Überblick

- **Digitale Bilder**
  - Diskretisierung der Amplitude
  - Digitalisierung der Bildfläche
  - Digitale Beschreibung von Bildern
  - Speicherung von Bildern

Digitalisierung von Bildern

Natürliche Bilder sind stetig, d. h.:

- Es gibt unendlich viele „Bildpunkte“ (d.h. es gibt keine Bildpunkte)
- Es gibt unendlich viele Grauwerte.

Bilder müssen digitalisiert werden, um

- die Datenmengen zu begrenzen und
- ein Speichern / Verarbeiten im Rechner zu ermöglichen.

Digitalisierung = 1. Diskretisierung (stetig -> endliche Anzahl von Zuständen)
2. Codierung (Bezeichnung der Zustände)

Diskretisierung der Amplitude

Jedem Bildpunkt wird ein diskreter Helligkeitswert zugeordnet.

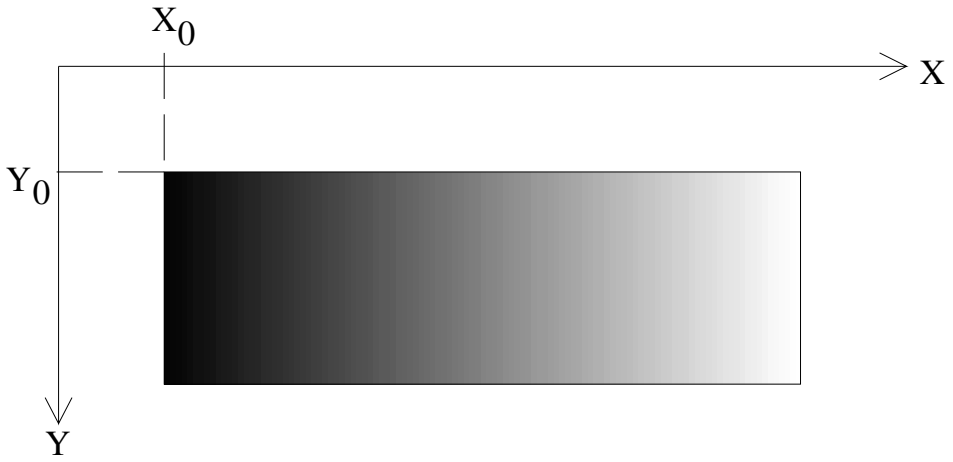
*Binärbild:	0 = schwarz, 1 = weiß,
*Zweipegelbild:	0 = rot, 1 = blau,
*Grautonbild:	0 = schwarz bis 255 = weiß,
*Farbbild:	meist R, G, B (rot, grün, blau) jeweils 0 = min. bis 255 = max.

>> Quantisierung der Amplitude(n)

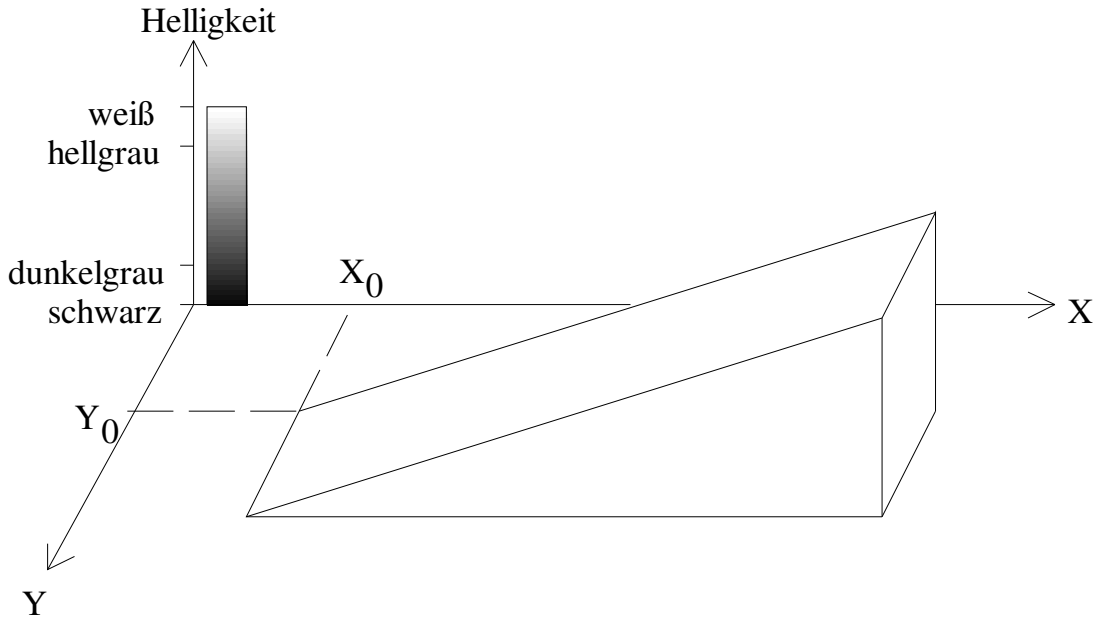
1. wie viele Bits ?
2. welche Quantisierungskennlinie?
3. warum gleichgrosse Quants?

Digitalisierung

Analoges (stetiges) Bild:

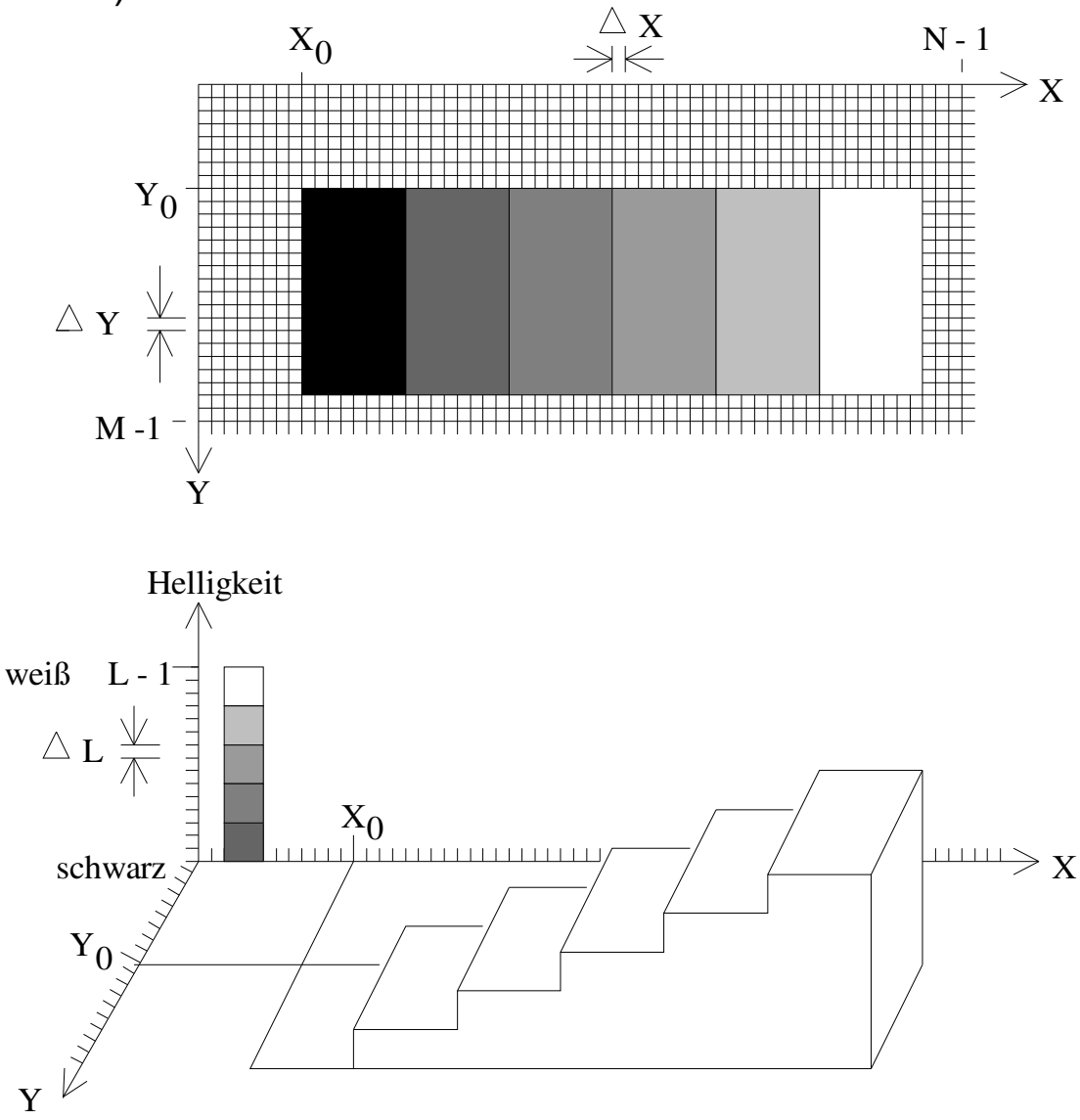


Grauwertgebirge



Digitalisierung

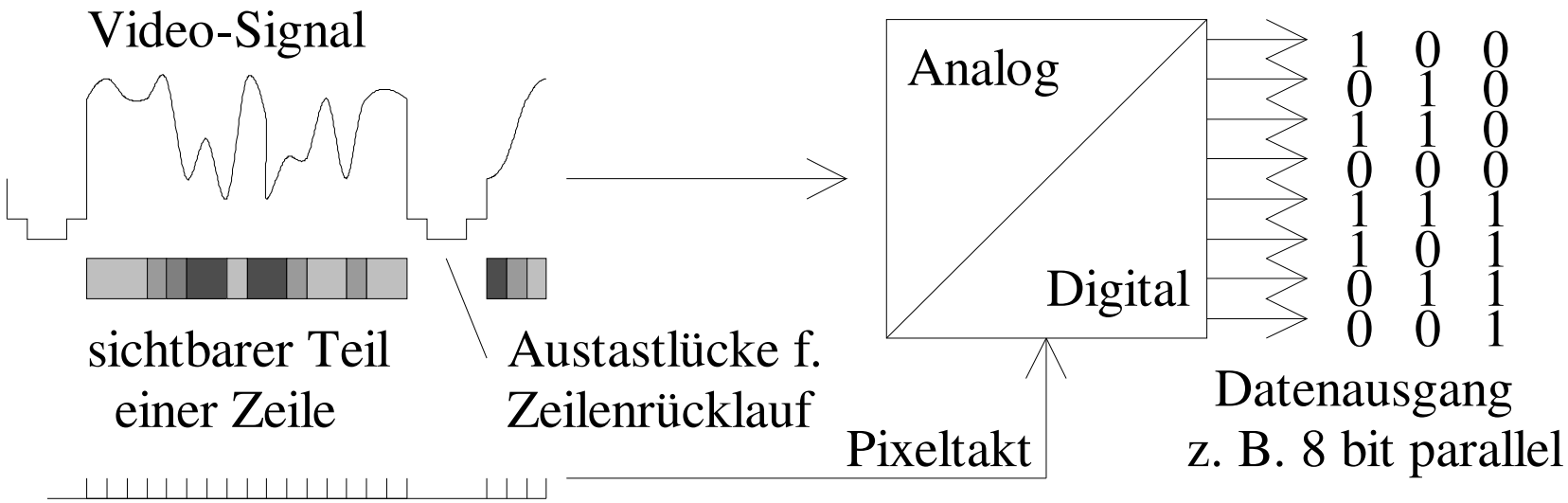
Digitalisiertes (diskretes) Bild:



Digitalisierung eines analogen Video-Signals

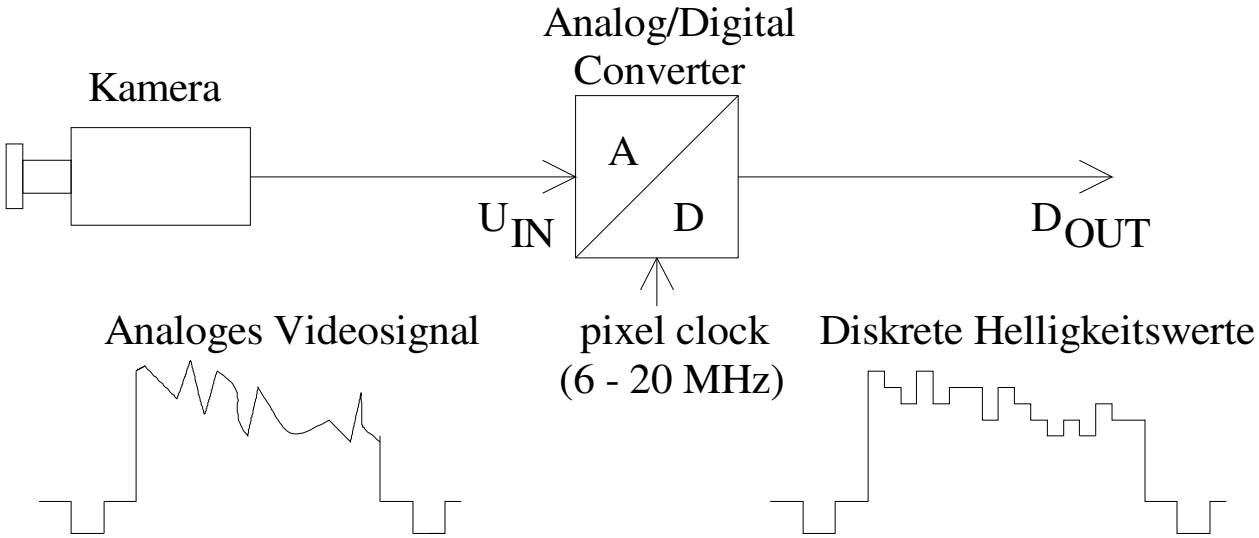
Die Digitalisierung erfolgt

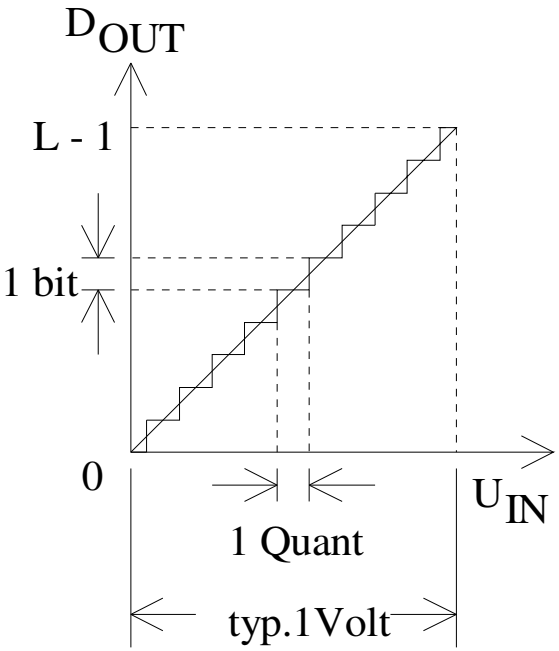
- bezüglich der Zeit durch den Pixeltakt und
- bezüglich der Amplitude durch die Auflösung des A/D-Wandlers.



Digitalisierung der Helligkeitswerte

Wie fein soll die Quantisierung sein?





Digitalisierung der Helligkeitswerte

Wie fein soll die Quantisierung sein?

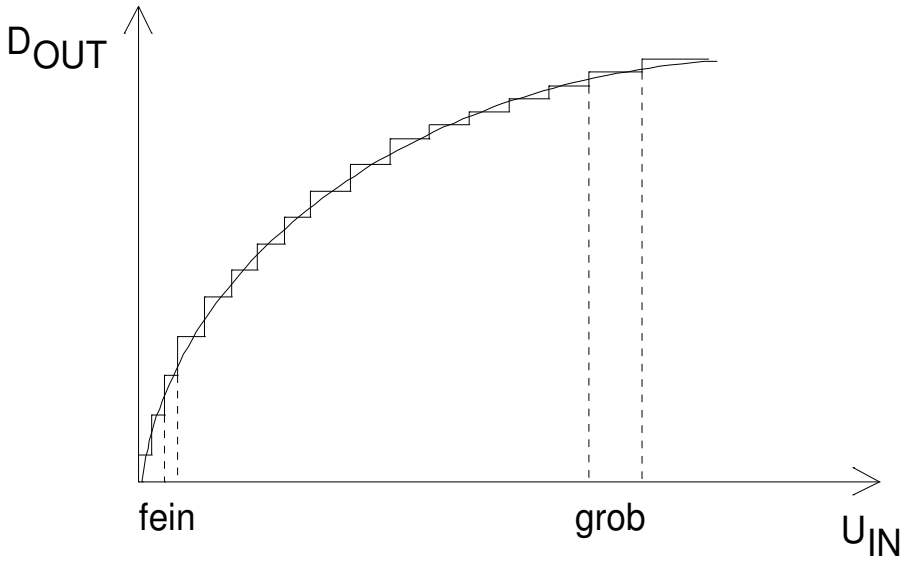
Orientierungshilfe:

- Quantisierung des Video-Signals braucht nicht feiner zu sein als die Fehler der Kamera.
  Praktisch alle Kameras rauschen so stark, dass 8 bit ausreichen.
- 64 Grauwertstufen (6 bit) sind oft ausreichend,
  256 Grauwertstufen (8 bit) wegen der Byte-Darstellung vernünftig.

Digitalisierung der Helligkeitswerte

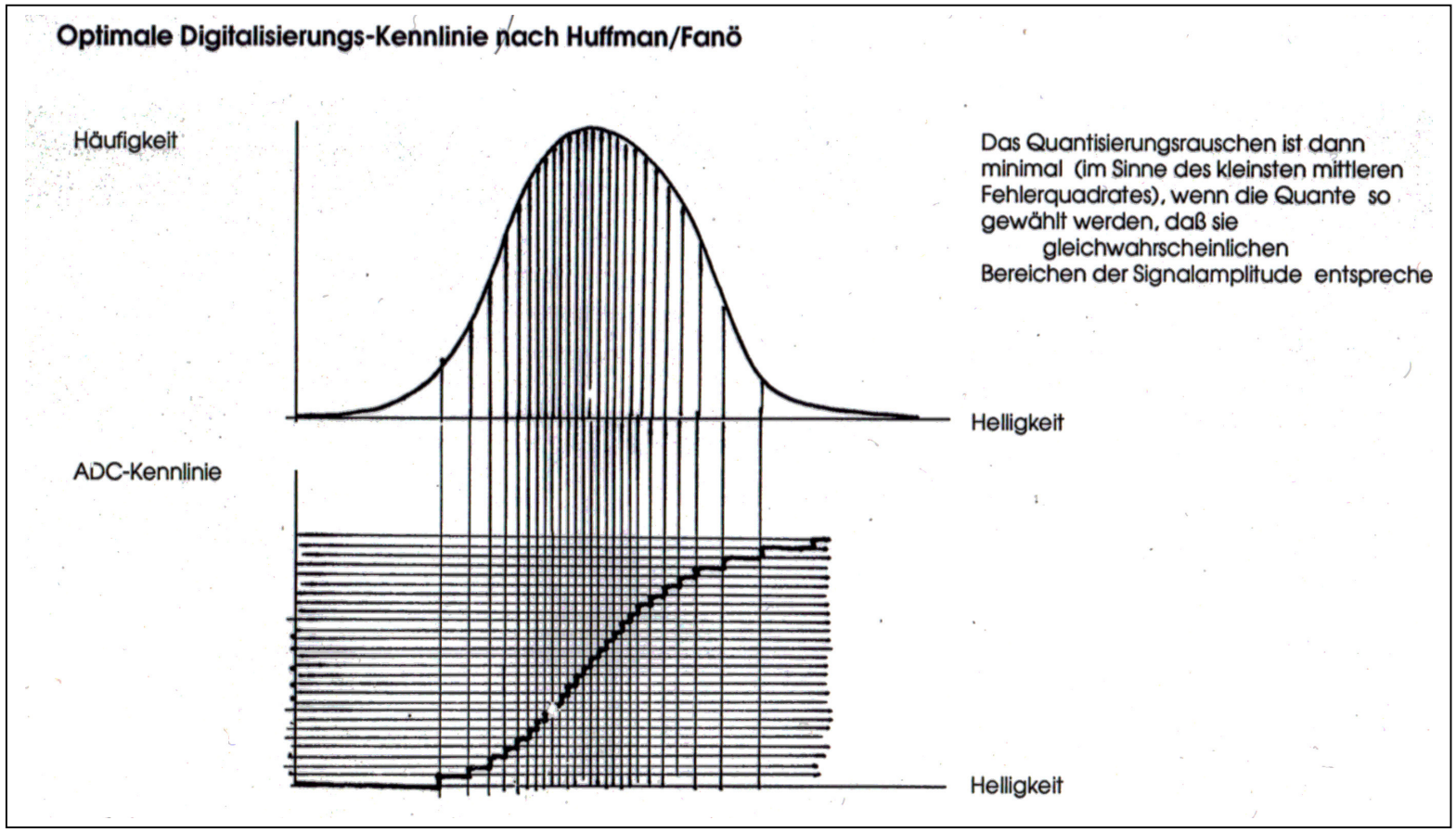
Kennlinie des Analog/Digital-Wandlers

- Oft verstecken sich in den dunklen Bildbereichen interessante Details.
  Eine lineare Kennlinie unterteilt den Helligkeitsbereich gleichmäßig.
  In dunklen Bildbereichen gehen dann Details verloren.



Nicht-lineare (kompandierende) Kennlinien bewerten dunkle Bereiche stärker.
Das entspricht dem logarithmischen Helligkeitsempfinden des Menschen.

Optimale Quantisierungskennlinie (nach Shannon)



seltene Helligkeiten -> grobe Quante häufige Helligkeiten -> feine Quanten

(optimales Quantisierungsrauschen)

Überblick

- **Digitale Bilder**
  - Diskretisierung der Amplitude
  - Digitalisierung der Bildfläche
  - Digitale Beschreibung von Bildern
  - Speicherung von Bildern

Digitalisierung der Bildfläche

Die Digitalisierung begrenzt die **Auflösung**:

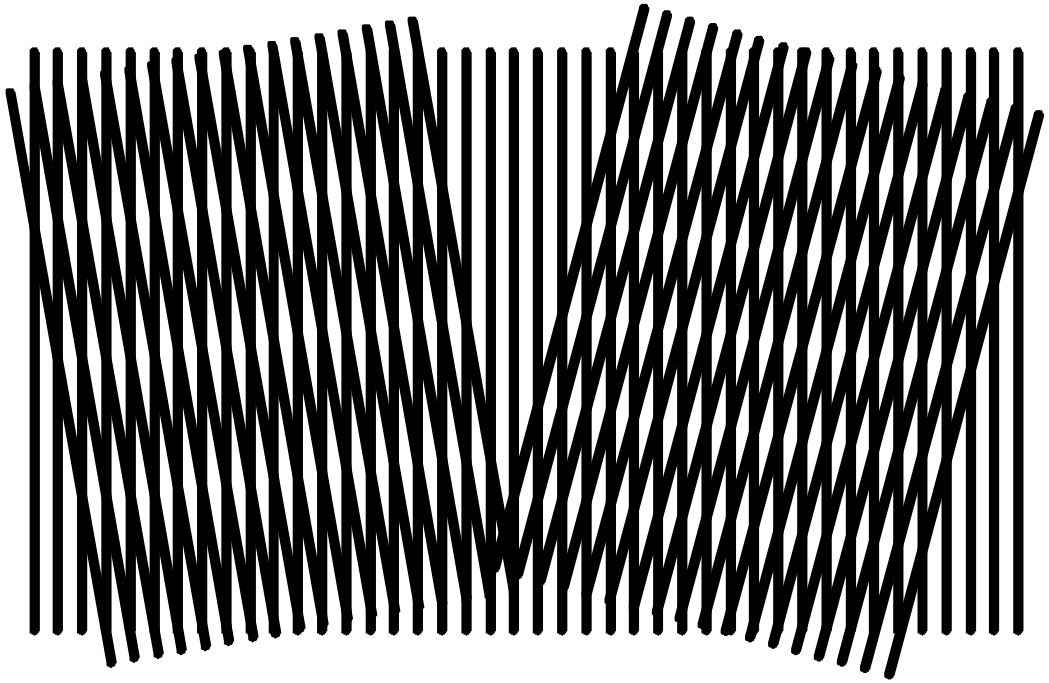
> Die höchste bei einer bestimmten Abtastrate darstellbare Ortsfrequenz bezeichnet man auch als *Auflösung*.[HAB91]:

Bei Abtastung von periodischen Bildern mit zu kleiner Frequenz tritt der **Moiré-Effekt** (**Aliasing**) auf:

> Es entstehen zusätzliche (niedrigere)periodische Bildstörungen, die im Original nicht vorhanden sind.

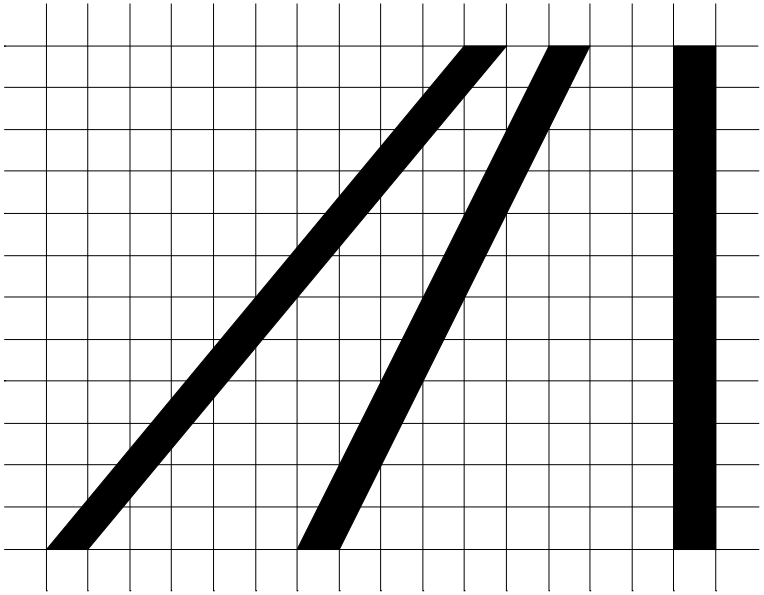
Beispiel: Gemusterte Kleidung des Sprechers führt im Fernsehen zum Flimmern.

Moiré-Effekt (Aliasing):

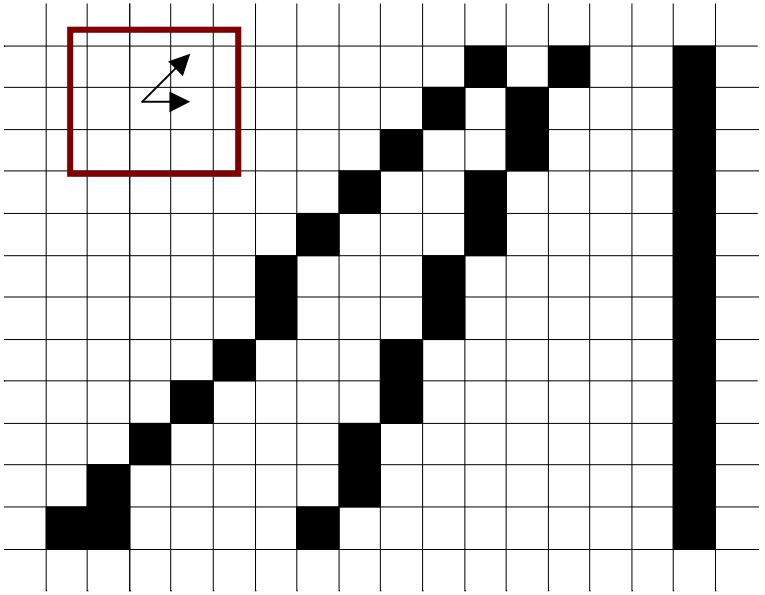


Digitalisierung der Bildfläche mit quadratischem Raster

Beim Digitalisieren von glatten Kanten, die schräg zur x- und y-Richtung liegen, treten Mausezahnlinien auf:



Aus glatten Kanten...



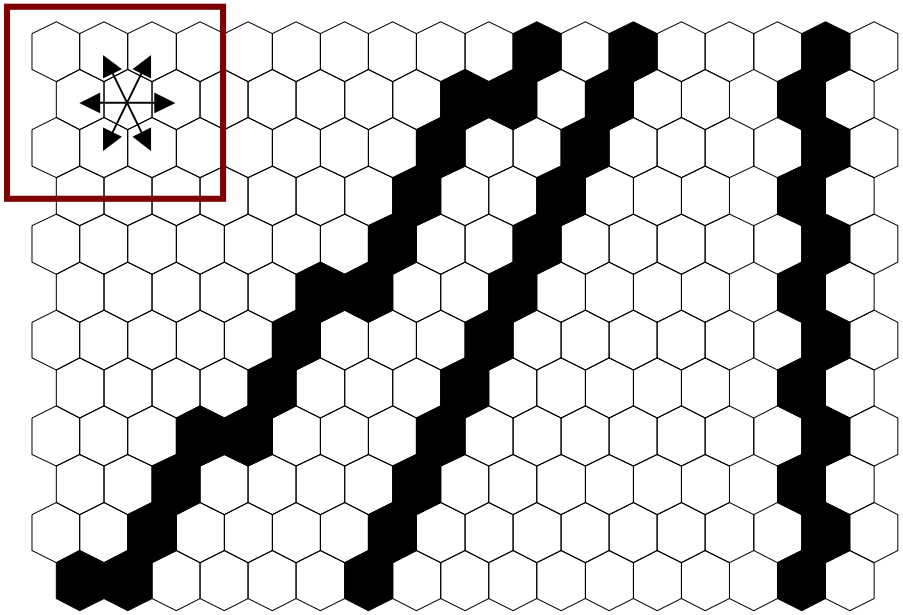
...entstehen Mausezähnchen

Grund: anisotropes Bildraster (die Bildpunkte einer 8er Nachbarschaft sind nicht gleich voneinander entfernt)

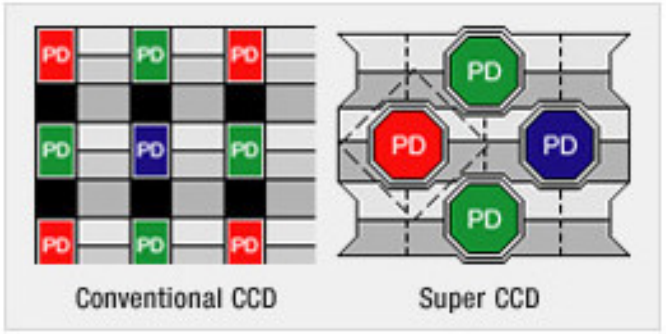
Digitalisierung der Bildfläche

Ein hexagonales Gittern ist isotrop : alle Bildpunkte einer 6er Nachbarschaft sind gleich weit voneinander entfernt

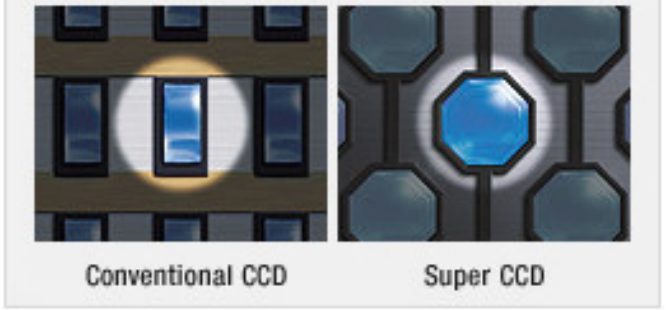
→ fast alle heutigen Bildsensoren beruhen auf einem rechteckigen Raster.
Ausnahme: Fuji finepix Kameras



FUJIFILM FinePix Digitalkamera mit hexagonalem Pixel-Raster

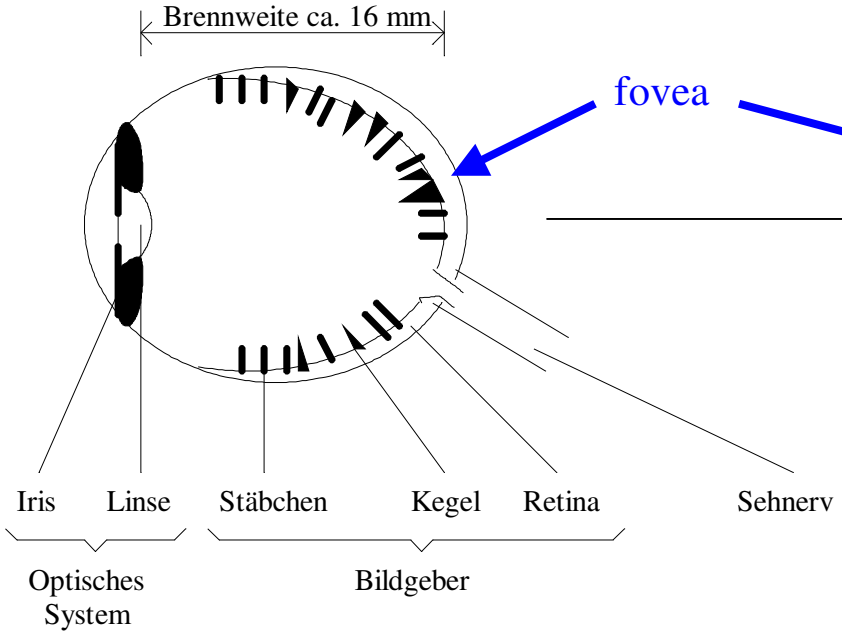


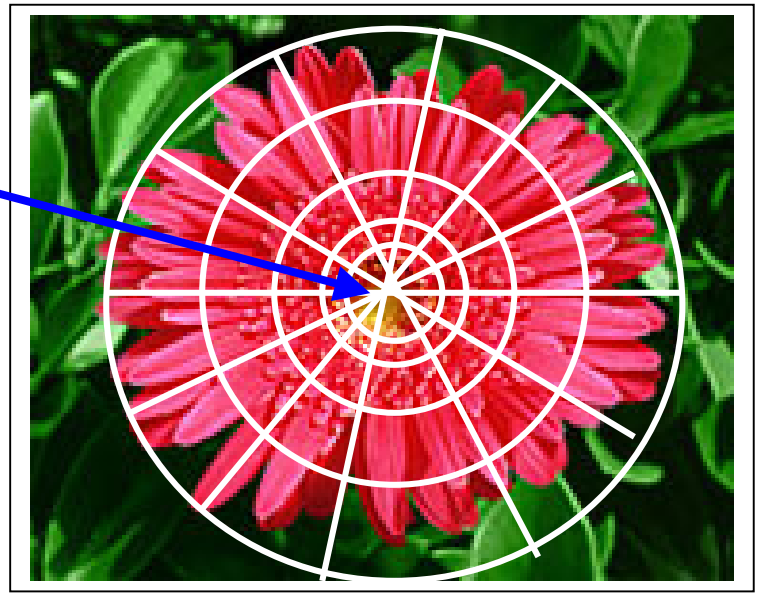
Difference of pixel arrangement between conventional CCD and Super CCD



Difference of pixel size between conventional CCD and Super CCD

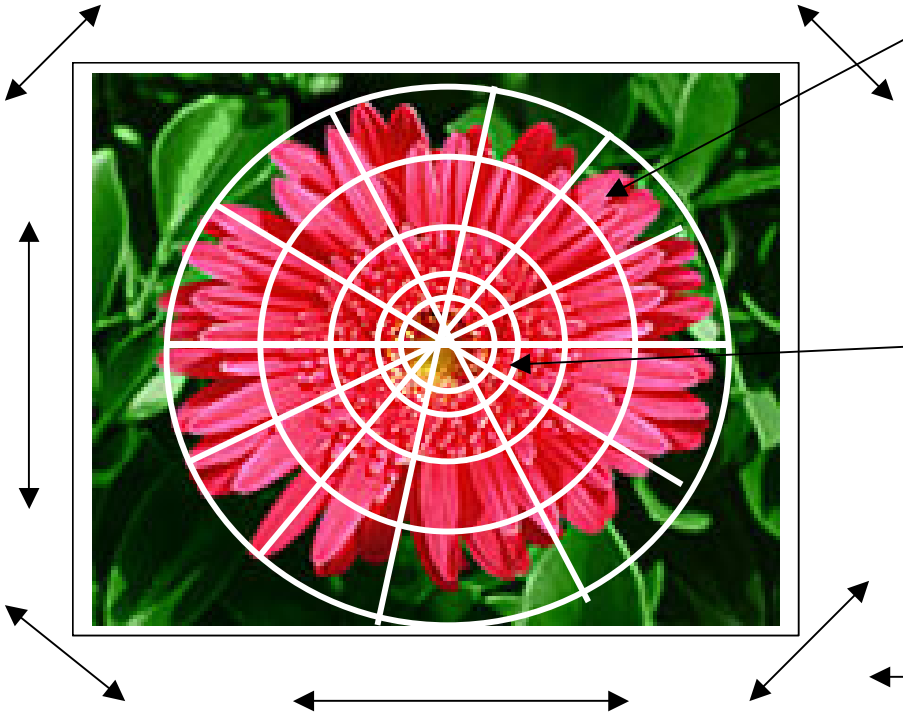
Diskretisierung des Ortes im menschlichen Auge





Logarithmisches Polarkoordinatensystem:
Ortsvariante Auflösung

Beschreibung von Bildern



Alarmzone:

- schlechte Ortsauflösung
- gute Bewegungserkennung
- grosser überwachter Bereich

Betrachtungszone (fovea):

- gute Ortsauflösung
- kleines Bildfeld

Dynamischer Bildsensor :

- nachgeführte optische Achse
- Sakkaden

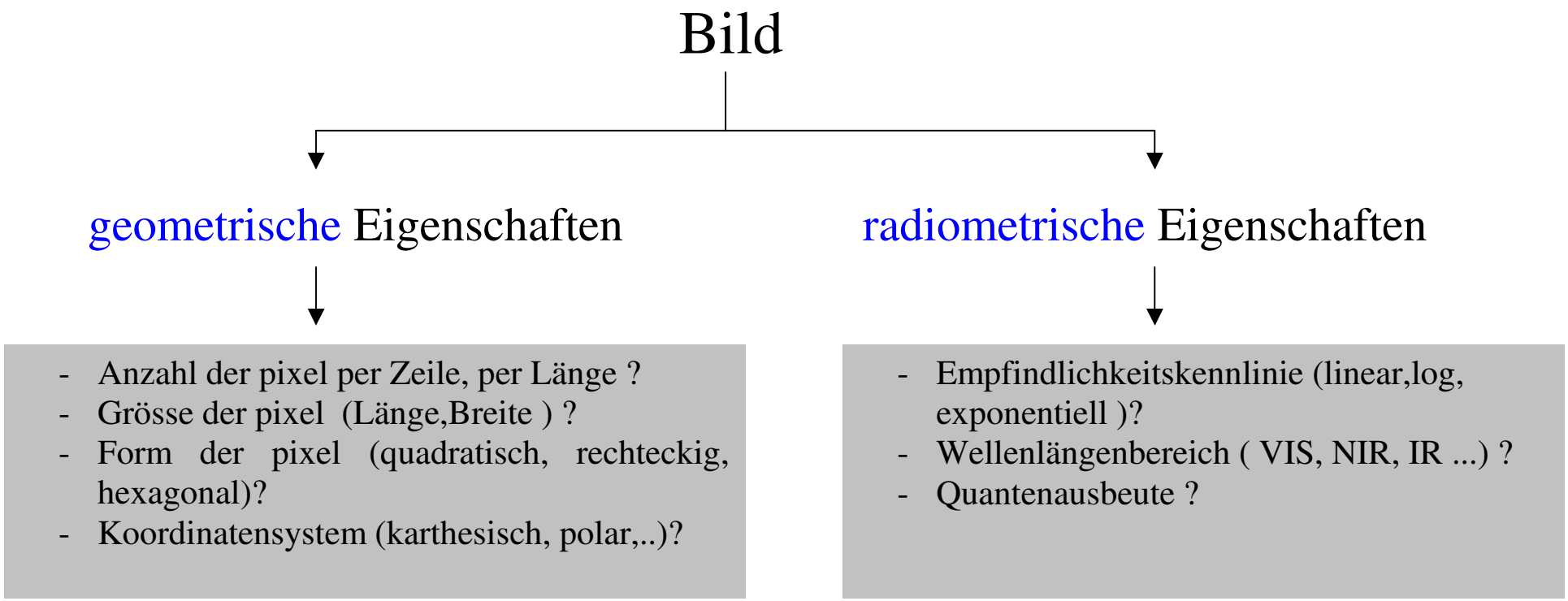


Bild
geometrische Eigenschaften
radiometrische Eigenschaften
- Anzahl der pixel per Zeile, per Länge ?
- Grösse der pixel (Länge,Breite) ?
- Form der pixel (quadratisch, rechteckig, hexagonal)?
- Koordinatensystem (karthesisch, polar,..)?
- Empfindlichkeitskennlinie (linear,log, exponentiell)?
- Wellenlängenbereich (VIS, NIR, IR ...) ?
- Quantenausbeute ?

Überblick

- **Digitale Bilder**
  - Diskretisierung der Amplitude
  - Digitalisierung der Bildfläche
  - Digitale Beschreibung von Bildern
  - Speicherung von Bildern

Digitale Beschreibung von Bildern

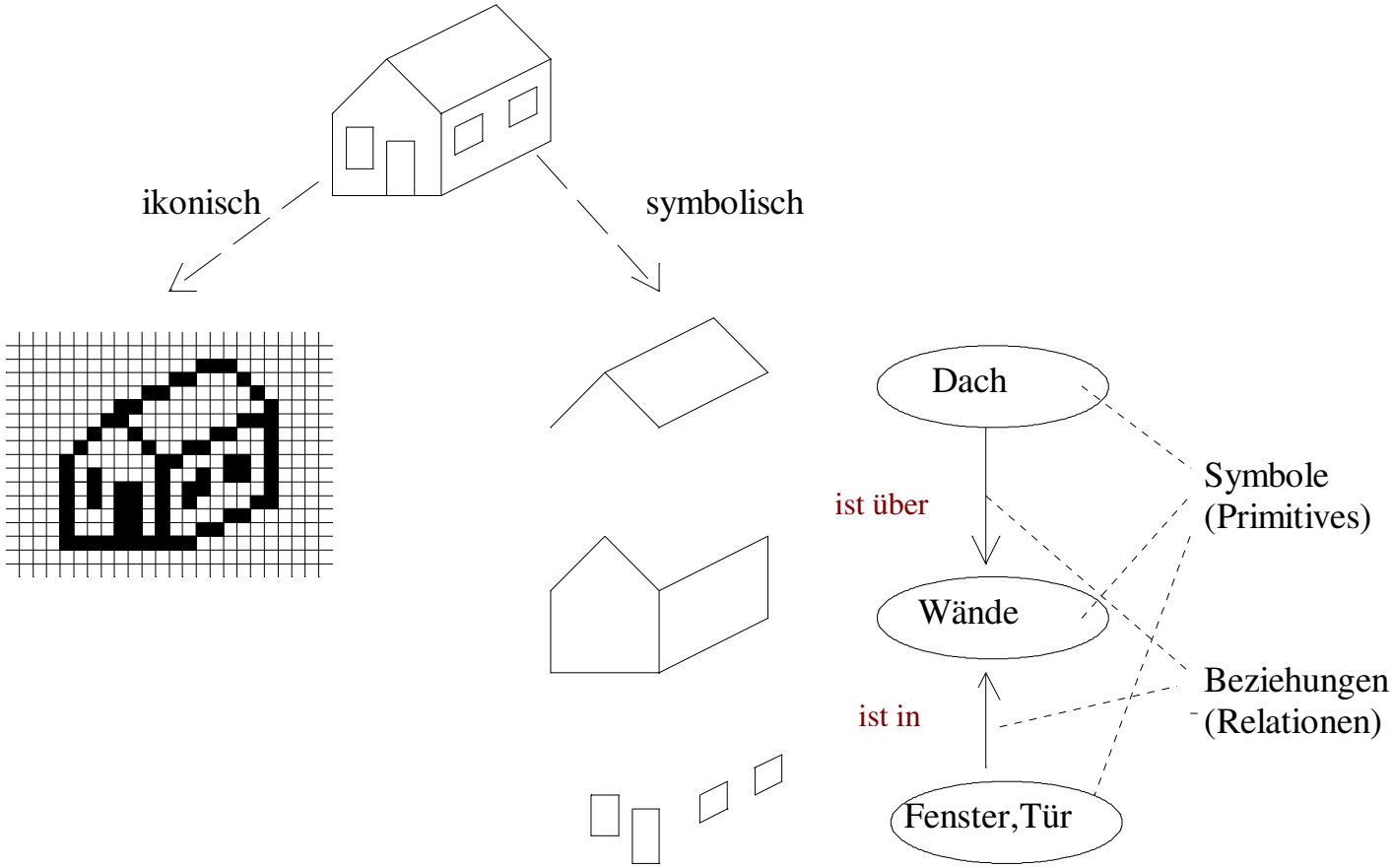
Ikonische und symbolische Bildbeschreibung:

- Ein ikonisches Bild besteht aus Bildpunkten und deren Helligkeitswerten.
  Es entsteht ein digitalisiertes Abbild des Originals.
  Codiertes Symbol: der Bildpunkt (kleinst mögliches Objekt)

  Grössere Objekte (Linien, Ecken,..) werden nicht codiert.

- Beim symbolischen Bild werden "nur" Symbole (Primitive) und
  deren Beziehungen (Relationen) zueinander gespeichert.
  Es entsteht ein synthetisches Abbild der Wirklichkeit.
  Codierte Symbole: Linien, Kurven, Ecken,..ganze graphische Elemente, Texturregionen, etc.

Ikonische und symbolische Bildbeschreibung



Haus = (s(x,y))
= Menge aller Pixel mit entsprechenden Helligkeitswerten

Haus = Graph, welcher die Symbole und ihre Beziehungen angibt.

Ikonische und symbolische Bildbeschreibung

Vorteile der symbolischen Bildbeschreibung:

+ Die symbolische Bildbeschreibung konzentriert sich auf das Wesentliche.
+ Sie benötigt nur einen Bruchteil des Speicherplatzes.
+ Vergleiche von symbolischen Bildern sind viel einfacher (Graphentheorie).
+ Mathematiker lieben die symbolische Bildbeschreibung, da sie eindeutig, übersichtlich und "wenig technisch" ist.

Aber:

- Alle heutigen Bildgeber erzeugen ikonische Bildbeschreibungen.
- Alle bisher bekannten Verfahren zur Gewinnung von Bildsymbolen aus ikonischen Bilddaten sind kompliziert, extrem rechenintensiv und empfindlich auf Bildstörungen.

Ikonische und symbolische Bildbeschreibung

Heutige Anwendungsgebiete der symbolischen Bildbeschreibung:

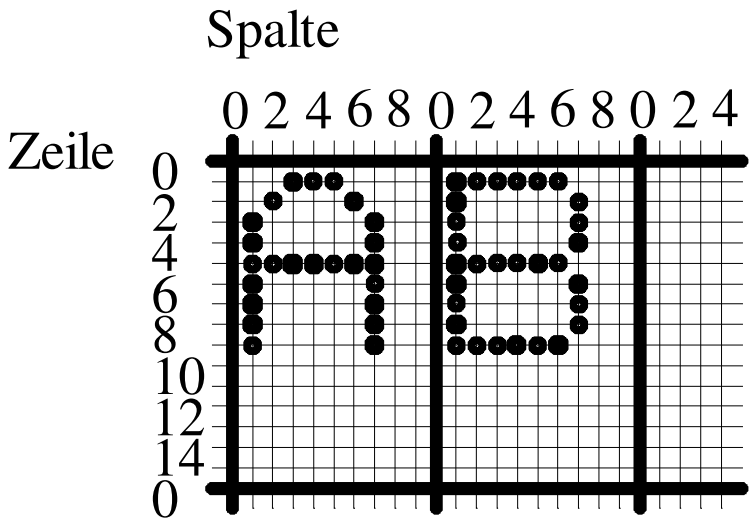
- CAD-Bereich:
  Bilder bestehen aus Rechtecken, Polygonen, Kreisen, Ellipsen, Vektoren usw.
  Synthetische Bilder, die Symbol für Symbol zusammen mit deren Beziehungen eingegeben werden.
  Auswertung von ikonischen Bildern ist nur selten möglich.

- Zeichendarstellung:
  Texte werden durch spezielle (ASCII-)Codes repräsentiert.
  Für jedes Codezeichen ist ein ikonisches Bilder gespeichert.

Ikonische und symbolische Bildbeschreibung

Ikonische Bildbeschreibung:

Symbolische Bildbeschreibung:



z. B. ASCII-Code: 41 $|_{Hex}$ ("A")

42 $|_{Hex}$ ("B")

Codelänge pro Zeichenplatz:
10 * 16 bit = 160 bit

Codelänge pro Zeichen:
8 bit

Weiterer Vorteil:
Symbolische Beschreibung ermöglicht einfach, Zeichenfont und Schriftgröße zu verändern.

Überblick

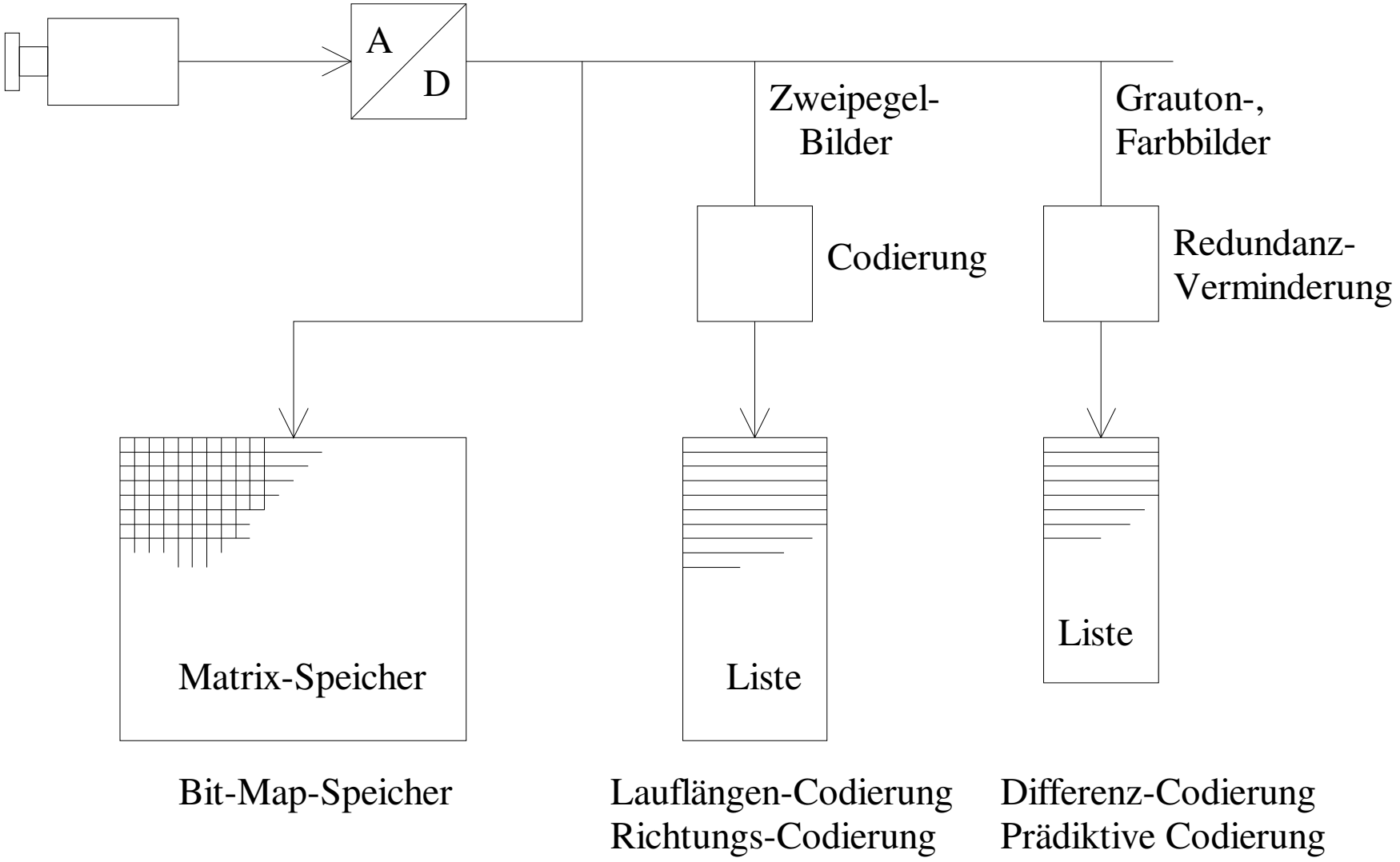
- **Digitale Bilder**
  - Diskretisierung der Amplitude
  - Digitalisierung der Bildfläche
  - Digitale Beschreibung von Bildern
  - Speicherung von Bildern

Speichern von digitalisierten Bildern

- Digitalisierte Bilder werden zuerst als Bit-Map abgelegt
  - in einem Frame Buffer oder
  - im Arbeitsspeicher.
- Für jeden Bildpunkt wird der Grauwert abgespeichert.
- Wichtig ist es,
  - den Speicherplatzbedarf zu reduzieren und
  - für die eigentliche Bildverarbeitung überschaubar zu machen.

Die Kunst liegt darin, Methoden für eine gute Redundanz-Verminderung zu finden ("Quell-Codierung").
Ziel ist eine verlustlose Datenkompression!

Speichern von digitalisierten Bildern



Lauflängen-Codierung (Run-Length-Coding)

Verfahren:

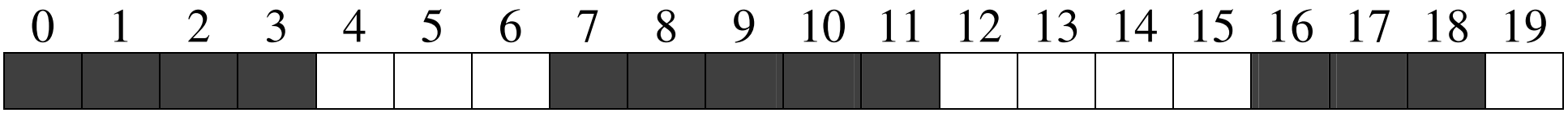
- Pixelzeilen werden durch 0-Blöcke und 1-Blöcke beschrieben.

Anwendungen:

- Bei Binärbildern sinnvoll:
  - großflächig: bis zu 80% Reduktion,
  - Strichzeichnungen (Texte): ca. 40 % Reduktion,
  - detailreiche Bilder: keine Reduktion.
- Bei Grauwertbildern ist die Reduktion meist gering.

Lauflängen-Codierung (Run-Length-Coding)

Beispiel 1:



Methode 1:

- Mit einem Run gibt man zeilenweise von links nach rechts an
  - die Helligkeit und
  - wie viele Pixel mit derselben Helligkeit folgen.

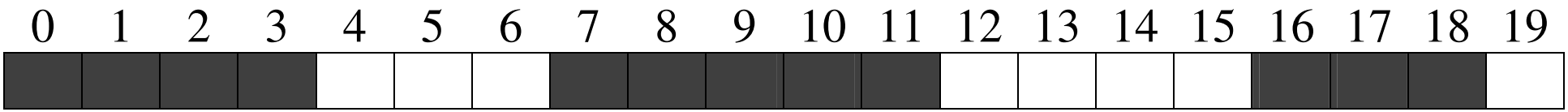
    (4,0) (3,1) (5,0) (4,1) (3,0) (1,1)
  - Oder bei alternierender Angabe, beginnend mit 0-Block:

    4, 3, 5, 4, 3, 1
  - Ist der Abstand größer als der Maximalwert, gibt man ihn in zwei Runs an:

    255, 0, 45

Lauflängen-Codierung (Run-Length-Coding)

Beispiel 1:



Methode 2:

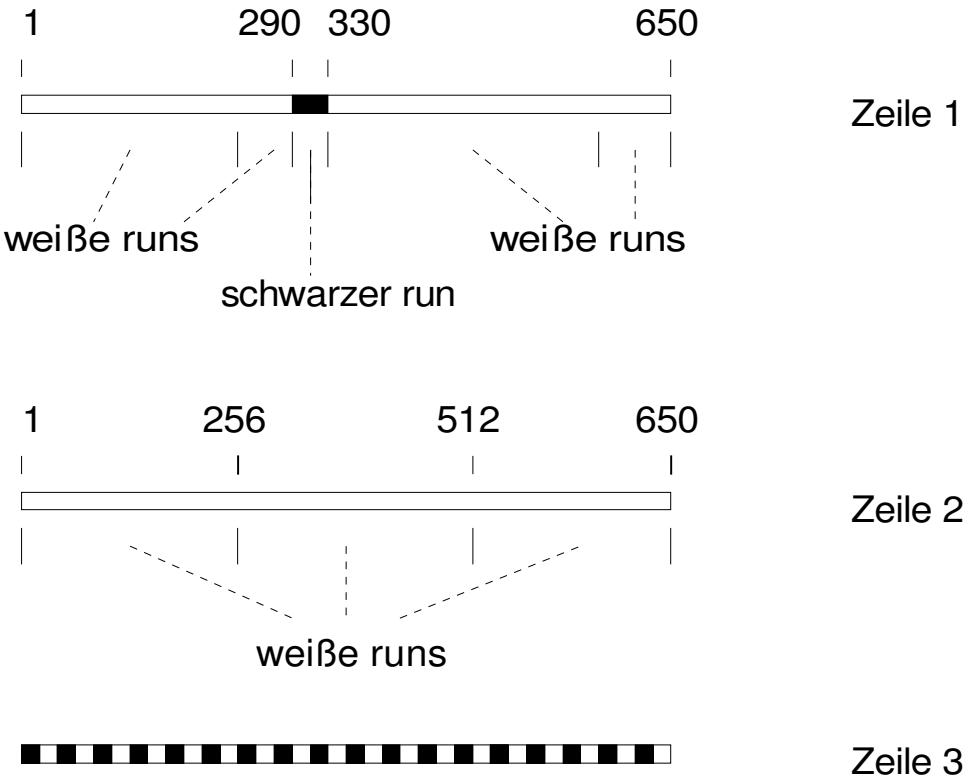
- Man speichert die Position und die Länge der 1-Blöcke.

  (4,3) (12,4) (19,1)

Beispiel 2:

Vorlage:

Bit-Map-Codierung:



Lauflängen-Codierung (Run-Length-Coding)

Codierung: 8 bit für die Länge des Runs und 1 bit für die Helligkeit.

Zeile 1

1	255
1	035
0	040
1	255
1	065

5 x 9 bit = 45 bit

Zeile 2 (minimum)

1	255
1	255
1	140

3 x 9 bit = 27 bit

Zeile 3 (maximum)

0	001
1	001
0	001
1	001
0	001
1	001
0	001
:	:

650 x 9 bit = 5850 bit

Baumstrukturen (Quad Trees)

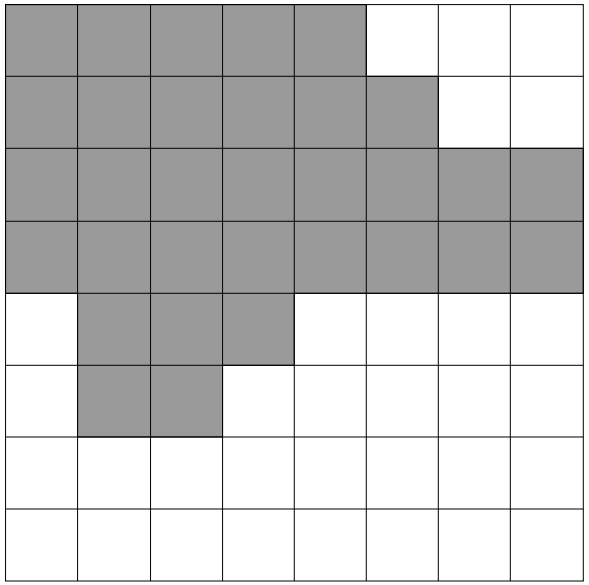
Verfahren:

- Von der Wurzel ausgehend unterteilt man das Bild in seine Quadranten.
  - Ist ein Quadrant homogen,
    dann ist er Endknoten und enthält den Grauwert.
  - Ist ein Quadrant inhomogen,
    dann wird er wieder in seine Quadranten unterteilt.
- Die Baumstruktur-Methode geht von quadratischen Bildern
  mit einer Seitenlänge von 2^k Bildpunkten aus.
  (Rechteckige Bilder müssen zu einem Quadrat aufgefüllt werden.)

Anwendung:

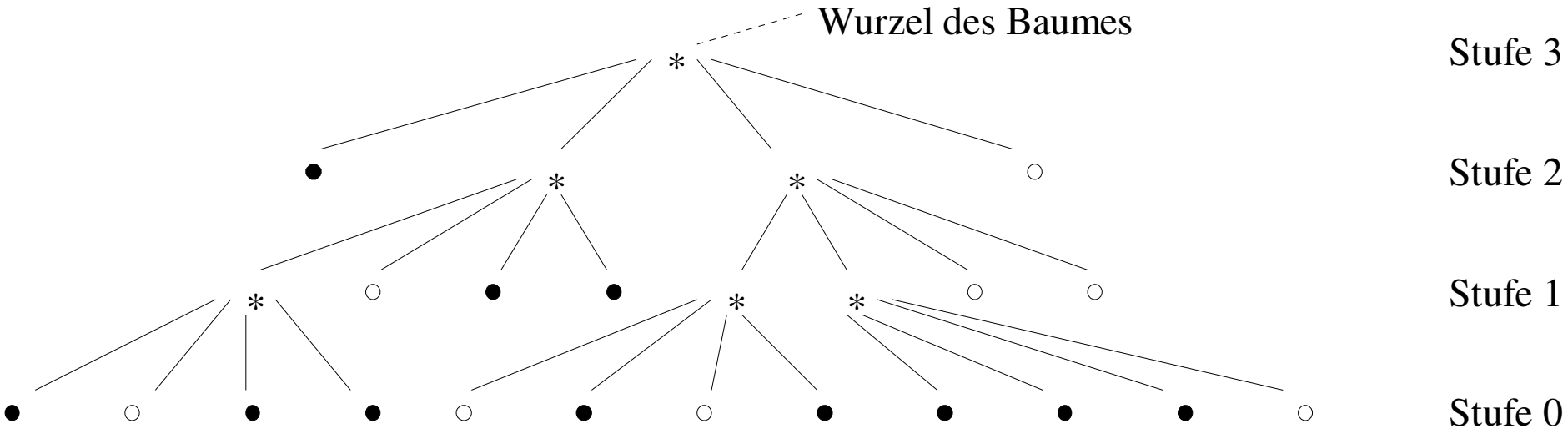
- Vorwiegend bei Binärbildern.

Baumstrukturen (Quad Trees)



Quadranten:

0	1
2	3



Baumstrukturen (Quad Trees)

Zu dem Beispiel:

- k = 3, also 8 * 8 = 64 Bildpunkte.
- Die Wurzel entspricht der Mitte des Bildes.
  Sie ist ein Knoten der Stufe 3 (wegen k = 3).
- Das Bild wird in seine vier Quadranten der Stufe 2 unterteilt.
- Da Quadrant 1 und 2 verschiedene Grauwerte haben,
  müssen sie in die Quadranten der Stufe 1 zerlegt werden.
- Diese Aufteilung kann sich bis zur Stufe 0 hinunter fortsetzen.
- Knoten ohne Nachfolger bezeichnet man als Blätter oder homogene Knoten.
- Die Stufennummer gibt an, aus wie vielen Pixel die Ebene besteht.

Baumstrukturen (Quad Trees)

Datenablage:

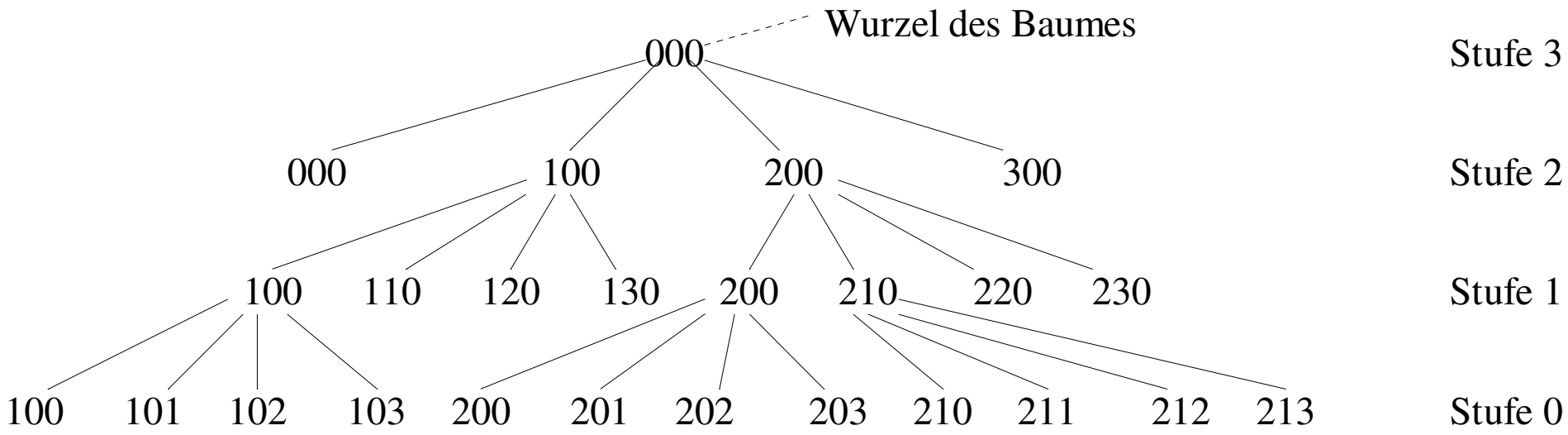
Jeder Knoten wird eindeutig mit Adresse und Grauwert beschrieben:

1) Adressierung erfolgt mit k-stelligen Zahlen zur Basis 4: a_{k-1} , a_{k-2} , ... , a_1 , a_0 :

- Die Ziffern $a_i \in \{0, 1, 2, 3\}$ bezeichnen den Quadranten.
- Der Index i (d. h. die Stelle innerhalb der Zahl) verweist auf die Stufe i.

Die Angaben von Stufennummern, Knotenadressen und Grauwerten sind erforderlich, da die Knotenadressen zum Teil mehrfach vorkommen.

Baumstrukturen (Quad Trees)



Vorteil:

+ Eine Weiterverarbeitung, z. B. logische Verknüpfung zweier Bäume über die boole'schen Operatoren AND, OR und NOT, ist recht einfach.

Nachteil:

- Aufwendige Speicherung.

Baumstrukturen (Quad Trees)

Datenablage:

2) Man gibt nur die Grauwerte der Knoten und die Anzahl der Stufen an:

- 0 = schwarzer Knoten,
- 1 = weißer Knoten,
- 2 = schwarz/weiß gemischter Knoten.

Durch eine feste Reihenfolge der Grauwerte entfällt eine Adressierung.

- Beginnend von links wird jeder Teilbaum bis zum Blatt angegeben.
- Ein Blatt erkennt man daran, dass im Codewort keine 2 enthalten ist.

Baumstrukturen (Quad Trees)

Zu dem Beispiel:

0 2 2 1
2 1 0 0
0 1 0 0
2 2 1 1
1 0 1 0
0 0 0 1

Vorteil:

+Darstellung der Baumstruktur ist sehr kompakt.

Nachteil:

- Darstellung ist für eine Weiterverarbeitung ungünstig.

Differenz-Codierung

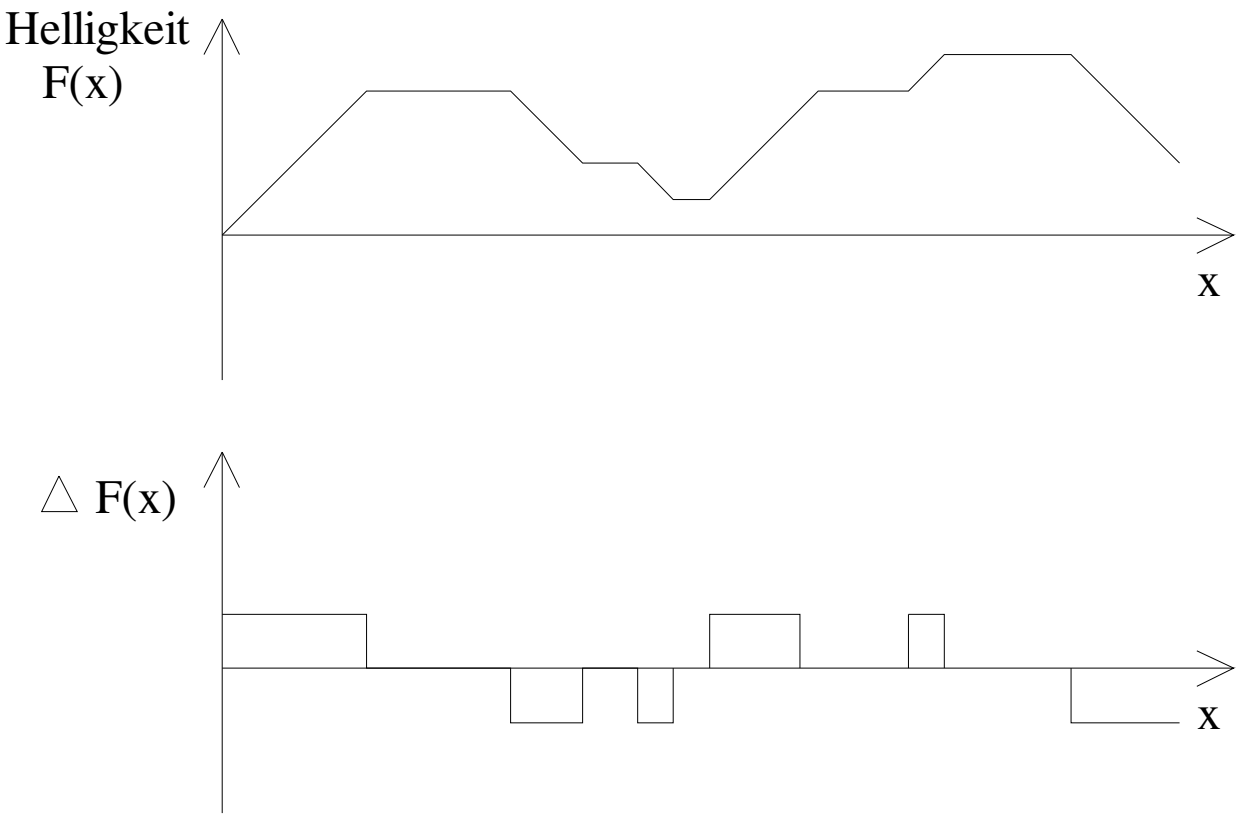
Verfahren:

- Man gibt den Helligkeitsunterschied zum linken Nachbarn in der Bildzeile an.
- Zur Vermeidung negativer Werte verschiebt man den Grauwertbereich ins Positive.
- Am Beginn einer neuen Zeile speichert man den absoluten Grauwert.

Anwendung:

- Bei allgemeinen Grauwertbildern ergibt sich eine gute Reduktion.
- Bei Binärbilder gibt es keine Reduktion.
- Bilder mit "sanften" Helligkeitsübergängen.

Differenz-Codierung



Differenz-Codierung

Vorteil:

+ Wenn der Wertebereich der Differenzen wesentlich kleiner als der Bereich der Original-Grauwerte ist, reduziert sich die Anzahl der benötigten Bits.

Nachteil:

- Codierungsfehler bei größeren Helligkeitssprüngen.

Zusammenfassung: Datenkompression von Bildern

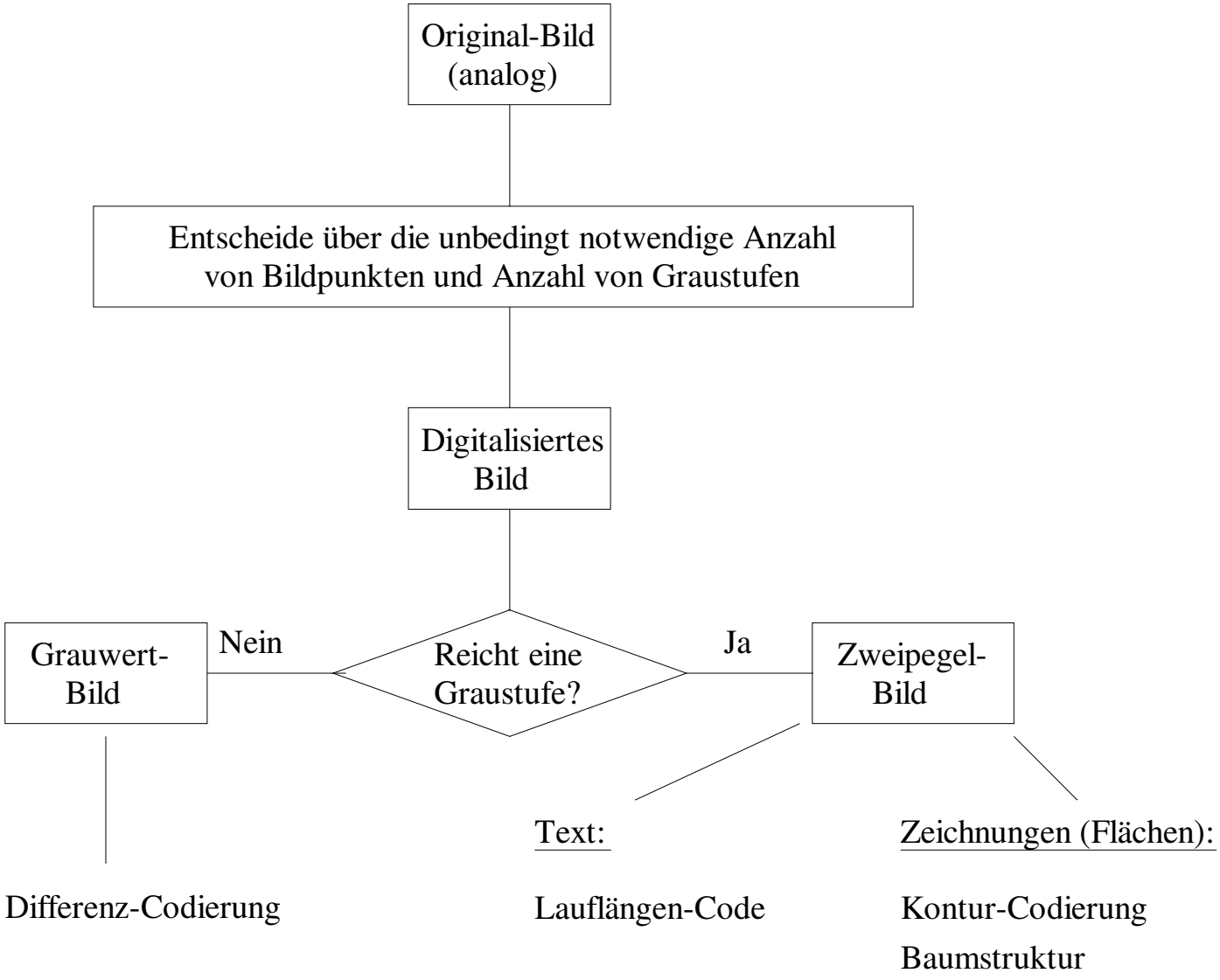
Digitalisierung bedeutet einen Kompromiss

- zwischen einem möglichst geringen Informationsverlust und
- einer nicht zu umfangreichen Informationsmenge.

Dagegen:

- Bei Datenkompressionsverfahren gehen keine Informationen verloren. Das Originalbild ist wieder rekonstruierbar.
- Alle Verfahren, die die Redundanz verringern, erhöhen die Störanfälligkeit (also error correction code).
- Alle Kompressionsverfahren setzen typische Regelmäßigkeiten voraus.
- Kompressionsverfahren sind immer Kompromisse.

Zusammenfassung: Datenkompression von Bildern



Speichern von Bildern

Je nach Anwendung werden Bilder online verarbeitet oder erst an einer späteren Stelle ausgewertet.

Oft ist es auch nötig Bilder bei der Auswertung zu protokollieren.

In beiden Fällen ist das speichern von Bildern notwendig.

Mittlerweile gibt es unzählige Dateiformate um Bilder zu speichern.

Man unterscheidet zwischen folgenden Formaten:

- vektorbasiert
- Metafile
- Pixel

Speichern von Bildern

Am häufigsten gebräuchlich sind die Pixel-Formate, da Kameras Pixelbilder erzeugen.

Auch hier muss man zwischen zwei Kategorien unterscheiden:

- verlustfrei
- mit Verlust

Das Speichern mit Verlust hat zum Ziel möglichst kleine Datenmengen zu erzeugen. Dazu werden spezielle Algorithmen verwendet, bei denen das Ergebnis oft mit dem Auge nicht erkennbar ist.

Wichtig: Bildkompression heißt nicht gleichzeitig „mit Verlust“ zu arbeiten!!!

In der Industriellen Bildverarbeitung werden vorwiegend die verlustfreien Formate eingesetzt, da eine Weiterverarbeitung oder Überprüfung zum gleichen Ergebnis führen soll wie beim Originalbild.

Speichern von Bildern

Empfehlungen:

a) Machen Sie sich klar, welches Dateiformat für Sie am besten geeignet ist. Auch in Hinsicht der Austauschbarkeit mit Ihrem Kunden.

b) Beachten Sie, dass es auch Dateiformate mit Patente gibt.

c) Manchmal reicht es auch aus, wenn man den internen Speichern einfach am Stück auf die Festplatte schreibt. Dies empfiehlt sich vor allem für so genannte „Datenlogger“ * Die so gespeicherten Daten können oft danach noch mit einem kleinen selbst geschriebenen Konverter in allg. Grafikformate überführt werden.

d) Benutzen Sie fertige Libraries! In vielen Klassenbibliotheken sind entsprechende Klassen vorhanden. Es lohnt sich normalerweise nicht den Aufwand nochmals zu betreiben.

* Datenlogger: Möglichst viele Kameradaten so schnell wie möglich auf die Festplatte speichern