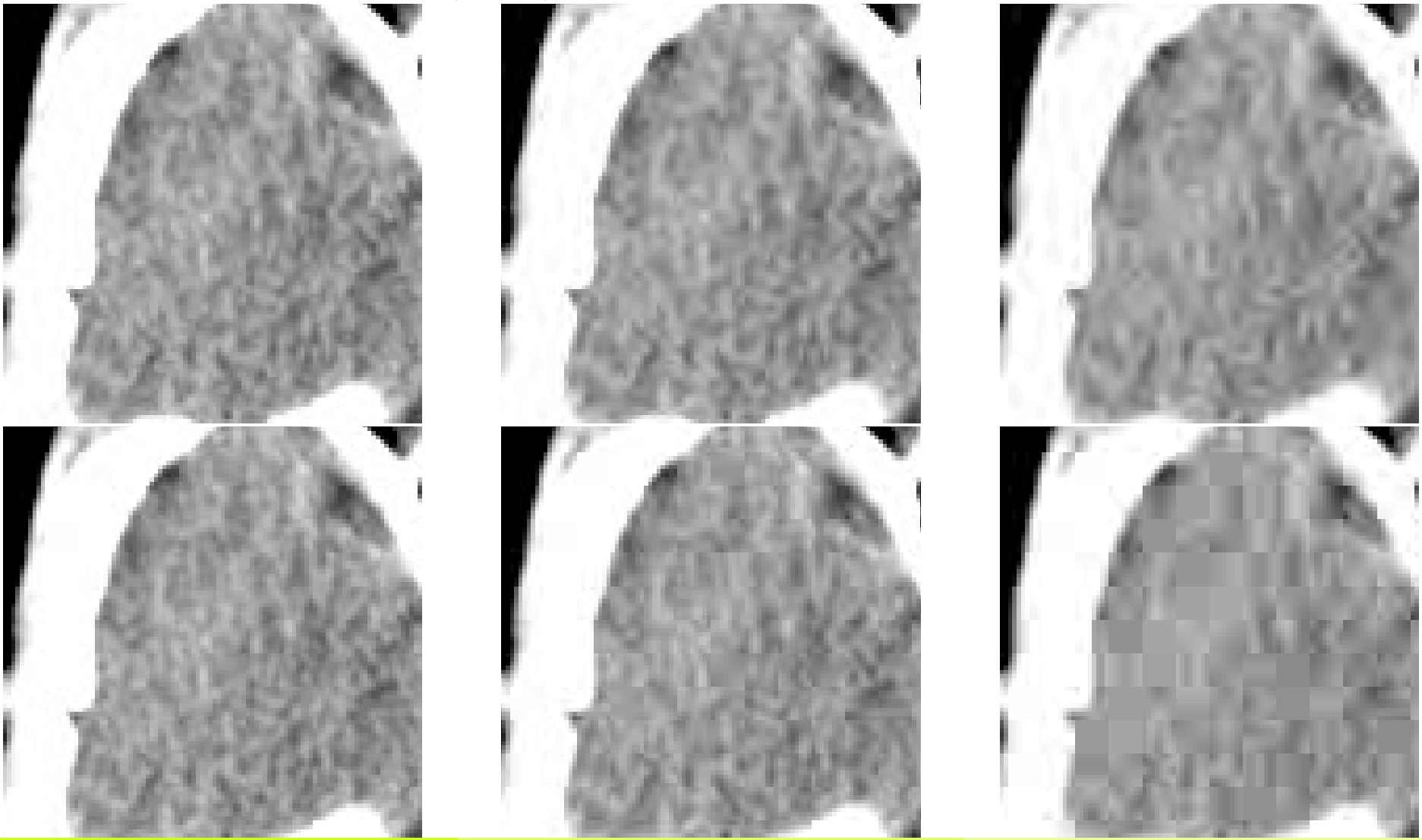
Original



Rekonstruktion aus 5 % der Daten

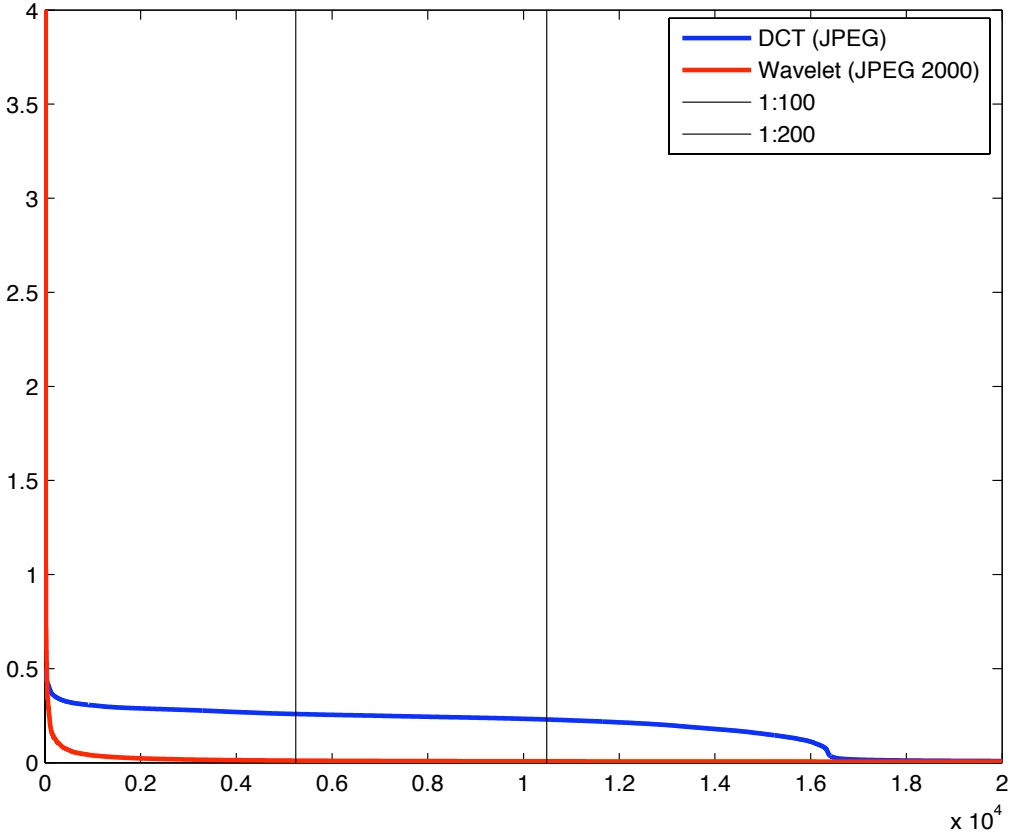
5. Fehleranalyse

CT. Oben: Wavelet-Kompression, unten: DCT-Kompression
Rekonstruktion aus 15, 10 , 5 % der Koeffizienten



5. Fehleranalyse

Röntgenaufnahme, Ausschnitt



6. Fehlermaße und Kompressionsraten

Mathematische Fehlermaße:

- Energie
- Anzahl der Null-Koeffizienten
- SNR oder PSNR
- Maximaler Pixel-Fehler

Es gibt kein mathematisches Maß für diagnostische Bildqualität.

Kompressionsfaktor abhängig von

- Bildauflösung (Pixel per cm), Redundanz im Bild
- Dynamik, Grauwertspreizung
- Art der Aufnahme
- Subjektiver Eindruck des Befunders

$\Rightarrow$ Messung der Befundungsqualität durch medizinische Studien.

7. Lossy Bildkompression – Zusammenfassung

Wann kann man sinnvoll medizinische Bilddaten lossy komprimieren:

- Wahl eines dem Problem angepassten Kompressionsverfahrens
- Verfahren muss objektiv validierbar, d.h. öffentlich sein.

Zwei öffentliche standardisierte Verfahren: JPEG und JPEG 2000

Vorteile JPEG 2000:

- Wavelet-Koeffizienten fallen schneller als DCT-Koeffizienten
  $\Rightarrow$ Fehler wächst langsamer
- Glattere Artefakte

Vielen Dank!