Einleitung

1921: Erste Übertragung eines gerasterten Bildes in ca.3 h N.York ⇨ London (Fernschreiber mit Typen-Aufsätzen)

Hierzu später (Rechner-Kontext): **das** (seltener: der) **Pixel** – aus „picture element“, eher: „pic cell“, dt.: Bildpunkt

Pixel-Grafiken als (Hilfs-)Mittel, zunehmend als Ergebnis techn.-wiss. Tätigkeit: Bild-Markierung ⇨ ... ⇨ Kartographie

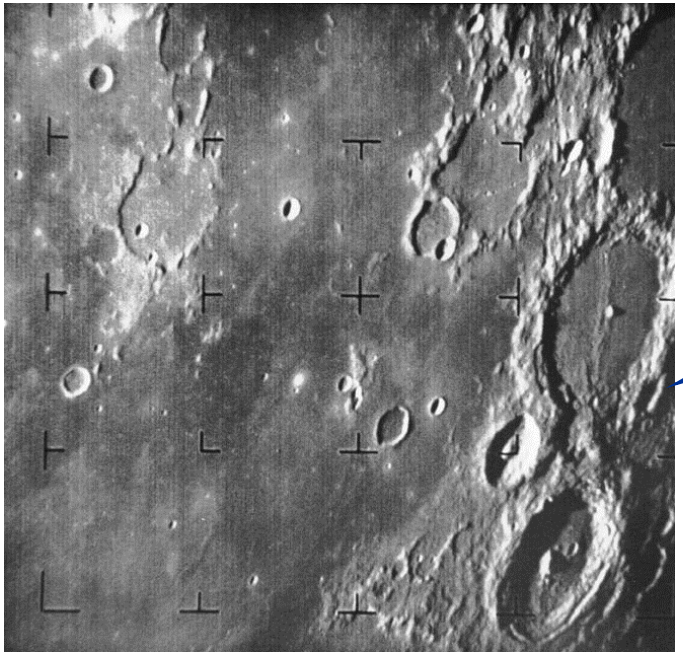
Bild-Retusche ⇨ ... ⇨ Zeichentrick ⇨ ... ⇨ Simulation / VR

Allen Anwendungen gemeinsam: Abb. in Rastern (Matrizen)

Begriff aus TV-Technik: Scan Conversion („Abtastumwandlg“)

Einleitung

- Ende 1950er / Anfang 1960er: Bildcodierung/-darstellung mit Computer; Auftrieb durch NASA
- Ab 1964: Empfang (gestörter TV-) Bilder von Raumsonden



Erstes jemals empfangenes Mond-(TV-)Bild (1964, Ranger 7)

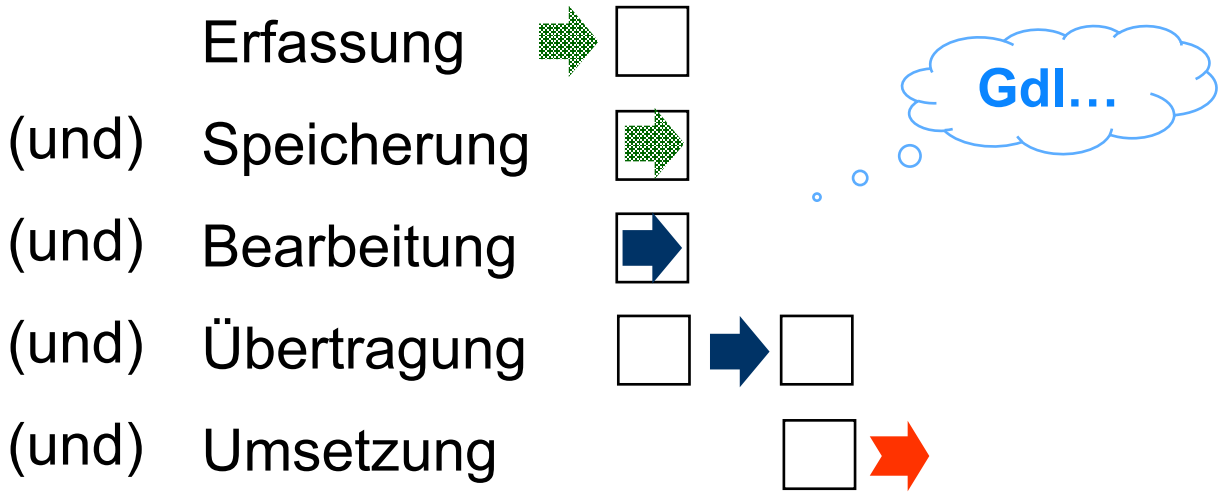
Bild: „Digital Image Processing“ Prentice Hall 2008

- Bedarf an Methoden zum genauen, reproduzierbaren, schnellen, massenhaften „Umgang“ mit Bildern (geometr./ radiometrische Korrekturen, Merkmalsextraktion etc.)

Einleitung

Bildverarbeitung (BV): Gebiet der **Datenverarbeitung** (DV), das sich mit visuellen (sichtbaren, bildhaften) Daten befaßt

Datenverarbeitung ist die Tätigkeit u. das Wissensgebiet der



von **Daten** zum Zwecke der **Information**sgewinnung.

Daten sind Angaben, die etwas kennzeichnen.

Information sind Daten, die in Entscheidungen einfließen.

BV wird oft auch als Oberbegriff zu Bildbearbeitung verwendet.

Einleitung

Bearbeiten: etwas behandeln (Möbel mit Politur, Gegner mit Fäusten), sich damit beschäftigen (Antrag), gestalten (Theaterstück für TV), überarbeiten (Manuskript), verändern (elterliche Meinung)

➡ Bearbeitung bedeutet Änderung, Anpassung d. Qualität

Verarbeiten: (etw.) als Material, Ausgangsstoff verwenden und in einem Prozeß zu etw. neuem anderem machen

(Gold zu Schmuck, Fleisch zu Wurst)

➡ Verarbeitung bedeutet Erzeugung einer neuen Qualität

Bearbeitung u. Verarbeitung sind zweckgerichtete Prozesse

(vgl. „Bug vs. Feature“)

Einleitung

Terminologische Unterscheidung:

Bild-analyse

- **Bildbearbeitung:** Gezielte Merkmalsveränderung, Bild-Manipulation /-Retusche (engl. *Image Editing*) oder Bild-Verbesserung (engl. *Image Enhancement*)
- **Bildverarbeitung:** Informationsgewinnung, Extraktion von Eigenschaften, Merkmalen etc. (engl. *Image Processing*)

Bild-synthese

- **Bildgenerierung:** Erzeugung visueller Darstellungen unter Verwendung logisch-mathematischer oder künstlerischer Methoden (engl. *Image Generation, Computer Graphics*)

- Fragestellungen u. Verfahren der Bildanalyse und -synthese großteils gleich, Grenzen unscharf (vgl. Filmtricks)
- Eingangs-/ Ausgangsgröße als Unterscheidungskriterium:

Bottom-up-Prozeß

Bildverarbeitung: Bild ⇨ Beschreibg., Folgerg., ..

Bildbearbeitung: Bild ⇨ „besser geeignetes“ Bild

Top-down-Prozeß

Grafik: Beschreibung ⇨ Bild

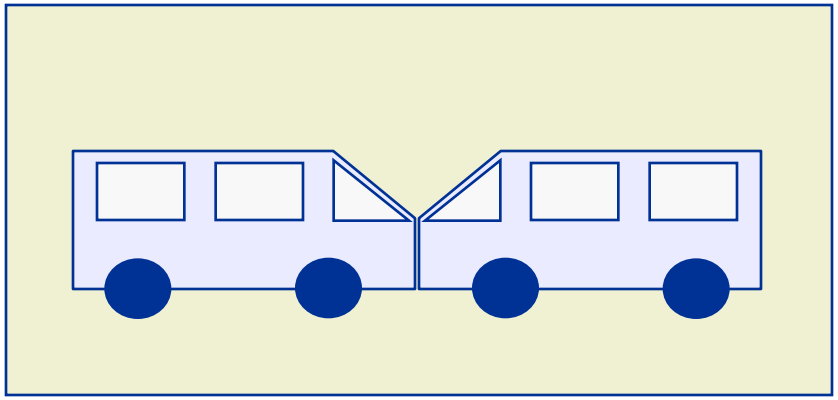
Einleitung

Wichtige Teilgebiete der Bildverarbeitung:

- Bildsignalauswertung, -verarbeitung
  z.B. Histogramm, Ermittlung globaler Helligkeits-/Farbparameter
- Bildverbesserung (engl. *enhancement*, oft: Vorverarbeitg)
  z.B. Anpassung von Helligkeit, Farbe, Konturschärfe
- Bildfilterung, -restaurierung (radiometrische Transform.)
  z.B. Entfernung von Rauschen, Unschärfe, Gamma-Korrektur
- Bildentzerrung (geometrische Transformation)
  z.B. Satellitenbild-Auswertung, Photogrammetrie, Kartographie
- Wissensbasierte Bildverarbeitung, Bildfolgenverarbeitung
  z.B. Segmentierung, Barcode-/QR-Code-Auswertung, OCR
- Bildanalyse
  z.B. Gewebeprobe-Untersuchung, thermische Zielerkennung

Einleitung

Inzwischen eigenständiges Teilgebiet der KünstI. Intelligenz:
Wissensbasiertes Bildverstehen, Szenenanalyse:



… dennoch für diesen Kurs weiterführend

„Niedere“ Bildverarbeitung / Mustererkennung:

1 Dreieck
2 Rechtecke
2 Kreise
1 Fünfeck

} 2x

Höhere Bildverarbeitung / Bildverstehen:

Kollision zweier Kleinbusse

Einleitung

Zwei Probleme seit den Anfängen der digit. Bildverarbeitung:

- Verfügbare Technik (TV) analog
- Benötigter Datenfluß enorm – z.B.:

  Digitalisierung der 625 Zeilen eines monochromen TV-Bildes (PAL) mit Seitenverhältnis 4:3 bedeutet:

  625 Zeilen • 4 Spalten / 3 Zeilen = 833,33… Spalten

  625 Zeilen • 834 Pixel/Zeile = 521.250 Pixel

  Übertragung von 50 Halbbildern/sec (interlaced) mit 256 Graustufen heißt:

  521.250 Pixel/Bild • 1 Byte/Pixel • 25 (Voll-)Bilder/sec

  = 13.031.250 Byte/sec ≈ 12,4 MB/sec (für schwarz-weiß)

  [Zum Vergleich:

  Datenübertragungsrate Video-DVD: ca. 0,75 MB/sec]

Lösung: Kompression

Einleitung

Teurer Lösungsansatz (z.T. noch aktuell): „Bildspeicher“ aus:

- Analog/Digital-Wandler zur Digitalisierung des Video-Signals
- (Digitalem) Speicher für das Bild
- D/A-Wandler zur Anpassung an den Monitor

Einführung des PC durch IBM (1980er) führte zu Standardisierung und Modularisierung (Wettbewerb) ⇨ Preisverfall, Massenmarkt ⇨ Steckkarte „Frame Grabber“ (nicht standardisiert)

⇨ Herstellerspezifische Hw-nahe Programme (Treiber) nötig

Verwendung von CCD-Chips in Kameras (Charge-coupled Device, späte 1980er) lieferte digitales Bild – darauf :

- D/A-Umsetzung in der Kamera (zur Anpassung an TV)
- A/D-Umsetzung des Video-Signals im Frame Grabber
- (Digitaler) Speicher für das Bild
- D/A-Umsetzung zur Anpassung an den Monitor

Einleitung

Situation (auch nach 2000):

- Zeit- / Qualitätsverluste zur Laufzeit
- Abhängigkeit von Hersteller-Treibern in der Sw-Entwicklg

Maßnahmen (Ende 1990er):

1. Entwicklung von Kameras mit digitalem Ausgang
   ⇨ Auslassung der D/A- und der A/D-Umsetzung – aber: Notwendigkeit eines sog. „Digital Frame Grabber“: Digitales Ausgangssignal nicht standardisiert
2. Entwicklung des Busses „IEEE 1394“ („FireWire“)
   ⇨ Kameras und PCs mit IEEE 1394-Schnittstelle – aber: Protokoll zum Datenaustausch nicht spezifiziert
3. Entwicklung d.DCAM-Protokolls (Sony, Hamamatsu, IIDC)
   ⇨ „DCAM-Treiber“: herstellerunabhängig, BS-spezifisch (DECAM für Linux, für Windows etc.)

Einleitung

Verbleibender Bedarf: API zur Kommunikation der Applikation mit der bildgebenden Hw über d. Betriebssystem

Häufige API-Wahl: **DirectX**

Vorteile: Verbreitung • ständige Aktualisierung • Nähe zum „Consumer Market“

Nachteil: Abhängigkeit v. Microsoft (Verfügbarkeit, Notation)

API-Wahl hier: **OpenGL**

Vorteile: Verbreitung • ständige Aktualisierung • BS-Unabhängigkeit • Nutzung mit allen verbreiteten BSen (inkl. embedded), wo OpenGL installiert ist • Kombination mit Grafik • Nähe zu Open Source (s.u.)

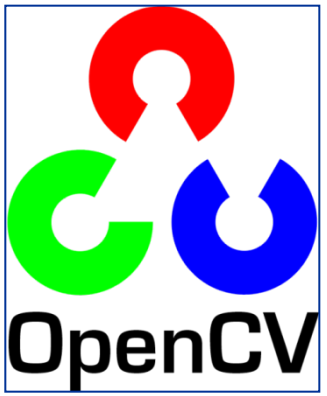
Nachteile: ?

Einleitung

OpenCV (Open Computer Vision):

- Open-Source-Programmbibliothek mit Hunderten von Algorithmen (je nach Zählung: > 500 … ≤ 2.500 Funktionen) für Windows, Linux, Mac OS X, Android u.a..
- 1999: Forschungsprojekt von Intel-Rußland z.B. für
  - Verarbeitung von Satellitenfotos,
  - Filterung medizinisch-diagnostischer Aufnahmen,
  - Aufbau von Überwachungssystemen,
  - Qualitätskontrolle industrieller Produktion,
  - Steuerung unbemannter Fahr- / Flugzeuge und U-Boote,
  - Bild- und Stimmen-Wiedererkennung.
- 2006: Version 1.0 in C, danach auch C++

  2008: Beteiligung v. Willow Garage Inc. (CA, USA)
- Bezug: http://opencv.org (Version 05/2016: 2.4.13)



Codierungsaspekte

Bilder werden i.a. als indizierte Variablen (Arrays) dargestellt.

Sie werden typischerweise eindimensional codiert.

Hintergrund:

Matrizen-Deklaration darf max. 1. Index (v.li.) offen lassen:

```
unsigned char matrix[][COL]; //feste Breite
```

Größere Flexibilität mit eindimensionalen Feldern:

```
unsigned char *image;  /*Speicher zuweisen!*/
int jx, jy, jz;        /*(…)*/
/*Graukeil mit 256 Stufen:*/
for(jy=0; jy<HEIGHT; jy++)//image[jz][jy][jx]
  for(jx=0; jx<WIDTH; jx++)
    for(jz=0; jz<CMPNTS; jz++)
      image[jy*WIDTH*CMPNTS + jx*CMPNTS + jz]
           =(255*jx)/(WIDTH-1);
```

```
#define HEIGHT 1080
#define WIDTH  1920
#define CMPNTS    4
```

Codierungsaspekte

- Pixel- / Farbcodierung ab einem Bit (Strichzeichnungen):
  „Bitmap“ (OpenGL- / SGI-Terminus)
  Bildtechnik heute (TV, Monitore, Handys) Rot, Grün, Blau
- Befriedigende Grau-/Farbtondarstellung benötigt i.d.R.
  ca. 6 Bit (64 Abstufungen) – nach erfolgter Adaptation
  (⇔ Tunnelfahrt, NASA-Simulation Erdumkreisung)
  meist (je Farbkomponente): 8 Bit; selten: 16 Bit
- Grauwert- / Farbcodierung in Bild u. Grafik gemeinsam,
  oft mit Transparenz-Komponente „Alpha“: RGBA
  Gebräuchliche Datentypen zur Grauwert- / Farbcodierung:

Anpassung an Licht-verhältnisse

⇨ **`unsigned char`** bzw. **`char`** (8 Bit: monochrom, LUT)
⇨ **`unsigned int`** (16 o. 32 Bit: RGB, RGBA)
`unsigned long int` (32 Bit: RGBA)
`unsigned long long int` (64 Bit: RGBA)

Codierungsaspekte

RGBA-Farbspeicherung am PC: 4 Byte (2^{31}…2^0), d.h.:

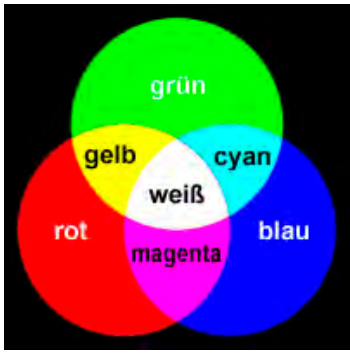
4.294.967.295 (= $2^{32} - 1$): weiß (opak, d.h.: deckend)

16.777.215 (= $2^{24} - 1$): weiß (evtl. transparent); darin:

Byte[3]: Alpha; Byte[2]: Blau; Byte[1]: Grün; Byte[0]: Rot

⇨ **ABGR !**

additive Farbmischung



Beispiele: Farben bei voller Helligkeit und Sättigung

255	$= 2^8 - 1$	: rot
65.535	$= 2^{16} - 1$	: rot + grün = gelb
65.280	$= 2^{16} - 1 - (2^8 - 1)$	: gelb – rot = grün
16.776.960	$= 2^{24} - 1 - (2^8 - 1)$	: weiß – rot = cyan
16.711.680	$= 2^{24} - 1 - (2^{16} - 1)$	: weiß – gelb = blau
16.711.935	$= 2^{24} - 1 - [(2^{16} - 1) - (2^8 - 1)]$	: weiß – grün = magenta

Pixel-Codierung als ganze Zahl: Farbwert-Operationen mit bitweiser Verschiebung (Shift) / VerUNDung / VerODERung

Beispiel:

RGB-Codierung eines Pixels mit [R, G, B] = **[196, 139, 72]** deckend (opak) durch Veroderung der Farbkomponenten, Abfrage der Pixel-Farbanteile durch VerUNDung, wobei:

RGB ([196, 139, 72])

$$= 196 \cdot 2^0 + 139 \cdot 2^8 + 72 \cdot 2^{16} = 4.282.944.452$$

Übung

```
unsigned int  rgb;
unsigned char r, g, b;
rgb = 196 | 139<<8 | 72<<16 | (((1<<8)-1)<<24);
r   =  rgb & (( 1<< 8)-1);
g   = (rgb & (((1<<16)-1) - ((1<<8)-1)))  >>  8;
b   = (rgb & (((1<<24)-1) - ((1<<16)-1))) >> 16;
```

Codierungsaspekte

Anschaulichere Vorgehensweise:

Gleichsetzung des Speichers einer **`int`**-Variablen und eines vier-Elemente-großen **`char`**-Feldes, das elementweise mit [R, G, B, A] gesetzt wird.

Beispiel:

RGBA-Codierung eines Pixels mit [R, G, B] = **[196, 139, 72]** deckend (opak):

Übung

```
enum {R, G, B, A};
unsigned int   rgb=0;
unsigned char *pixel=(unsigned char *) &rgb;
pixel[R]=196;  pixel[G]=139;
pixel[B]=72;   pixel[A]=255;
```

Allgemeine Datenstruktur zur universellen Bildcodierung:

Grundsätzlich als Zeiger: Größen, die zur Compilierungszeit nicht bekannt sein können

```
#define LENGTH  80
typedef char  String[LENGTH];

typedef struct
{ String         Name;   //Bildname

  int            Width;  //Pixel je Bildzeile
  int            Height; //Anzahl Bildzeilen

  int            Cmpnts; //Byte je Pixel;s/w:1;RGB:3
  int            Format; //Kennzahl:GL_RGB etc.

  unsigned int *Data;    //Bilddaten
} DIPimg;
```

Zusammenfassung von vier Ein-Byte-Objekten (RGBA)

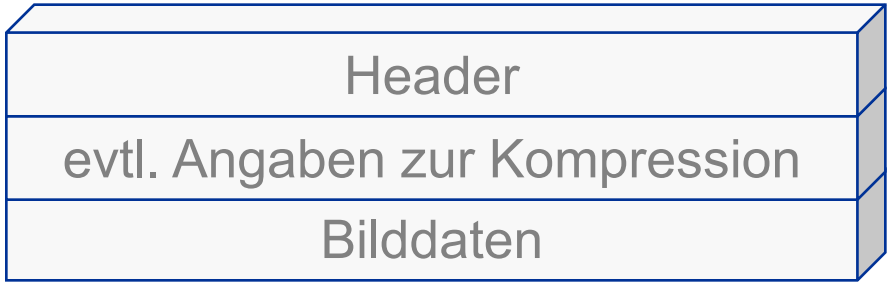
Bildcodierung und -speicherung

Grundvoraussetzung für die Bildverarbeitung:

- Bilder laden aus / speichern in Bilddateien

  Laden von Bildern durch Reservierung (*allocation*) von Speicherplatz zur Laufzeit
- Individuelle, unbekannte Bildmerkmale (Größe, Format etc.) werden im zuerst geladenen Dateibereich (Header) abgelegt, damit ein Bild korrekt geladen werden kann.

⇨ Allgemeiner Aufbau einer Bilddatei:



Bildcodierung und -speicherung

Bestandteile eines universellen Bild-Headers (SGI)

2 Byte	`short`	Kontrollzahl: 474_{10} („*IRIS image file magic number*“)
1 Byte	`char`	Speicherformat (0: ohne Kompression)
1 Byte	**`char`**	**Byte je Farbkomponente** („*bytes per pixel channel*“)
2 Byte	`ushort`	1-zeilig (Graukeil) / s/w / Farbbild („*dimension*“)
2 Byte	**`ushort`**	**Bildbreite in Pixel**
2 Byte	**`ushort`**	**Bildhöhe in Pixel**
2 Byte	**`ushort`**	**Anzahl Farbkomponenten („*channels*“)**
4 Byte	`long`	Niedrigster Pixelwert (i.d.R.: 0)
4 Byte	`long`	Höchster Pixelwert (i.d.R.: 255)
4 Byte	`char`	Platzhalter („*dummy*“ – wird übergangen)
80 Byte	**`char`**	**Bildname**
4 Byte	`long`	normal / dithered / LUT / „SGI-Colormap“ (i.d.R.: 0)
404 Byte	`char`	Platzhalter („*dummy*“ – wird übergangen)

⇨ **Σ = 512 Byte**

Bildcodierung und -speicherung

- Namenskonventionen von SGI-Bilddateien:

  .bw (schwarz-weiß); ***.rgb*** (Farbe); ***.rgba*** (Farbe, ggf. mit Transparenz); ***.sgi*** (nicht festgelegt, i.d.R. RGB)
- Bild-Ursprung ist immer die untere linke Bild-Ecke. Die erste (geschriebene / gelesene) Zeile (Index 0) ist die unterste Bildzeile.
- Die Bilddaten einer Farbkomponente (Kanals) werden vollständig abgelegt; wenn das Bild mehrere Kanäle hat, werden diese nacheinander gespeichert. Die Kanäle werden pixelweise (mit je 1 oder 2 Byte) abgelegt.
- Beim Laden eines Bildes empfiehlt es sich, die Daten jedes Pixels zu einem Datentyp zusammenzuführen (RGBA: **`unsigned int`**) mit Rot bei Index 0.
- Beim Speichern sind die Farbkomponenten zu trennen und die (SGI-eigene) Byte-Reihenfolge zu beachten.

Bildcodierung und -speicherung

Man beachte d. Unterschied zw. Codierung u. Speicherung:

- Im **Programm-Code** sind die Angaben zu einem Pixel jeweils in einem Datenelement zusammen.

  Üblich: Farbcodierungen mit ≤1 bis 2 Byte / Komponente

  z.B.: **`short`** mit 5 Rot-Bit + 6 Grün-Bit + 5 Blau-Bit

  hier: **`unsigned int`** mit Rot[0], Grün[1], Blau[2], Alpha[3]

- In der **Bild-Datei** liegen die einzelnen Farbkomponenten jeweils vollständig hintereinander.

  Es gibt Farbformate mit 1 – 4 Komponenten

  Bsp.: Grautonbild; Farb-Index (LUT); RGB, RGBA etc.

Beachtlicher Unterschied bei der **Zählung** der Pixel:

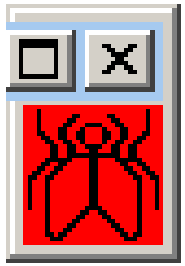
- **Bild**systeme (z.B. OpenCV) zählen ab **oben links**.
- **Grafik**systeme (z.B. OpenGL) zählen ab **unten links**.

Bildcodierung und -speicherung

Beispiel: Bild-Codierung unter OpenGL

```
 unsigned int  fly[] = {
    _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,_,Q,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,Q,_,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,Q,_, Q,Q,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,Q,Q, _,Q,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,_,_, _,Q,Q,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,Q,Q,_, _,_,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,_,_, _,_,Q,Q,_,_,_,_, _,_,_,_,Q,Q,_,_, _,_,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,Q,Q,_,_,_, _,_,_,Q,Q,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,Q,Q,_,_, _,_,Q,Q,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,Q,Q,_, _,Q,Q,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,_,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,Q,Q, Q,Q,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,_,
    _,Q,Q,_,_,Q,Q,_, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, _,Q,Q,_,_,Q,Q,_,
    _,_,Q,Q,_,_,Q,Q, _,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,_, Q,Q,_,_,Q,Q,_,_,
    _,_,_,Q,Q,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,Q,Q,_,_,_,
    _,_,_,_,Q,Q,_,_, Q,Q,_,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,_,Q,Q, _,_,Q,Q,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,Q,Q, Q,Q,Q,_,_,_,_,Q, Q,_,_,_,_,Q,Q,Q, Q,Q,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,_,Q,Q, _,_,Q,Q,Q,Q,Q,Q, Q,Q,Q,Q,Q,Q,_,_, Q,Q,_,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,_,Q,Q, _,_,Q,Q,_,_,_,Q, Q,_,_,_,Q,Q,_,_, Q,Q,_,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,_,Q,Q, _,_,Q,Q,_,_,Q,Q, Q,Q,_,_,Q,Q,_,_, Q,Q,_,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,_,Q,Q,_, _,Q,Q,_,_,Q,_,_, _,_,Q,_,_,Q,Q,_, _,Q,Q,_,_,_,_,_,
    _,_,_,_,Q,Q,_,_, Q,Q,_,_,Q,Q,_,_, _,_,Q,Q,_,_,Q,Q, _,_,Q,Q,_,_,_,_,
    _,_,_,Q,Q,_,_,_, Q,Q,_,_,Q,Q,_,_, _,_,Q,Q,_,_,Q,Q, _,_,_,Q,Q,_,_,_,
    _,_,_,Q,_,_,_,_, Q,Q,_,_,_,Q,_,_, _,_,Q,_,_,_,Q,Q, _,_,_,_,Q,_,_,_,
    _,_,_,Q,_,_,_,_, _,Q,Q,_,_,_,Q,Q, Q,Q,_,_,_,Q,Q,_, _,_,_,_,Q,_,_,_,
    _,_,_,Q,_,_,_,_, _,_,Q,Q,_,_,_,_, _,_,_,_,Q,Q,_,_, _,_,_,_,Q,_,_,_,
    _,_,_,Q,_,_,_,_, _,_,_,Q,Q,_,_,_, _,_,_,Q,Q,_,_,_, _,_,_,_,Q,_,_,_,
    _,_,_,Q,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,Q,_,_,_,
    _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_, _,_,_,_,_,_,_,_
};
```

```
#define Q    0
#define _  255
```

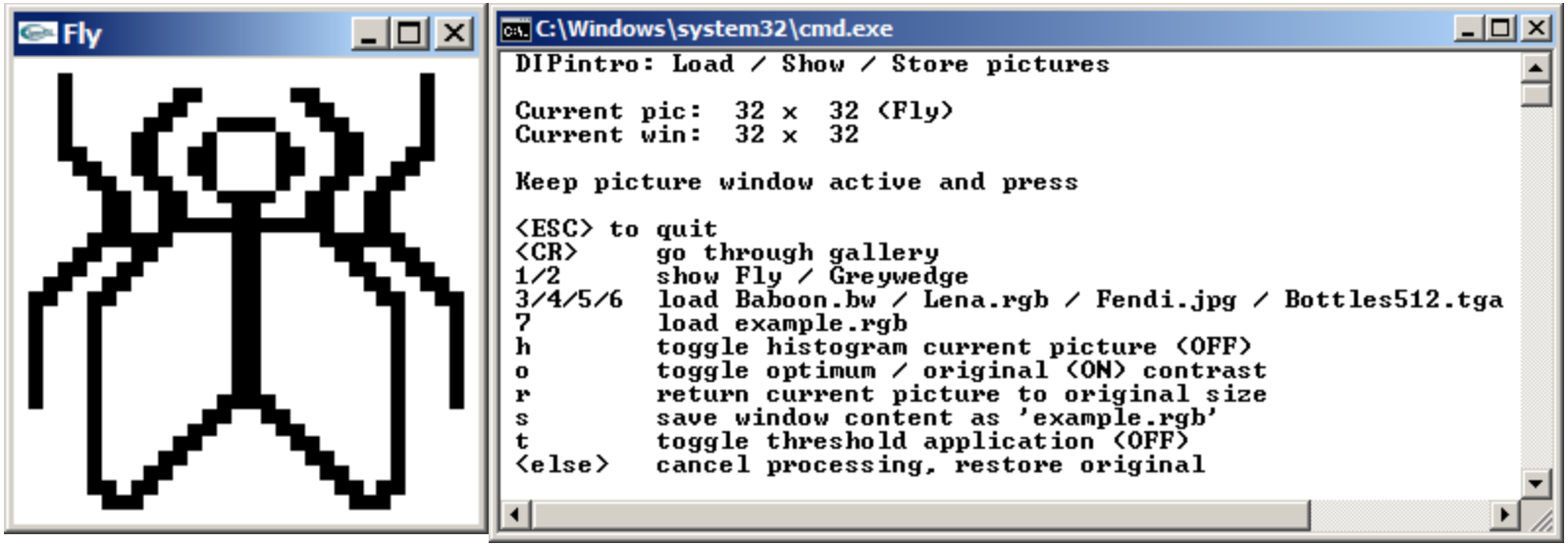


Übung

Übung:

(verwendet neben GLUT- und OpenGL-auch OpenCV-Code)

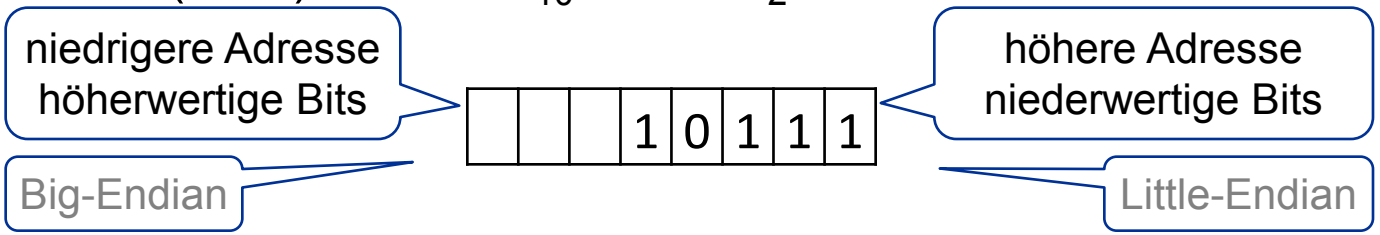
Beginn der Implementierung von **`DIPintro.c`**
(eines einfachen Bildverarbeitungsprogramms)



Codierungsaspekte

Systemübergreifende Nutzbarkeit von Bilddateien erfordert Auseinandersetzung mit Zahlencodierung an Rechnern:

- Ablage der Ziffern in (gräko-romanischer) Schreibweise von links nach rechts belegt jedes Byte mit den höherwertigen (signifikanteren) dualen Ziffern (Bits) an den niedrigeren Adressen (links) – z.B. 23_{10}=1 0111_2:



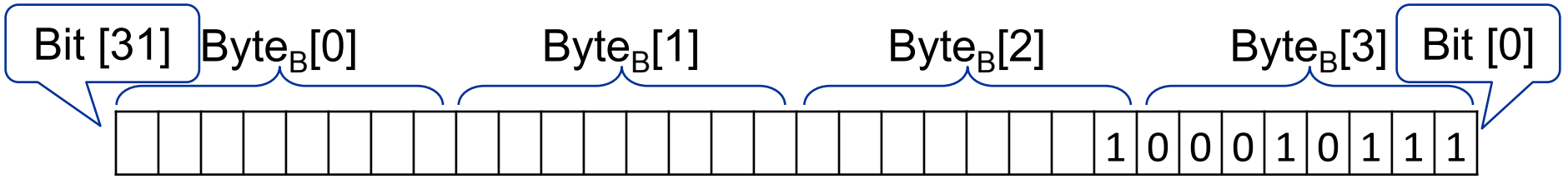
  Da ein Byte i.d.R. die kleinste adressierbare Speicher-Einheit ist, gibt es dafür herstellerübergreifende Kompatibilität.

- Keine einheitlichen Standards gibt es dafür, was bei Mehr-Byte-Darstellungen (z.B.: 4-Byte-`int`) an den **Anfang**, d.h. an die niedrigeren Speicher-Adressen, gesetzt werden soll:
  - **höher**wertige Bytes (mit Most **significant** Bits, MSB): **Big-Endian**
  - **nieder**wertige Bytes (mit Least Significant Bits, LSB): **Little-Endian**

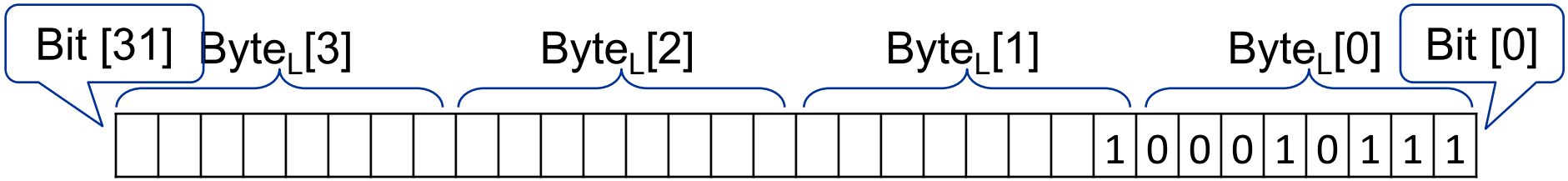
„Endianness“

Codierungsaspekte

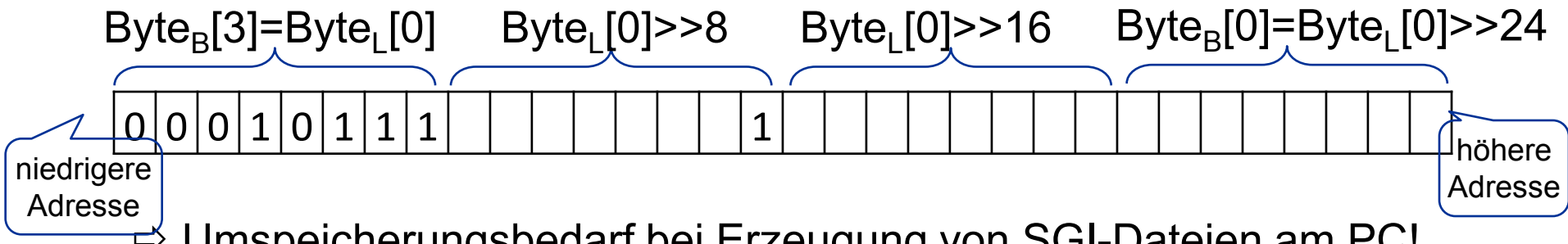
Vier-Byte-Darstellung von 279_{10} = 1 00010111_2 bei Motorola, SGI (Big-Endian) – zugleich physikalische Byte-Anordnung:



Vier-Byte-Darstellung von 279_{10} bei Intel (Little-Endian):



Physikalische Byte-Anordnung bei Little-Endian (z.B. Intel / PC):



⇨ Umspeicherungsbedarf bei Erzeugung von SGI-Dateien am PC!

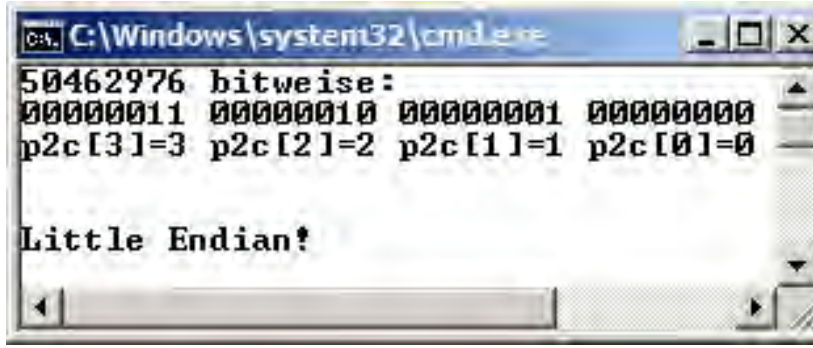
Codierungsaspekte

Auswirkungen der internen Darstellung (Byte-Folge) am Beispiel

$50.462.976_{10}$ = 11 00000010 00000001 00000000_2:

```
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
```

```
int main(void)
{          int   bit=0;
  unsigned int  *p2i, i=50462976;
  unsigned char *p2c, c[]={3,2,1,0, 0,1,2,3};
  printf ("%u bitweise:\n", i);
  for (bit=0; bit<32; bit++)
  { if(i&1<<(31-bit))printf("1");
    else             printf("0");
    if(!((bit+1)%8)) printf(" ");
} printf ("\n");
p2c = (unsigned char *) &i;
printf("p2c[3]=%d p2c[2]=%d p2c[1]=%d p2c[0]=%d\n\n",
        p2c[3], p2c[2], p2c[1], p2c[0]);
p2i = (unsigned int *) c;
if(i==*p2i)     printf ("Big Endian!"); //(i==p2i[0])
if(i==*(p2i+1)) printf ("Little Endian!"); _getch();}
```



PointerCast.c