Digitale Bildverarbeitung
Einheit 3
Das Bildverarbeitungssystem

Lehrauftrag WS 2007/2008

Fachbereich M+I der FH-Offenburg

Dr. Bernard Haasdonk

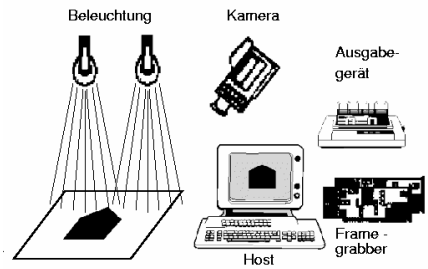
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

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.
  - Quantisierung in Ort und Intensität

Das Bildverarbeitungssystem

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

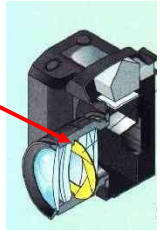


Beleuchtung

- 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
  - Hellfeldbeleuchtung Dunkelfeldbeleuchtung
  - Diffuse Beleuchtung Strukturierte Beleuchtung

Kameraobjektive

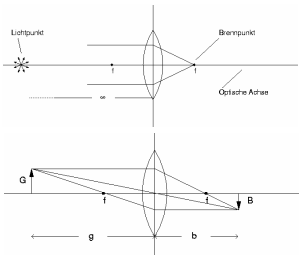
- Ein Kameraobjektiv besteht aus
  - einem Linsensystem und
  - einer oder mehreren Blenden



- 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
  - Der Vergrößerungsfaktor m ist das Verhältnis von Bildhöhe B und Gegenstandshöhe G. Dies ist gleich dem Verhältnis von Bildweite und Gegenstandsweite
  - Die Brechkraft D (Einheit Dioptrie) ist der Kehrwert der Brennweite:
- Näherungsweise Gültigkeit bei dicken Linsen und Linsensystemen



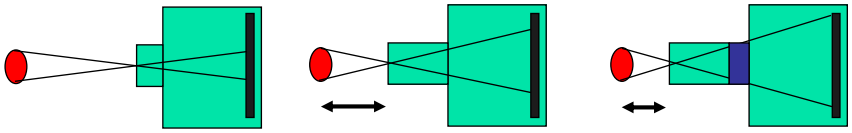
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

$$m = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

$$D = 1/f$$

Optische Grundlagen

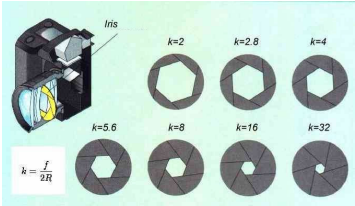
- Die Minimale Objektdistanz MOD
  - Fokussierung bedeutet nichts anderes als die Veränderung des Abstandes zwischen Objektiv und CCD-Chip
  - Offensichtlich sind der Veränderung mechanische Grenzen gesetzt.
  - Gewöhnlich erlaubt ein Objektiv die Fokussierung vom Unendlichen bis zur sogenannten Minimalen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



Große Objektdistanz | MOD | Verkleinerte MOD

Optische Grundlagen

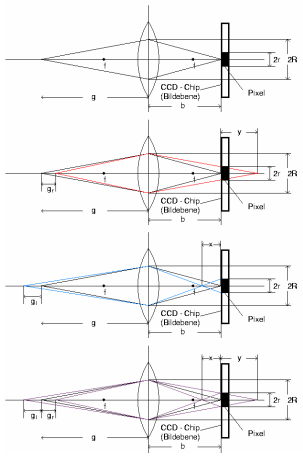
- Die Rolle der Blende
  - Sie legt den Lichteinfall fest.
  - Die auf den Sensor fallende Lichtmenge ist proportional zu Blendenöffnung und Belichtungszeit



- 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, 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.

Optische Grundlagen

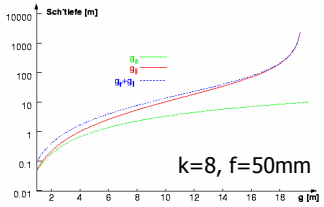


- Die Schärfentiefe
  - Ein Lichtpunkt, der bei g liegt, ergebe ein scharfes Bild
  - Wird der Lichtpunkt um den Betrag gr nach rechts verschoben, so verschiebt sich das Bild um den Betrag y nach rechts.
  - Wird der Lichtpunkt um den Betrag gl nach links verschoben, so verschiebt sich das Bild um den 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 gl und die rechtsseitige Schärfentiefe gr 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.

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

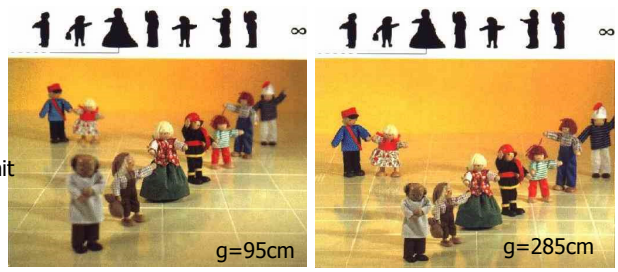
Optische Grundlagen

- 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:



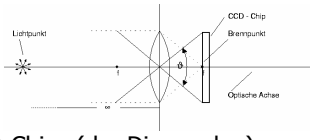
Blendenzahl k=8
Brennweite f=50mm

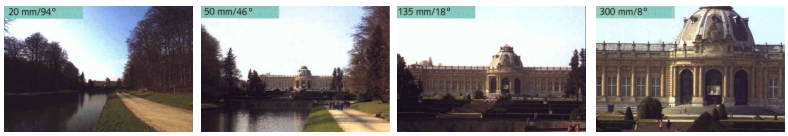
scharf eingestellt wurde das Püppchen mit dem grünen Rock.



Optische Grundlagen

- Der Bildwinkel theta 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 = 70mm)

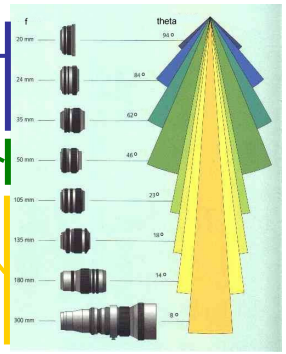
Kleinbildformat theta = 34.4° | 1" CCD Chip theta = 12.9° | 1/2" CCD Chip theta = 6.5° | 1/4" CCD Chip theta = 3.3°

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	15.9	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 °	18 °	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, …

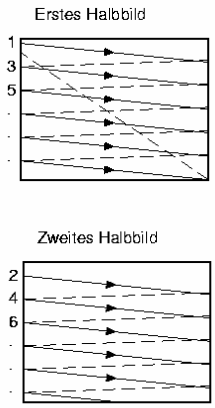
Videonorm

- 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…

Videonorm



- 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

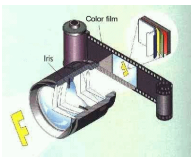
Nachteil: Kammeffekt bei schnell bewegten Szenen:

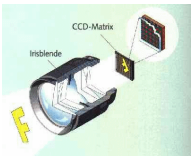
Videonorm

- Probleme:
  - Kammeffekt
  - 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

CCD-Sensor Techniken

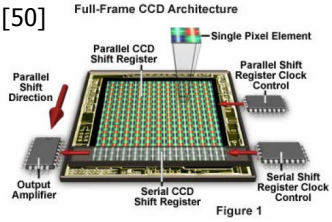
- Filmkamera
  - der fotoempfindliche Film wird zum Objektiv bewegt, belichtet und weitertransportiert.





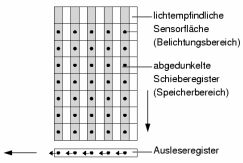
- CCD-Kamera:
  - An die Stelle des Films tritt der CCD - Sensor
- Die Funktionsweise:
  - Einfallendes Licht erzeugt auf Halbleitermaterial Ladungsträger (innerer Photoeffekt)
  - Ladung wird wie in einem Kondensator gesammelt (*integriert*)
  - Ladungsmenge ist proportional zum Lichteinfall.
  - Ladung-Spannung-Wandlung am Ausgang des Chips

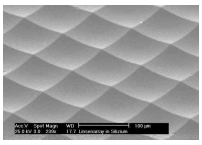
[50]

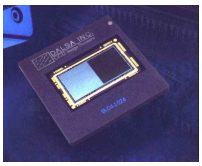


CCD-Sensor Techniken

- 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

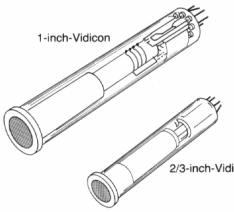


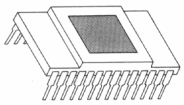


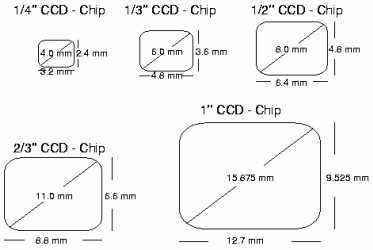


CCD-Chip Formate

- CCD-Chips werden in verschiedenen Aufnahmeformaten angeboten.
  - Chipgrößen von Röhrenkameras übernommen.
  - Typische Durchmesser dieser Röhren sind 1" (Zoll), 2/3" und ½"
  - Eine Aufnahmeröhre mit 1" Außendurchmesser (25.4 mm) hatte ein rechteckiges, aktives Fenster mit einer Diagonalen von 16 mm.
  - ½" 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.

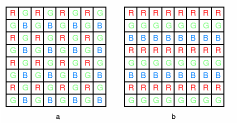


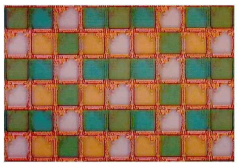


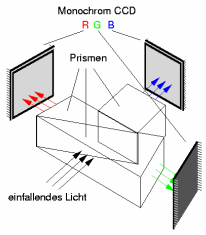


CCD-Kamera Bautechniken

- 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

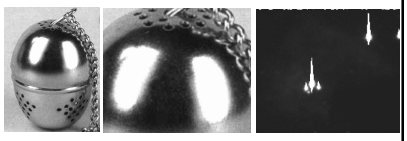




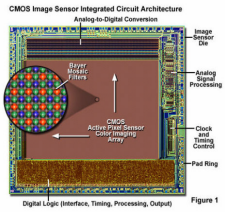


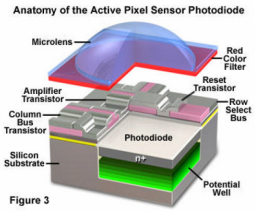
CMOS-Sensor Techniken

- 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, Steuerelektronik inklusive
  - Pixel: Photoempfindliche Dioden mit Widerstand in Reihe
  - Pixelweise Ladung-Spannung-Wandlung: APS (Active Pixel Sensor)

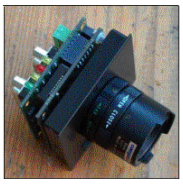




[50]

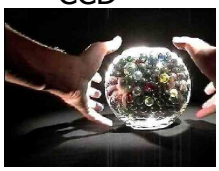
CMOS-Sensor Techniken

- Vorteile von CMOS-Kameras
  - 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

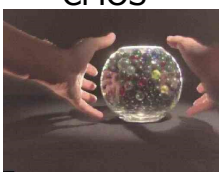


- Beispiele für hohen Dynamikbereich:

CCD



CMOS



Digitalisierung von Bildern

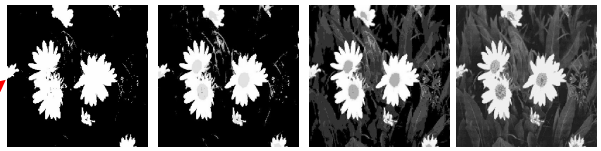
- Digitalisierung
  - bezeichnet die Einschränkung einer kontinuierlichen (analogen) Größe auf eine endliche (diskrete) Menge von Werten
- Ist in zweifacher Form im BV-System realisiert:

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

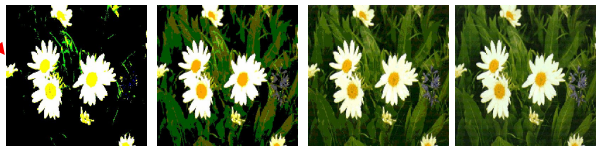
Digitalisierung von Bildern

- Quantisierung
  - Beispiel 400x400 Pixel Bild

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



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

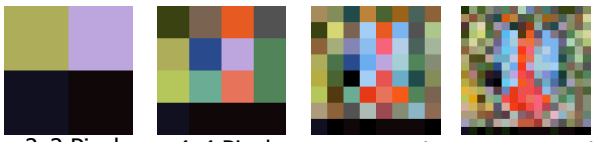


60000 120000 180000 240000 Byte

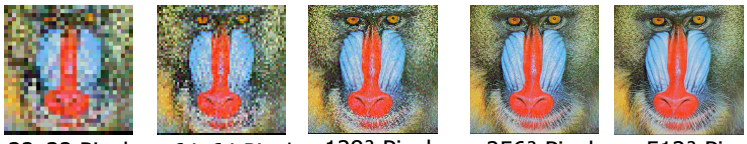
- Der Mensch ist nicht sehr empfindlich für grobe Quantisierung
- Auflösung ist im wesentlichen durch den Speicher begrenzt
- Typische Auflösungen sind 24 Bit (8 Bit pro Farbe) pro Pixel

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)

Zusammenfassung

- Eine Bildverarbeitungsanlage besteht aus:
  - einer Beleuchtungsanlage
  - einer Sensoreinheit, beispielsweise einer CCD –Kamera
  - Einem zugehörigen Objektiv (Format größer/gleich Chip)
  - einer Bildverarbeitungskarte 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

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.slq.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-chtaube050409.jpg/800px-Leuchtstofflampen-chtaube050409.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

[50] http://www2.informatik.hu-berlin.de/~goehring/papers/ccd-vs-cmos.pdf