

Digitale Bildverarbeitung

Einheit 3

Das Bildverarbeitungssystem

Lehrauftrag SS 2007

Fachbereich M+I der FH-Offenburg



Dr. Bernard Haasdonk

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ziele der Einheit

- **Machinelles Visuelles System**
 - Analog zur menschlichen Bildverarbeitung ist in der **Maschinellen Bildverarbeitung** ein "visuelles System" nötig, das die aufgenommenen Bilder verarbeitet.
- **Hardware**
 - Neben allgemeinem Aufbau werden wir bestimmte **Komponenten** eines Bildverarbeitungssystems näher behandeln: Optik, Sensortechnik
- **Digitalisierung**
 - Ist der wichtigste Schritt zum Erzeugen von digitalen Bildern, dem Ausgangspunkt der eigentlichen elektronischen Weiterverarbeitung.

Gliederung

- Das Bildverarbeitungssystem
- Kameraobjektive
 - Optische Grundlagen
 - Objektivarten
- Die Digital-Kamera
 - Videonormen
 - CCD-Wandler-Techniken und Chipformate
 - Bauformen von CCD-Kameras
 - Neuere Entwicklung: CMOS-Kameras
- Digitalisierung von Bildern
 - Intensitätsquantisierung
 - Ortsabtastung

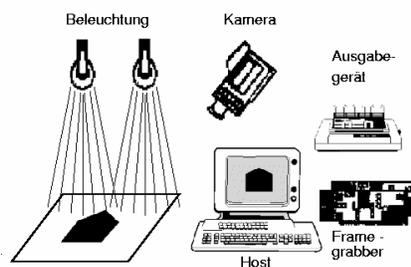
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

3

Das Bildverarbeitungssystem

- Ein Bildverarbeitungssystem besteht aus
 - Beleuchtungsanlage (Lichtquellen und Beleuchtungsart)
 - **Bildsensorysystem**, Beispiel: digitale Kamera
 - Bildverarbeitungskarte (Analog-Digital-Wandlung)
 - keine Grafikkarte! Interface von Kamera(s) zu Computer
 - Rechner, der die Infrastruktur zur Verfügung stellt
 - Ausgabepерipherie (Monitor, Drucker, Projektor)



30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

4

Beleuchtung

- Relevanz:
 - „Jeder in die Beleuchtung investierte Euro spart zwei in der Weiterverarbeitung“
 - Das Beleuchtungsproblem ist oft das größte Problem in der Bildverarbeitung
 - Beleuchtung entscheidet wie leicht die BV-Aufgabe gelöst werden kann
- Ziel:
 - Optimaler Dynamikbereich und Kontrast
 - Homogene und zeitlich konstante Beleuchtung
- Auswahl an Lichtquellen:
 - Tageslicht Glühlampen Leuchtstoffröhren
 - Halogenlampen Entladungslampen Leuchtdioden (LEDs)
 - Laserdioden Infrarotlichtquellen
- Auswahl von Beleuchtungsmöglichkeiten:
 - Auflichtbeleuchtung Durchlichtbeleuchtung
 - Helfeldbeleuchtung Dunkelfeldbeleuchtung
 - Diffuse Beleuchtung Strukturierte Beleuchtung

Kameraobjektive

- Ein Kameraobjektiv besteht aus
 - einem Linsensystem und
 - einer oder mehreren Blenden
- 
- Wichtige Parameter eines Objektivs sind
 - die Brennweite f , die Vergrößerung m und die Brechkraft D
 - die minimale Objektdistanz MOD
 - Einstellbare Blendenzahl k
 - der Bildwinkel und der Bildausschnitt
 - die Schärfentiefe und die hyperfokale Distanz

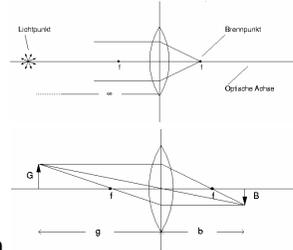
Optische Grundlagen

- Das Abbildungsprinzip einer dünnen Linse
 - Lichtstrahlen aus dem Unendlichen fokussieren im **Brennpunkt**
 - Abstand zwischen Linsenmitte und Brennpunkt ist **Brennweite f**
 - Lichtstrahlen durch die Linsenmitte werden nicht abgelenkt
 - Ein scharfes Bild entsteht dort, wo sich die Strahlen eines Objektpunktes schneiden
 - Je kleiner die **Gegenstandsweite g**, desto größer muss die **Bildweite b** sein.
 - Exakter Zusammenhang: **Descartes Linsengleichung**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$
 - Der **Vergrößerungsfaktor m** ist das Verhältnis von **Bildhöhe B** und **Gegenstandshöhe G**. Dies ist gleich dem Verhältnis von Bildweite und Gegenstandsweite

$$m = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$
 - Die **Brechkraft D** (Einheit **Dioptrie**) ist der Kehrwert der Brennweite:

$$D = 1/f$$
- Näherungsweise Gültigkeit bei dicken Linsen und Linsensystemen



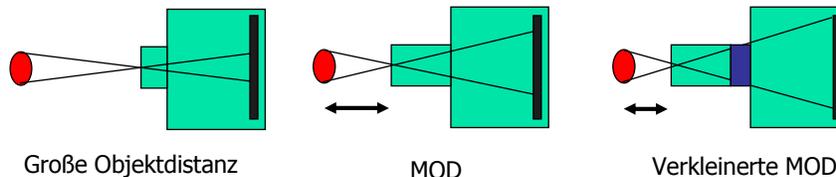
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

7

Optische Grundlagen

- Die **Minimale Objektdistanz MOD**
 - Fokussierung bedeutet nichts anderes als die Veränderung des Abstandes zwischen Objektiv und CCD-Chip
 - Offensichtlich sind der Veränderung mechanische Grenzen gesetzt.
 - Gewöhnlich erlaubt ein Objektiv die Fokussierung vom Unendlichen bis zur sogenannten **Minimalen Objektdistanz**
 - Die MOD ist mit Hilfe von Zwischenringen verkleinerbar, indem der Abstand zwischen Linse und Chip vergrößert wird



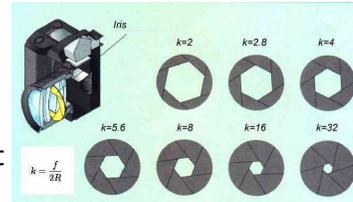
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

8

Optische Grundlagen

- Die Rolle der Blende
 - Sie legt den Lichteinfall fest.
 - Die auf den Sensor fallende Lichtmenge ist proportional zu Blendenöffnung und Belichtungszeit
- Die Blendenzahl k



- Sie ist proportional zur Brennweite f und umgekehrt proportional zum Blendenradius R .
- Bei handelsüblichen Spiegelreflexkameras kann sie in Abstufungen von der Wurzel aus 2 eingestellt werden:

$$k = 0.71, 1, 1.4, 2.0, 2.8, 4, 5.6, \text{ usw.}$$
- Eine kleine Blende impliziert eine große Schärfentiefe, zieht aber unerwünschte Beugungserscheinungen nach sich.
- Eine große Blende führt zu unscharfen Bildern wenn das aufgenommene Objekt Unebenheiten aufweist.
- Vergrößert man die Blendenzahl um den Faktor 2, so verkleinert sich die Lichtmenge um den Faktor 4.

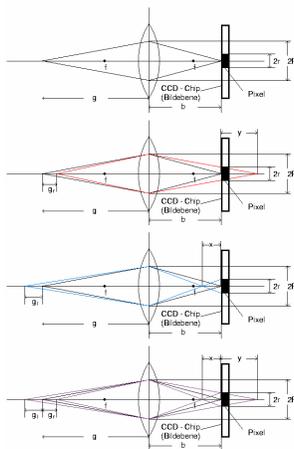
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

9

Optische Grundlagen

- Die Schärfentiefe



- Ein Lichtpunkt, der bei g liegt, ergebe ein scharfes Bild
- Wird der Lichtpunkt um den Betrag g_r nach rechts verschoben, so verschiebt sich das Bild um den Betrag y nach rechts.
- Wird der Lichtpunkt um den Betrag g_l nach links verschoben, so verschiebt sich das Bild um den Betrag x nach links.
- Die Anzahl der Photonen, die während der Integrationszeit auf das Pixel fällt, ist die gleiche in allen drei Fällen, der registrierte Wert im Pixel ist also identisch.
- Die linksseitige Schärfentiefe g_l und die rechtsseitige Schärfentiefe g_r ergeben zusammen die Schärfentiefe.
- Die Schärfentiefe ist abhängig von Blendenzahl k , Brennweite f , Gegenstandsweite g und Pixelbreite $2r$
- Beachten Sie, dass der linke und der rechte Anteil der Schärfentiefe nicht gleich sind.

$$g_l = \frac{2rk g(g-f)}{f^2 - 2rk(g-f)} \quad g_r = \frac{2rk g(g-f)}{f^2 + 2rk(g-f)}$$

30.7.2007

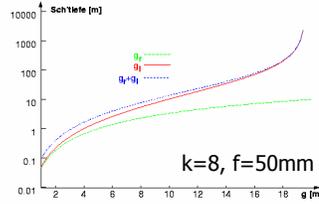
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

10

Optische Grundlagen

Die hyperfokale Distanz

- Je weiter das Objekt entfernt ist, desto größer ist die Schärfentiefe
- Ab einer gewissen Entfernung, der hyperfokalen Distanz, wird die Schärfentiefe unendlich groß.
- Die Schärfentiefe für verschiedene Gegenstandsweiten g :



Blendenzahl $k=8$
Brennweite $f=50\text{mm}$

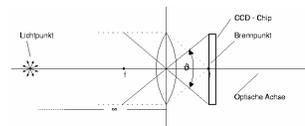
scharf eingestellt wurde das Püppchen mit dem grünen Rock.



Optische Grundlagen

Der Bildwinkel θ und der Bildausschnitt

- Sind abhängig von der Brennweite des Objektivs und den Abmessungen des Films oder des CCD-Chips (der Diagonalen).
- Bildausschnitt und Bildwinkel zu verschiedenen Brennweiten bei einem Kleinbildfilm (36 x 24 mm).



Bildausschnitte für verschiedene CCD - Formate ($f = 70\text{mm}$)

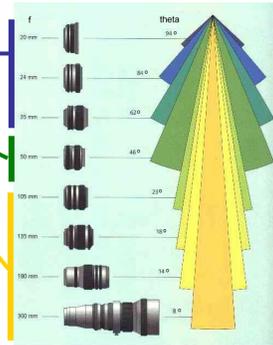


Objektivarten

- Weitwinkel-, Normal- und Teleobjektive
 - Namensgebung ist historisch bedingt, bezieht sich auf eine Bildgröße von 36x24mm (Kleinbildfilm)
 - Einteilung nach Brennweite
 - Weitwinkel: f kleiner als 50mm
 - Normal: f ist 50mm
 - Tele: f größer als 50mm

Öffnungswinkel theta für verschiedene Chipgrößen im Vergleich zum 35 mm Film

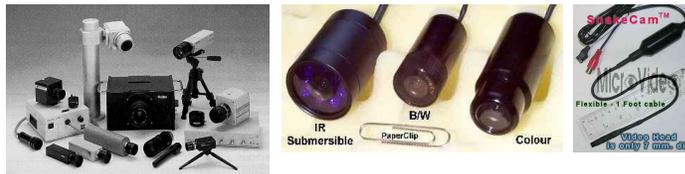
Format	36x24mm	1"	2/3"	1/2"	1/3"	1/4"
Diagonale [mm]	43.3	16.9	11.0	8.0	6.0	4.0
f=20mm	95°	43°	31°	23°	17°	11°
f=24mm	84°	37°	26°	19°	14°	10°
f=35mm	63°	26°	18°	13°	10°	7°
f=50mm (Normal)	47°	19°	13°	9°	7°	5°
f=105mm	23°	9°	6°	4°	3°	2°
f=135mm	18°	7°	5°	3°	3°	2°
f=180mm	14°	5°	4°	3°	2°	1°
f=300mm	8°	3°	2°	2°	1°	1°



- Für kleine CCD-Chips sind die Begriffe irreführend, da die Bildwinkel kleiner sind
- Namensgebung müsste eigentlich mit jedem neuen, noch kleineren CCD-Chip wieder modifiziert werden.

Beispiele für CCD Kameras

- Auswahl an „Charge-Coupled Device“ Kameras:



- Was wir in diesem Abschnitt lernen werden

- Was heißen Begriffe wie
 - Progressive Scan
 - IT
 - Micro-Lens
 - 2/3"
 - Full-Frame Sensor
 - TV-Linien
 - Integrationszeit, ...

ST-235

- 1/2" IT-Micro-Lens-CCD
- 752 (H) x 582 (V) Pixel
- Interner / externer Sync
- 570 TV-Linien
- Shutter bis 1/10.000 sek.
- Field/Frame-Microlens
- AGC und Gamma on/off
- SN-Ratio mind. 50 dB
- 0.5 Lux / F 1.4
- Langzeitintegration möglich
- (S6 x 40 x 104.5) mm
- C-Mount

ST-9701 / STC-9700

- 2/3" IT-Progressive-Scan-CCD
- 768 (H) x 494 (V) Pixel
- Getriggerte Vollbildaufnahme!
- Interner / externer Sync
- Digitaler Bildspeicher
- SN-Ratio 50 dB
- Analog RS-170 oder Digital 8-Bit RS-422
- AGC on/off, Gamma 1 oder 0.45
- Shutter 1/60 - 1/16.000 sek.
- C-Mount
- Auch als Farbkamera erhältlich: Model STC-9700

Videonorm

- Die meisten angebotenen Kameras unterliegen einer Videonorm
 - eine Art „Übertragungsprotokoll“ des Videosignals, eine Schnittstellendefinition zwischen Echtzeitbildgebungs- und Darstellungs-Systemen
- Sinn einer Normierung
 - Austauschbarkeit, Kombinierbarkeit von Komponenten verschiedener Hersteller
- Ideale Folgeerscheinung
 - Sehr weite Verwendbarkeit, Massenproduktion, günstige Preise, die auch im privaten Anwenderbereich erschwinglich sind
- Übliche Fernsehnormen:

	Schwarzweiß	Farberweiterung
Europa	CCIR	PAL / SECAM
USA	RS-170	NTSC

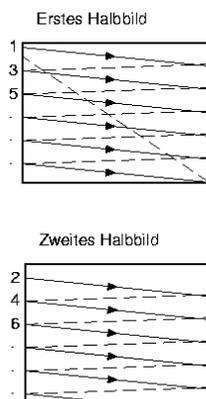
- Basierend auf Röhrenkameras und –Monitoren, bei Digitalgeräten wirkt es sehr seltsam...

30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

15

Videonorm



Nachteil: Kammefekt bei schnell bewegten Szenen:

- Interlace (Zeilensprung) Verfahren:
 - Flimmerfreies Bild (Frame) durch Abtasten von 2 Halbbildern (Fields)
 - Der Strahl beginnt in der linken oberen Ecke.
 - Nach dem Erreichen des ersten Zeilenendes läuft der dunkelgetastete Strahl zurück an den Beginn der dritten Zeile.
 - Während des Strahlrücklaufs erfolgt der Horizontal Synchronisations-Impuls (*H-Sync*)
 - Auf diese Weise scant der Strahl das erste Halbbild mit allen ungeraden Zeilen.
 - Vertikal Synchronisations-Impuls (*V-Sync*) bewirkt Beginn des nächsten Halbbildes



30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

16

Videonorm

- Probleme:
 - Kammereffekt
 - Geringe Integrationszeit: Pro Pixel 20 ns!
 - Schwierige Problemanpassung
- Lösung:
 - Videonorm-freie Kameras mit Langzeitintegration
 - Progressive Scan Kameras: wirklich zeilenweise Übertragung
 - Nachteil: teurer, da nicht Massenprodukte
- Die neueste Norm ist die HDTV-Norm
 - Japan voraus, USA etwas verzögert, Europa sehr langsam
 - Vorteile:
 - Das Interlace-Verfahren wird durch das Progressive-Scan Verfahren abgelöst
 - Das Seitenformat 16:9
 - Sehr hohe Bildqualität
 - Nachteil:
 - Inkompatibel zu bestehenden Videonormen



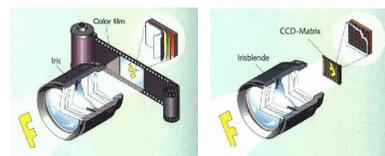
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

17

CCD-Sensor Techniken

- Filmkamera
 - der fotoempfindliche Film wird zum Objektiv bewegt, belichtet und weitertransportiert.
- CCD-Kamera:
 - An die Stelle des Films tritt der CCD - Sensor
- Qualität des Bildsensors ist verantwortlich für möglichst hohe
 - Bildauflösung, Farbtreue, guten Signal- zu- Rauschabstand.
- Die Funktionsweise beruht auf dem *inneren Photoeffekt*
 - Einfallendes Licht erzeugt auf Halbleitermaterial Ladungsträger
 - diese werden getrennt und wie in einem Kondensator gespeichert.
 - Ein verbundener MOS-Transistor funktioniert wie ein Schalter: Ladung wird auf dem Kondensator gesammelt (*integriert*) oder bei Schließen des Schalters abgeführt
 - Die integrierte Ladungsmenge ist proportional zum Lichteinfall.



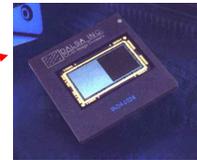
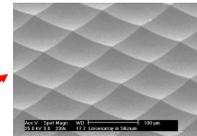
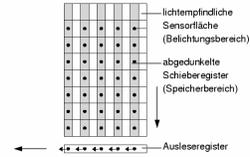
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

18

CCD-Sensor Techniken

- **Interline-Transfer (IT) Sensor**
 - streifenförmig in Belichtungs- und Speicherbereiche unterteilt
- **Der Ladungstransport beim IT-CCD-Sensor:**
 - 1. Schritt: Aufintegrierte Ladungen werden in die abgedunkelten Schieberegister übernommen
 - 2. Schritt: Ladungen werden in das horizontale Ausleseregister übernommen
 - 3. Schritt: Ladungen werden seriell ausgelesen.
- **Reduzierte Lichtempfindlichkeit**
 - aktive, lichtempfindliche Sensorfläche nimmt nur kleinen Teil der Sensorzelle ein.
 - **Lens-on-Chip-Technik:** Mikrolinsen auf einzelnen Sensorzellen lenken Licht um, welches auf die Stege und den Speicherbereich fallen würde
- **Weitere CCD-Architekturen:**
 - **Frame-Transfer Sensor**
 - Blockweise Belichtung- und Speicherbereich
 - **Full-Frame Transfer Sensor**
 - Komplette Fläche Belichtungsbereich



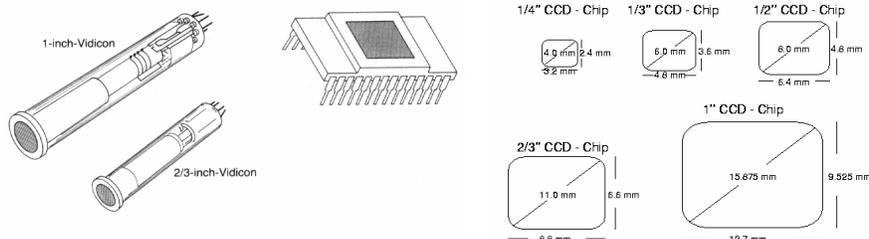
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

19

CCD-Chip Formate

- **CCD-Chips werden in verschiedenen Aufnahmeformaten angeboten.**
 - Chipgrößen von Röhrenkameras übernommen.
 - Typische Durchmesser dieser Röhren sind 1" (Zoll), 2/3" und 1/2"
 - Eine Aufnahmeröhre mit 1" Außendurchmesser (25.4 mm) hatte ein rechteckiges, aktives Fenster mit einer Diagonalen von 16 mm.
 - 1/2" und 1/3"-Chips finden immer mehr Anwendung, vor allem bei Überwachung, Miniaturkameras und bei Home-Videokameras.
 - In der Meßtechnik ist dagegen der 2/3 Zoll-Chip immer noch dominierend und wird es auch noch in absehbarer Zeit bleiben.



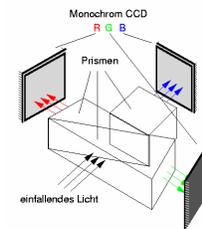
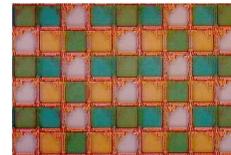
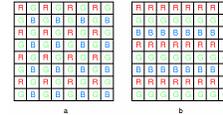
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

20

CCD-Kamera Bautechniken

- Schwarzweiß-Kameras:
 - Einzelner CCD-Chip
- Einchip-Farbkameras
 - Mikro-Streifen oder Mikro-Mosaikfilter auf CCD-Pixeln
 - Reduzierte Auflösung
 - Schwierigere Verarbeitung
- Dreichip - Farbkameras
 - Für jede Primärfarbe einen CCD-Sensor
 - Über vorgeschaltete Prismen wird das Licht in die drei Grundfarben zerlegt und auf den jeweiligen Sensor gelenkt
 - Die drei CCD-Sensoren können dann in verschiedenen Bildspeicherbereichen ausgelesen und getrennt verarbeitet werden.
 - einfache Verarbeitung durch Pixelkorrespondenzen



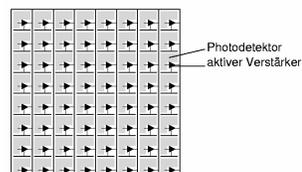
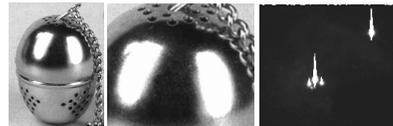
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

21

CMOS-Sensor Techniken

- CCD-Sensoren haben noch **gravierende Nachteile**.
 - Flaschenhals des seriellen Auslesens
 - Kleiner Dynamikbereich
 - Blooming: Überlaufen der Ladungen in benachbarte Pixel
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
 - Herstellung wie Mikrochips
 - Pixel: Photoempfindliche Dioden mit Widerstand in Reihe
 - Statt „Integration“ kontinuierliche Spannungsanpassung
 - Rauschverminderung durch APS (Active Pixel Sensor)



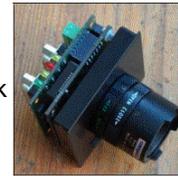
30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

22

CMOS-Sensor Techniken

- Vorteile von CMOS-Kameras
 - Spannung ist Logarithmische Kurve der Intensität
 - Hoher Dynamikbereich: 6 Dekaden statt 2-3
 - Wahlfreier Zugriff
 - Alle Kamera-Funktionen auf einem Chip durch VLSI Technik
 - Niedriger Stromverbrauch: Faktor 100 reduziert zu CCD
 - Niedriger Preis
 - Kein Pixelüberlauf
 - Hohe Datenrate durch parallele Übertragung. Grenze etwa bei 1000 Bildern mit 1 Megapixel pro Sekunde
- Beispiele für hohen Dynamikbereich:



30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

23

Digitalisierung von Bildern

- Digitalisierung
 - bezeichnet die Einschränkung einer kontinuierlichen (analogen) Größe auf eine endliche (diskrete) Menge von Werten
- Ist in zweifacher Form im BV-System realisiert:



1. Digitalisierung des Ortes: **Abtasten**
 - Der CCD-Chip liefert kein Intensitätssignal, welches kontinuierlich im Raum ist, sondern Werte für endlich viele Positionen, den Mittelpunkten der CCD-Pixeln.
 - Dies wird „Rastern“, „Abtasten“, „Sampling“ genannt
2. Digitalisierung der Intensität: **Quantisieren**
 - Der A/D-Wandler liefert keine kontinuierlichen Intensitätswerte pro Pixel, sondern eine endliche Menge von Graustufen
 - Dies wird „Quantisierung“ genannt, der Extremfall ist „Binarisierung“ bei lediglich zwei Intensitätswerten

30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

24

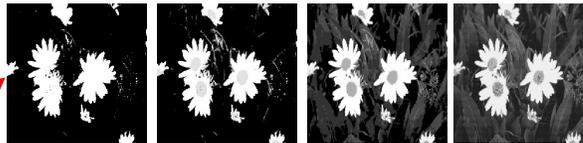
Digitalisierung von Bildern

- Quantisierung

- Beispiel
400x400
Pixel Bild



Grauwert-Quantisierung mit 1,3,4,6 Bit:



Quantisierung mit 1,2,3,4 Bit pro RGB-Farbkanal:



60000 120000 180000 240000 Byte

- Der Mensch ist nicht sehr empfindlich für grobe Quantisierung
- Auflösung ist im wesentlichen durch den Speicher begrenzt
- Typische Auflösungen sind 24 Bit (8 Bit pro Farbe) pro Pixel

30.7.2007

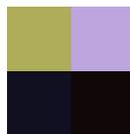
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

25

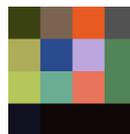
Digitalisierung von Bildern

- Abtastung

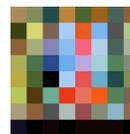
- Beispiel:
Farbbild
24 Bit
pro Pixel



2x2 Pixel
12 Byte



4x4 Pixel
48 Byte



8x8 Pixel
192 Byte



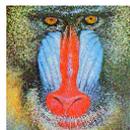
16x16 Pixel
768 Byte



32x32 Pixel
3072 Byte



64x64 Pixel
12288 Byte



128² Pixel
49152 Byte



256² Pixel
196608 Byte



512² Pixel
786432 Byte

- Der Mensch ist relativ empfindlich für Unterabtastung
- Auflösung ist durch den CCD-Chip begrenzt
- Überabtastung verbessert nicht den Bildeindruck
- Speicherbedarf steigt quadratisch mit der Abtastrate (Pixel/Länge)

30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

26

Zusammenfassung

- Eine Bildverarbeitungsanlage besteht aus:
 - einer **Beleuchtungsanlage**
 - einer **Sensoreinheit**, beispielsweise einer CCD –Kamera
 - Einem zugehörigen **Objektiv** (Format größer/gleich Chip)
 - einer **Bildverarbeitungs-karte** bei zeitkritischen Aufgaben
 - **Rechner** zur weiteren Verarbeitung, Weiterleitung der Resultate
 - geeigneter **Peripherie zur Ausgabe** der Ergebnisse
- Alle Komponenten sowie die Optik müssen optimal aneinander und dem Ziel angepasst werden.
- Die Entwicklung geht in Richtung von
 - „Intelligenten Kameras“, die komplette BV-Systeme darstellen
 - BV-Systemen unter Verwendung von **herkömmlichen PCs**
- Beim Digitalisieren von Bildern
 - erfolgt eine **Diskretisierung** in Ort und Intensität
 - Ziel ist, **relevante Information** zu erhalten, aber **Speicher-Verschwendung** zu vermeiden



30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

27

Bild-Referenzen

Die Bilder stammen aus dem WBT/Skript von Frau Prof. Erhardt oder aus den angegebenen bzw. folgenden Quellen (identische bzw. fortgesetzte Nummerierung wie im Skript):

[39] NeuroCheck, http://www.neurocheck.com/index_e.html

[40] Staatliche Bibliothek von Queensland, <http://map.slg.qld.gov.au/map-construction.mpg>

[41] Wikipedia

- http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Gluehlampe_01_KMJ.jpg,
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Leuchtstofflampen-ghtaube050409.jpg/800px-Leuchtstofflampen-ghtaube050409.jpg>
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Ledmrp.jpg>

[42] Polytec GmbH, <http://www.polytec.com>

[43] Schott-Fostec GmbH, <http://www.us.schott.com/fiberoptics/english/>

[44] <http://www.baertierchen.de/okt2004.html>

[45] AG Keramik, D. Edelhoff, <http://www.ag-keramik.de/news20edelhoff.htm>

[46] O. Ronneberger, E. Schultz, and H. Burkhardt. Automated Pollen Recognition using 3D Volume Images from Fluorescence Microscopy. *Aerobiologia*, 18, pages 107-115, 2002.

[47] Medical and Scientific Photography, http://msp.rmit.edu.au/Article_03/02b.html

[48] Optronics GmbH, <http://www.optronics.com/>

[49] Prof. Dr. M. Wülker, FH-Offenburg, <http://mv-sirius.m.fh-offenburg.de/wuelker/mwuelker.htm>

30.7.2007

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2007, Einheit 3

28