Automatische Ballerkennung

Manuel Zimmermann,
Sebastian Schütz

8. Juli 2008

1. Vorbereitungen
   - Ziel der Ballerkennung
   - Mögliche Lösungswege
2. Kamera
   - Vorüberlegungen
   - Schrittweise Durchführung
   - Zugriff auf die Kamera
   - Aufbau von Bitmaps
   - Ballkennung
     - Grundlegende Vorgehensweise
     - Eigener Algorithmus
     - Graphische Darstellung
3. Lichtgitter
   - Einführung
4. Vergleich

- Zu ermittelnde Informationen:
  1. Ballmittelpunkt
  2. Richtungsvektor
  3. Geschwindigkeitsvektor
- Richtungs- und Geschwindigkeitsvektor können aus mehreren, aufeinanderfolgenden Ballkoordinaten ermittelt werden
- Die ermittelten Koordinaten so schnell wie möglich liefern
- So viele Koordinaten wie möglich pro Sekunde liefern

- **Hochgeschwindigkeitskamera**
  MC1302 der Firma Mikrotron (sw)
- **Lichtgitter**
  FCDM082 der Firma Baumer (0,25cm Abstand)
- **Wiimote**
  Fernbedienung der Spielekonsole Wii (Infrarotkamera)

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps
- Von wo wird das Bild aufgenommen?
  Von unten, Störung von oben durch Figuren und Spieler

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps
- Von wo wird das Bild aufgenommen?
  Von unten, Störung von oben durch Figuren und Spieler
- Wie weit muss die Kamera entfernt sein?
  2m bei 12.5mm Brennweite

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps
- Von wo wird das Bild aufgenommen?
  Von unten, Störung von oben durch Figuren und Spieler
- Wie weit muss die Kamera entfernt sein?
  2m bei 12.5mm Brennweite
- Wie stark muss belichtet werden?
  Abhängig von Exposure Time

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps
- Von wo wird das Bild aufgenommen?
  Von unten, Störung von oben durch Figuren und Spieler
- Wie weit muss die Kamera entfernt sein?
  2m bei 12.5mm Brennweite
- Wie stark muss belichtet werden?
  Abhängig von Exposure Time
- Maximale Ballgeschwindigkeit?
  6 m/sec

- Sinnvolle Kameraauflösung?
  640 x 480 px (bzw. genauer 640 x 368 px)
- Welche Bildwiederholrate (fps)?
  100 fps
- Von wo wird das Bild aufgenommen?
  Von unten, Störung von oben durch Figuren und Spieler
- Wie weit muss die Kamera entfernt sein?
  2m bei 12.5mm Brennweite
- Wie stark muss belichtet werden?
  Abhängig von Exposure Time
- Maximale Ballgeschwindigkeit?
  6 m/sec
- Wie lange dauert die Auswertung eines Bildes?
  1/600 sec = 1,7 msec

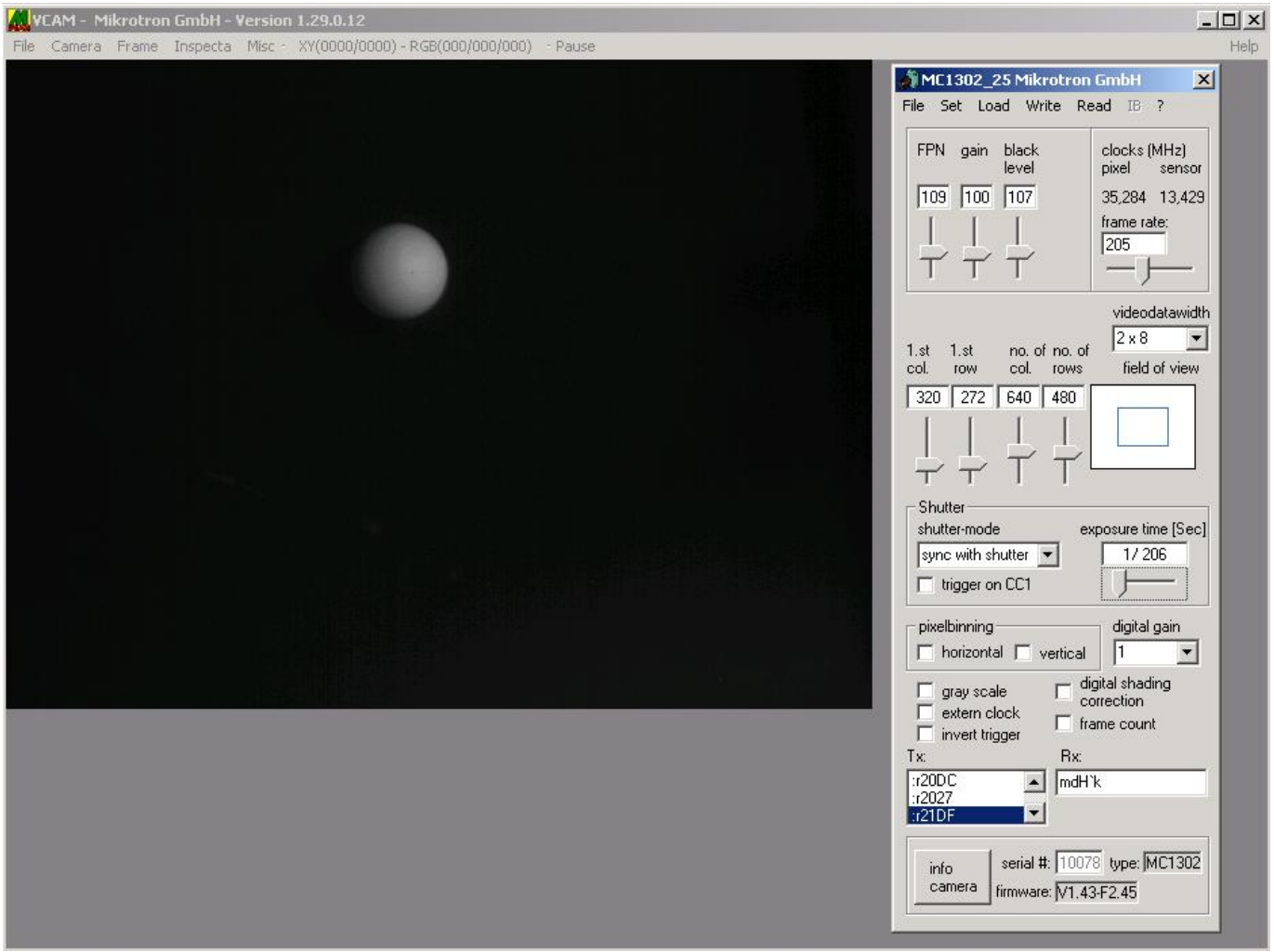
- Größe des Spielfelds: 120 x 69 cm
- Auflösung: 640 x 368 px
- $\rightarrow 5,33 \frac{px}{cm}$
- Durchmesser des Spielballs: 34 mm
- $\rightarrow A_{Ball} = r^2 \cdot \pi = (1,7cm)^2 \cdot \pi = (9)^2 px \cdot \pi = 258px$
- Max Ballbewegung in einem Bild: $v_{max} = \frac{6m}{sec}, exp.time = \frac{1}{206} sec$
- $\frac{6m}{sec} \cdot \frac{1}{206} sec = 2,9cm$
- $\rightarrow 2,9cm \cdot 5,33 \frac{px}{cm} = 15px$ (vgl. Balldurchmesser: 18 px)

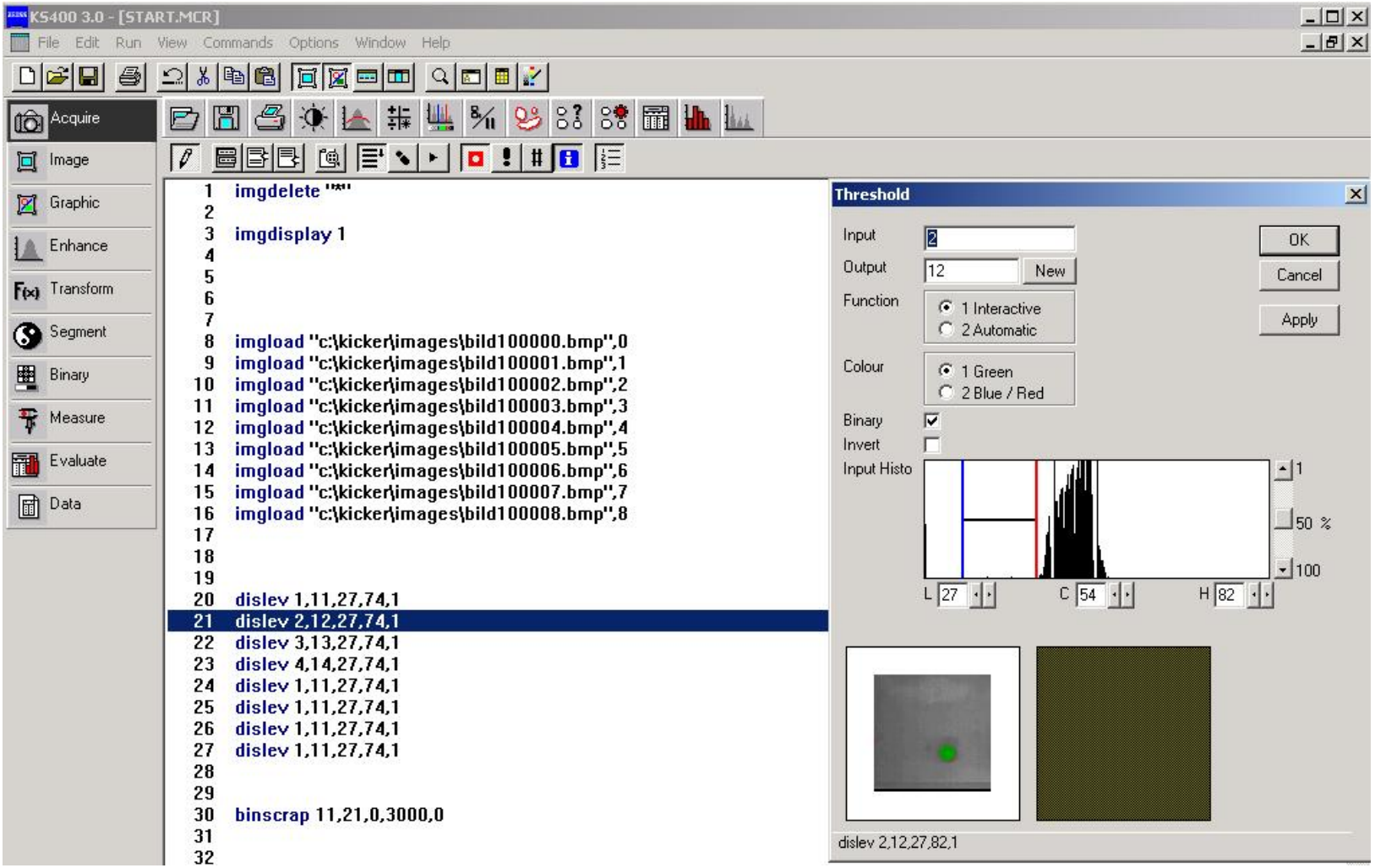
- VCAM von Mikrotron
  Kameraprofil kann geladen werden, Bilder werden angezeigt und können gespeichert werden

- VCAM von Mikrotron
  Kameraprofil kann geladen werden, Bilder werden angezeigt und können gespeichert werden
- Mikrotron camera control tool - MC1302_25 Version 1.2.9
  Das in VCAM geladene Profil kann angepasst werden (fps, exposure time, ...)

- VCAM von Mikrotron
  Kameraprofil kann geladen werden, Bilder werden angezeigt und können gespeichert werden
- Mikrotron camera control tool - MC1302_25 Version 1.2.9
  Das in VCAM geladene Profil kann angepasst werden (fps, exposure time, ...)
- KS400 von Carl Zeiss Vission GmbH
  Bildmittelpunkt von zuvor aufgenommenen bmps ermitteln (Makro)

VCAM


VCAM - Mikrotron GmbH - Version 1.29.0.12
File Camera Frame Inspecta Misc - XY(0000/0000) - RGB(000/000/000) - Pause
Help
MC1302_25 Mikrotron GmbH
File Set Load Write Read IB ?
FPN gain black level
109 100 107
clocks (MHz)
pixel sensor
35,284 13,429
frame rate:
205
videodatawidth
2 x 8
1.st col. 1.st row no. of col. no. of rows
field of view
320 272 640 480
Shutter
shutter-mode
sync with shutter
trigger on CC1
exposure time [Sec]
1/ 206
pixelbinning
horizontal vertical
digital gain
1
gray scale
extern clock
invert trigger
digital shading correction
frame count
Tx:
:r20DC
:r2027
:r21DF
Rx:
mdH`k
info camera
serial #: 10078 type: MC1302
firmware: V1.43-F2.45


KS400 3.0 - [START.MCR]
File Edit Run View Commands Options Window Help
Acquire
Image
Graphic
Enhance
Transform
Segment
Binary
Measure
Evaluate
Data
1 imgdelete "*"
3 imgdisplay 1
8 imgload "c:\kicker\images\bild100000.bmp",0
9 imgload "c:\kicker\images\bild100001.bmp",1
10 imgload "c:\kicker\images\bild100002.bmp",2
11 imgload "c:\kicker\images\bild100003.bmp",3
12 imgload "c:\kicker\images\bild100004.bmp",4
13 imgload "c:\kicker\images\bild100005.bmp",5
14 imgload "c:\kicker\images\bild100006.bmp",6
15 imgload "c:\kicker\images\bild100007.bmp",7
16 imgload "c:\kicker\images\bild100008.bmp",8
20 dislev 1,11,27,74,1
21 dislev 2,12,27,74,1
22 dislev 3,13,27,74,1
23 dislev 4,14,27,74,1
24 dislev 1,11,27,74,1
25 dislev 1,11,27,74,1
26 dislev 1,11,27,74,1
27 dislev 1,11,27,74,1
30 binscrap 11,21,0,3000,0
Threshold
Input 2
Output 12
New
OK
Cancel
Apply
Function
1 Interactive
2 Automatic
Colour
1 Green
2 Blue / Red
Binary
Invert
Input Histo
1
50 %
100
L 27
C 54
H 82
dislev 2,12,27,82,1

Geschwindigkeit

Für die von uns verwendete Auflösung von $640 \cdot 480$ sollte die Kamera eine Geschwindigkeit von 206fps unterstützen. Bei unseren Tests mit VCAM konnte jedoch nur eine maximale Geschwindigkeit von ca. 49fps erzielt werden (mindestens 100fps haben wir uns als Vorgabe gesetzt).

Geschwindigkeit

Für die von uns verwendete Auflösung von $640 \cdot 480$ sollte die Kamera eine Geschwindigkeit von 206fps unterstützen. Bei unseren Tests mit VCAM konnte jedoch nur eine maximale Geschwindigkeit von ca. 49fps erzielt werden (mindestens 100fps haben wir uns als Vorgabe gesetzt).

- evtl. Festplatte zu langsam, RAM Disk könnte Abhilfe schaffen

Geschwindigkeit

Für die von uns verwendete Auflösung von $640 \cdot 480$ sollte die Kamera eine Geschwindigkeit von 206fps unterstützen. Bei unseren Tests mit VCAM konnte jedoch nur eine maximale Geschwindigkeit von ca. 49fps erzielt werden (mindestens 100fps haben wir uns als Vorgabe gesetzt).

- evtl. Festplatte zu langsam, RAM Disk könnte Abhilfe schaffen
- Ramdisk hat die Werte nicht verbessert, evtl. VCAM Schuld

Geschwindigkeit

Für die von uns verwendete Auflösung von $640 \cdot 480$ sollte die Kamera eine Geschwindigkeit von 206fps unterstützen. Bei unseren Tests mit VCAM konnte jedoch nur eine maximale Geschwindigkeit von ca. 49fps erzielt werden (mindestens 100fps haben wir uns als Vorgabe gesetzt).

- evtl. Festplatte zu langsam, RAM Disk könnte Abhilfe schaffen
- Ramdisk hat die Werte nicht verbessert, evtl. VCAM Schuld
- Abhilfe könnte evtl. durch eine eigene Implementierung realisiert werden

Geschwindigkeit

Für die von uns verwendete Auflösung von $640 \cdot 480$ sollte die Kamera eine Geschwindigkeit von 206fps unterstützen. Bei unseren Tests mit VCAM konnte jedoch nur eine maximale Geschwindigkeit von ca. 49fps erzielt werden (mindestens 100fps haben wir uns als Vorgabe gesetzt).

- evtl. Festplatte zu langsam, RAM Disk könnte Abhilfe schaffen
- Ramdisk hat die Werte nicht verbessert, evtl. VCAM Schuld
- Abhilfe könnte evtl. durch eine eigene Implementierung realisiert werden

Eigene Lösung kommt auf 100fps bei eingestellten 206fps, genaue Ursache bleibt jedoch ungeklärt

Kamera

Die von uns verwendete Kamera (MC1302 von Mikrotron) kann mit Hilfe einiger APIs gesteuert werden. Da wir die Konfiguration der Kamera mit den bereits vorhandenen Tools vornehmen können, benötigen wir nur einen kleinen Teil der zur Verfügung stehenden Funktionen.

- LONG WINAPI mvfg_open(char *pcCameraProfile, LONG DeviceNumber)
  Ermöglicht das Laden eines Kameraprofils und initialisiert das entsprechende Gerät
- LONG WINAPI mvfg_getparam(char * pcParamName, void * pValueBuffer, LONG DeviceNumber)
  Liest die momentanen Einstellungen aus der Kamera aus
- LONG WINAPI mvfg_grab(DWORD iCommand, LONG DeviceNumber)
  Startet die Belichtung und ein Bild wird in den internen Bild-Puffer geladen
- void * WINAPI mvfg_getbufptr(LONG DeviceNumber)
  Liefert den Anfang des Puffers zurück, in dem die Bilddaten gespeichert sind
- LONG WINAPI mvfg_close(LONG DeviceNumber)
  Schliesst das zuvor geöffnete Kamera-Handle
- LONG WINAPI mvfg_errmessage(LONG iCode)
  Gibt eine Message-Box mit der Fehlerbeschreibung aus (nützlich zum debuggen)

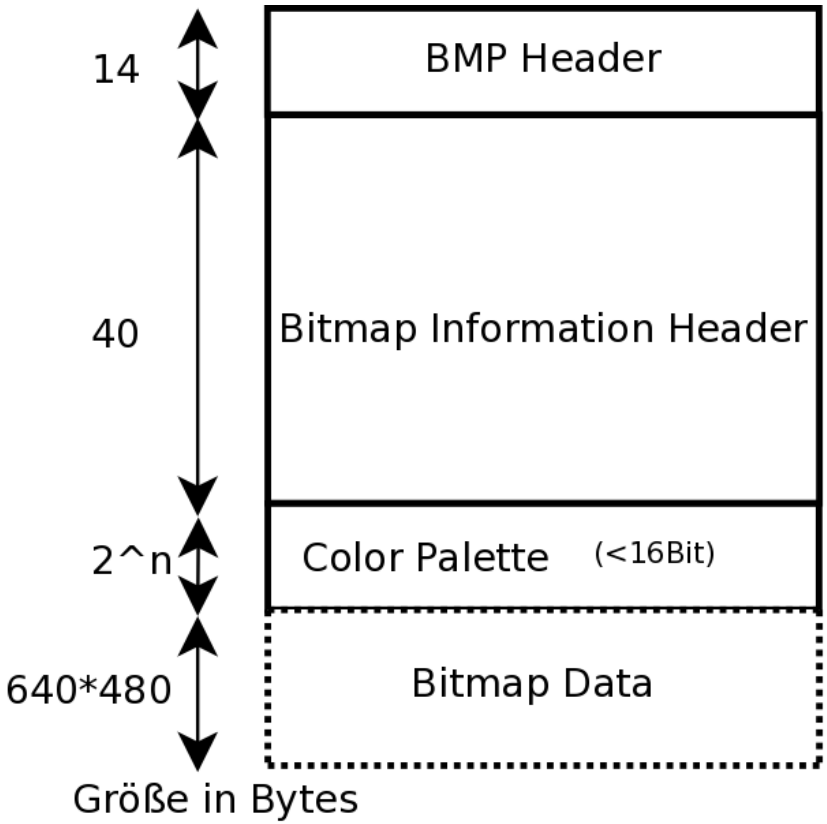
Die Funktionsprototypen befinden sich in *mvfgdrv.h*. Die Funktionen selbst müssen beim Linken mit Hilfe der *mvfgd32.lib* Library eingebunden werden.

Quellcode Ausschnitt

Folgender Code Schnipsel zeigt wie mit Hilfe der APIs ein Bild von der Kamera erfasst werden kann. Im nächsten Schritt müssen die Daten nun in eine Bilddatei gespeichert werden → *Bitmap*.

```
/* open camera with predefined profile, number 0 */
ret = mvfg_open("C:\\PROGRA~1\\MIKROT~1\\Inspecta\\Inspecta-4DC.cam;"
                "MC1310_11_02_03 640x480 206fps", 0);
/* error check */
/* get some camera informations */
ret = mvfg_getparam(MVFGPAR_FORMAT_INFO,&info,0);
/* error check */
wsprintf(buffer, "Pixel breite: %d\nPixel hoehe: %d", info.lImageWidth,
        info.lImageHeight);
MessageBox(NULL, buffer, "Informationen ueber aktuelle Einstellungen", MB_OK);
/* grab picture */
ret = mvfg_grab(GRAB_NOWAIT, 0);
if (ret != MVFG_GRAB_READY) {
    ++err;
} else {
    /* copy picture in our preallocated buffer */
    memcpy(ptr[i], mvfg_getbufptr(0), info.lFrameSize);
}
/* ... */
ret = mvfg_close(0);
```

Allgemeine Struktur eines Bitmaps

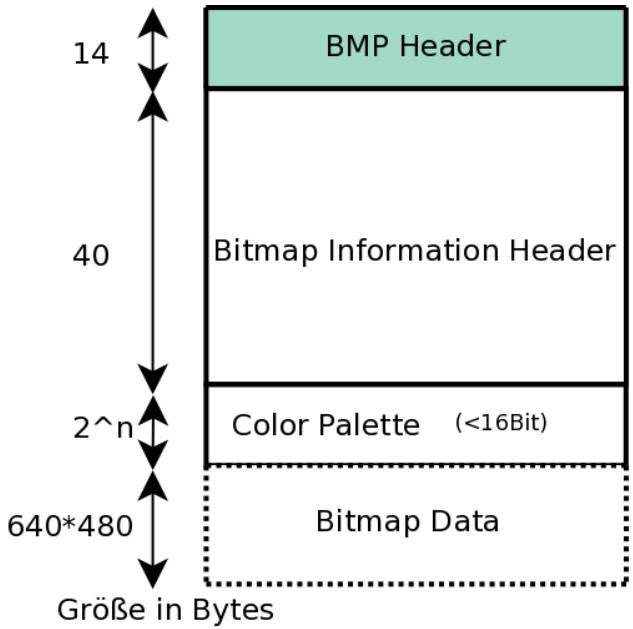


Bitmaps

Bitmaps sind sehr einfach aufgebaut und relativ schnell zu erzeugen. Neben ein paar Zusatzinformationen können direkt die Daten, die von der Kamera geliefert werden, als Bitmap abgespeichert werden. Dadurch, dass wir nur eine geringe Auflösung von 640x480 Pixel benötigen ist die Grösse des Bitmaps ungefähr bei 300kByte (inklusive Zusatzinformationen) und es ist daher nicht notwendig ein anderes Verfahren (evtl. mit Kompression, PNG, JPEG etc.) zu verwenden.

BMP Header

Durch den BMP Header wird festgelegt, dass die folgenden Daten sich auf ein Bitmap beziehen. Entscheidend hierfür ist die *Magic Number* die mit *BM* (in ASCII) angegeben wird. Zusätzlich wird ein *offset* definiert, der angibt wo die Roh-Daten des Bildes beginnen. Der Offset berechnet sich wie folgt:
$2^n \cdot sizeof(bmpRGBQuad_t) + sizeof(bmpInfoHeader_t) + sizeof(bmpFileHeader_t)$
wobei in unserem Fall $n = 8$ gilt.

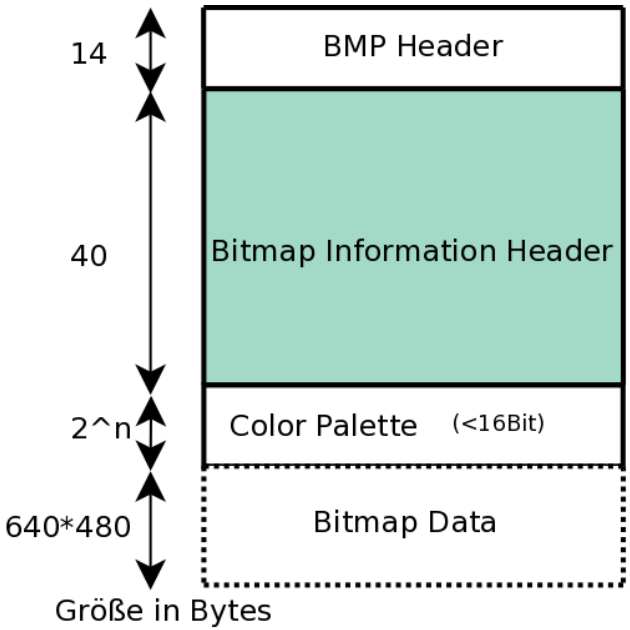


BMP Header

```
typedef struct {
    short type; //Magic Number 'BM'
    unsigned long size; //should be 0
    short res0, res1; //should be 0
    unsigned long offset;//start of data
} bmpFileHeader_t;
```

BMP Information Header

Der Bitmap Information Header gibt Auskunft über die Daten, die sich im Datenteil befinden. Als wichtigste Elemente spezifiziert er die Grösse des Bildes (*width*, *height*) und die Anzahl der verschiedenen Farben die im Bild vorkommen können.

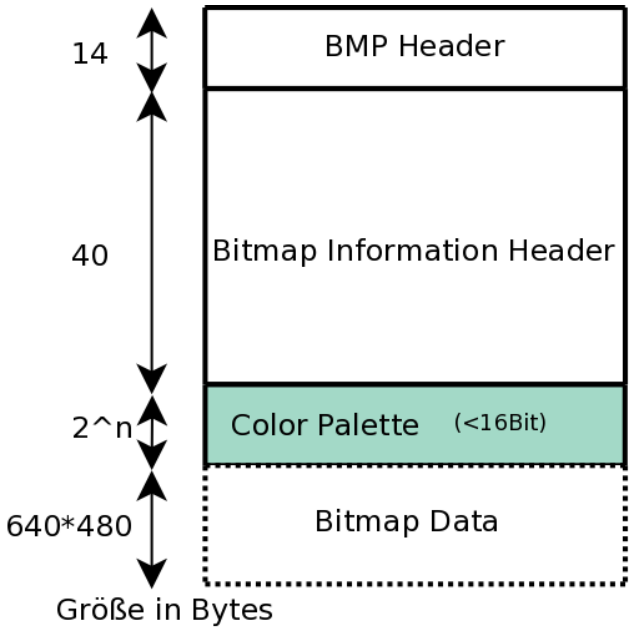


BMP Information Header

```
typedef struct {
    unsigned long size; //sizeof(bmpInfoHeader_t)
    long width, height; //640, 480
    short planes; //color planes, must be set to 1
    short cDepth; //color depth 1,4,8,16,24,32
    unsigned long compression; //set to 0
    unsigned long rawSize; //width * height
    long hRes, vRes; //both set to 0
    unsigned long nrColors;//set to 0 for 2^n
    unsigned long impColors;//set to 0
} bmpInfoHeader_t;
```

Farbpalette

Die Farbpalette wird für Bitmaps mit einer Farbtiefe von weniger als 16Bit benötigt. Es entsteht ein Array von 2^n Einträgen zu je sizeof(bmpRGBQuad_t) Elementen. Der entsprechende Wert der am Pixel x,y steht zeigt in die Farbtabelle und erhält somit den jeweiligen Farbwert.

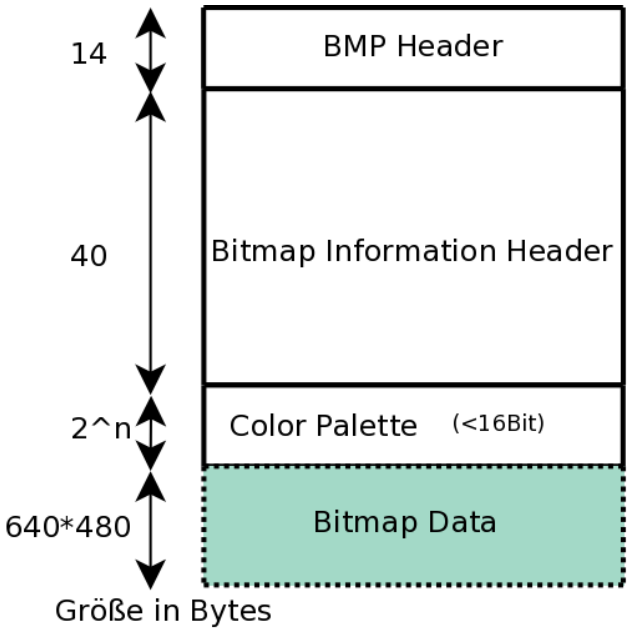


Farbpalette Definition

```
typedef struct {
   unsigned char red; //red value 0..255
   unsigned char green; //green value 0..255
   unsigned char blue; //blue vlaue 0..255
   unsigned char reserved; //not used
} bmpRGBQuad_t;
```

Bitmap Daten

Die Bitmap Daten sind Pixel für Pixel in einem Buffer abgelegt. Da wir mit einer Farbtiefe von 8Bit arbeiten entspricht jeder Array-Eintrag genau einem Pixel. Der entsprechende Wert des Array-Eintrags gibt Auskunft über die Farbe des Pixels (0x00-0xff). Die Roh-Daten können somit direkt von der Kamera als Bitmap-Daten geschrieben werden.



Beispiel zur Erzeugung von Binären Bildern

```
/* bitmap data */
static char data[640 * 480];

for (int i = 0; i < 640 * 480; i++) {
   if ((data[i] & 0xff) > LIMITVAL)
      data[i] = 0x1;
   else
      data[i] = 0x0;
}
```

Erkennung von Objekten

Nachfolgend sind 3 Schritte aufgeführt, die notwendig sind um den Ball bzw. dessen Koordinaten zu erfassen. Die einzelnen Punkte müssen in späteren Schritten in Echtzeit durchgeführt werden.

- Schwellwertanalyse: Aktive Pixel markieren (Farbwert des Pixels liegt über einem Referenzwert/Schwellwert) → Binärbild

Rohdaten

0x10	0x20	0x20	0x40	0x00	0x31
0x40	0xA0	0x12	0xf0	0x00	0x11
0xc0	0x50	0x10	0x40	0x04	0x30
0x21	0x70	0x80	0x10	0x00	0x01

Schwellwert
>= 0x80

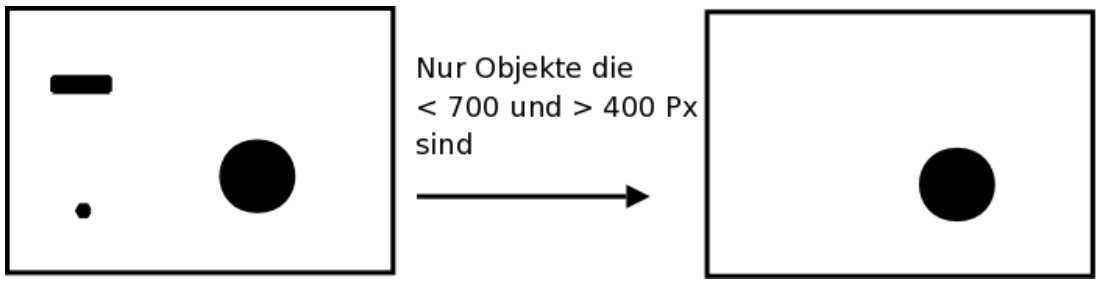
Binärbild

0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
0x00	0x01	0x00	0x01	0x00	0x00
0x01	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
0x00	0x00	0x01	0x00	0x00	0x00

Erkennung von Objekten

Nachfolgend sind 3 Schritte aufgeführt, die notwendig sind um den Ball bzw. dessen Koordinaten zu erfassen. Die einzelnen Punkte müssen in späteren Schritten in Echtzeit durchgeführt werden.

- Schwellwertanalyse: Aktive Pixel markieren (Farbwert des Pixels liegt über einem Referenzwert/Schwellwert) $\longrightarrow$ Binärbild
- Aneinanderliegende Pixel zu Flächen zusammenfassen und zu kleine/grosse Flächen nicht beachten.
  $minPixel \leq objekt \leq maxPixel$



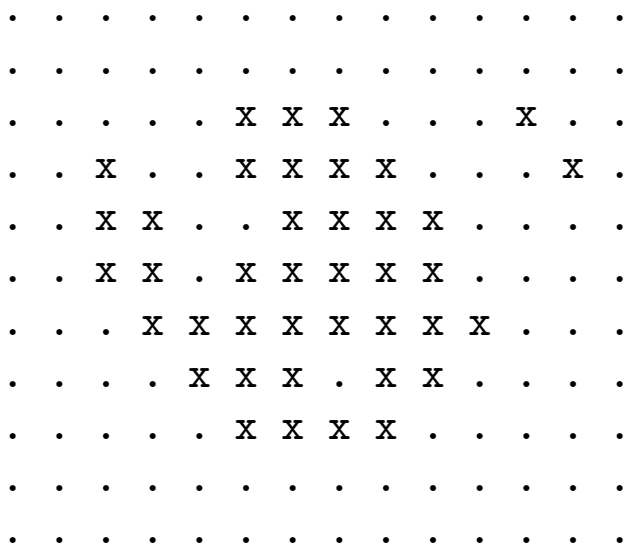
Erkennung von Objekten

Nachfolgend sind 3 Schritte aufgeführt, die notwendig sind um den Ball bzw. dessen Koordinaten zu erfassen. Die einzelnen Punkte müssen in späteren Schritten in Echtzeit durchgeführt werden.

- Schwellwertanalyse: Aktive Pixel markieren (Farbwert des Pixels liegt über einem Referenzwert/Schwellwert) $\rightarrow$ Binärbild
- Aneinanderliegende Pixel zu Flächen zusammenfassen und zu kleine/grosse Flächen nicht beachten.
  $minPixel \leq objekt \leq maxPixel$
- Berechnung der X- und Y-Koordinaten des Schwerpunkts/Mittelpunkts der Fläche

Algorithmus

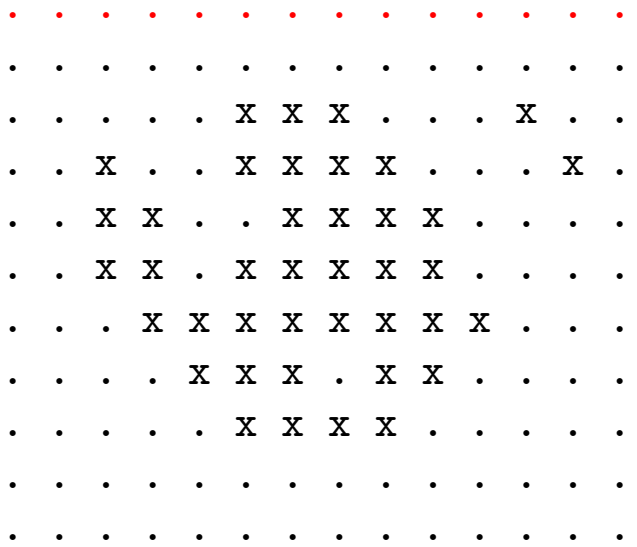
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

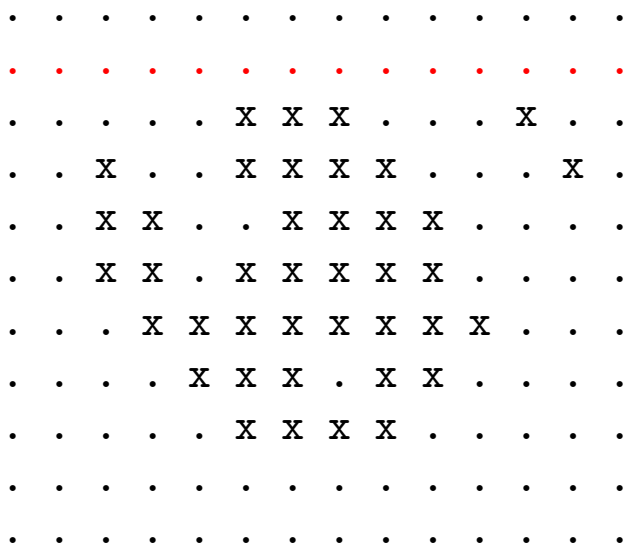
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

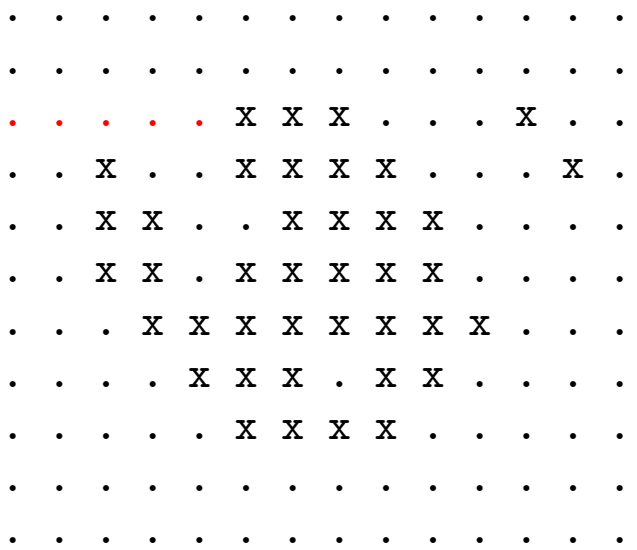
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

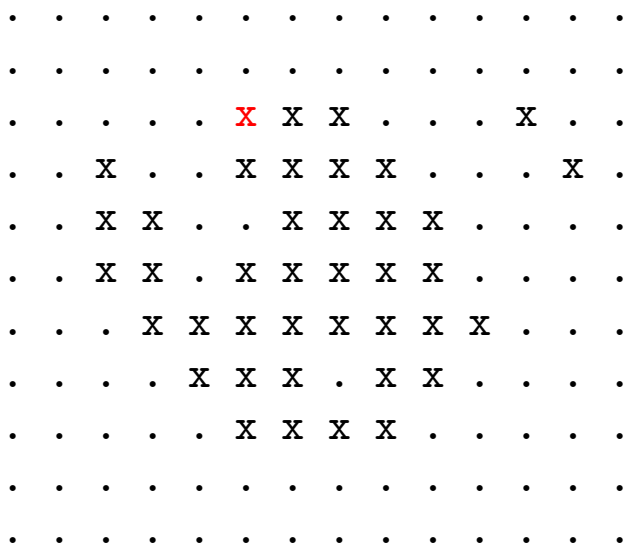
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

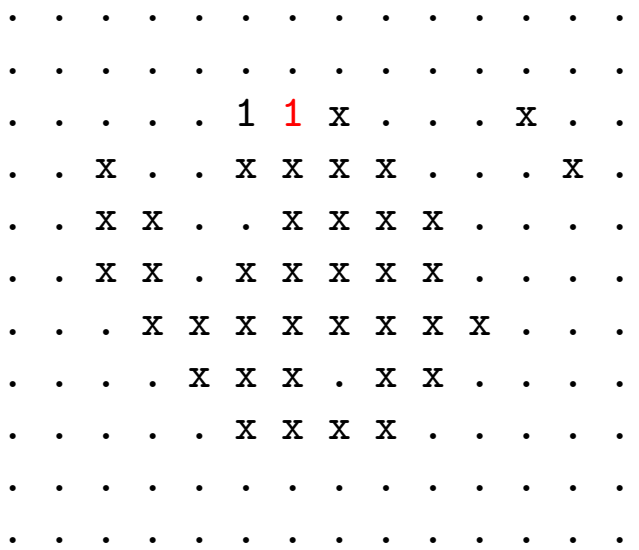
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 x x . . . x . .
. . x . . x x x x . . . x .
. . x x . . x x x x . . . .
. . x x . x x x x x . . . .
. . . x x x x x x x x . . .
. . . . x x x . x x . . . .
. . . . . x x x x . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen



Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . x . . .
. . x . . x x x x . . . x . .
. . x x . . x x x x . . . . .
. . x x . x x x x x . . . . .
. . . x x x x x x x x . . . .
. . . . x x x . x x . . . . .
. . . . . x x x x . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . x . . x x x x . . . x . .
. . x x . . x x x x . . . . .
. . x x . x x x x x . . . . .
. . . x x x x x x x x . . . .
. . . . x x x . x x . . . . .
. . . . . x x x x . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . x x . . x x x x . . . . .
. . x x . x x x x x . . . . .
. . . x x x x x x x x . . . .
. . . . x x x . x x . . . . .
. . . . . x x x x . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . x x . x x x x x . . . . .
. . . x x x x x x x x . . . .
. . . . x x x . x x . . . . .
. . . . . x x x x . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Aktive Pixel horizontal in Zeilengruppen verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 4 4 4 4 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 6 6 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 7 7 7 7 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 8 8 . 9 9 9 9 9 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 3 3 . 1 1 1 1 1 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 3 3 . 1 1 1 1 1 . . . . .
. . . a a a a a a a a . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 3 3 . 1 1 1 1 1 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden - Vorsicht, nicht doppelt überschreiben!

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 3 3 . 1 1 1 1 1 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden - Vorsicht, nicht doppelt überschreiben!

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 1 1 1 . . . 2 . . .
. . 3 . . 1 1 1 1 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 1 1 1 1 . . . . .
. . 3 3 . 1 1 1 1 1 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden - Vorsicht, nicht doppelt überschreiben!

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . b b b . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . 3 3 3 . c c . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . 3 3 3 . 3 3 . . . . .
. . . . . d d d d . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

Algorithmus

- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 . .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . . .
. . . . 3 3 3 . 3 3 . . . . .
. . . . . 3 3 3 3 . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . . .
```

Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

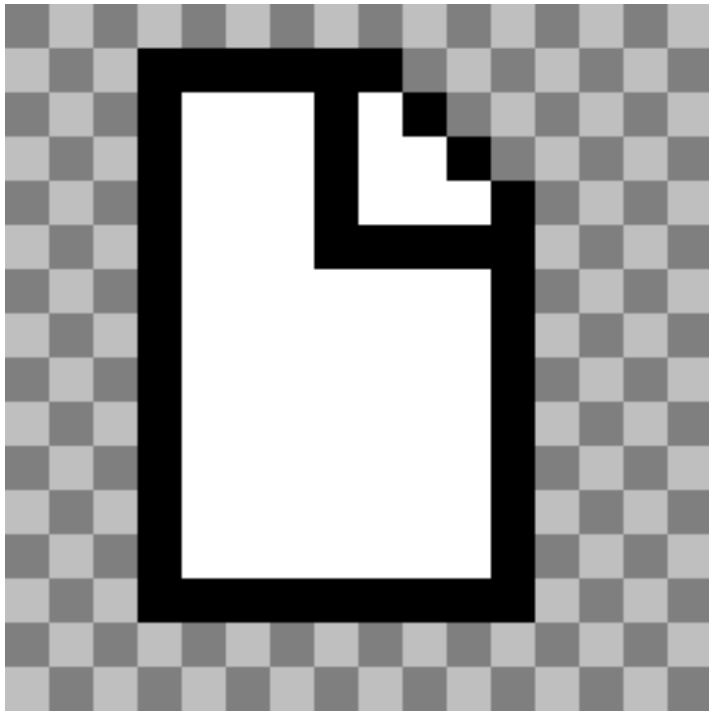
Algorithmus

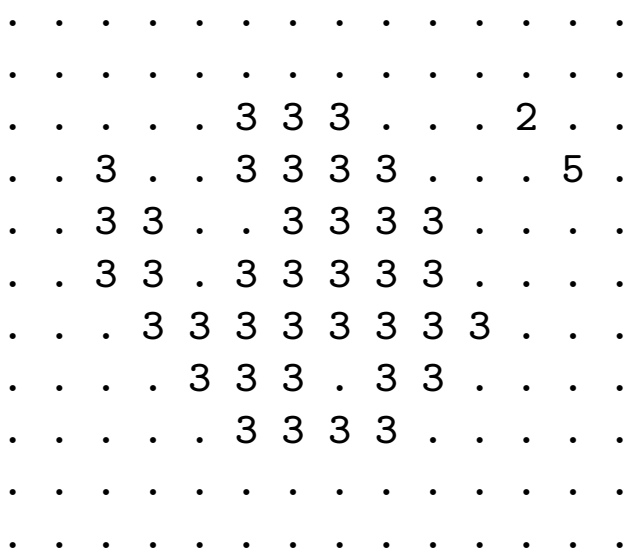
- Jedes Pixel prüfen, ob über (aktiv = 'x') oder unter (passiv = '.') dem Schwellwert
- Aktive Pixel in Zeilengruppen zusammenfassen
- Zeilengruppen vertikal miteinander verbinden

```
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . .
. . . . 3 3 3 . 3 3 . . . .
. . . . . 3 3 3 3 . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
. . . . . . . . . . . . . .
```

Gruppen mit XPM graphisch darstellen

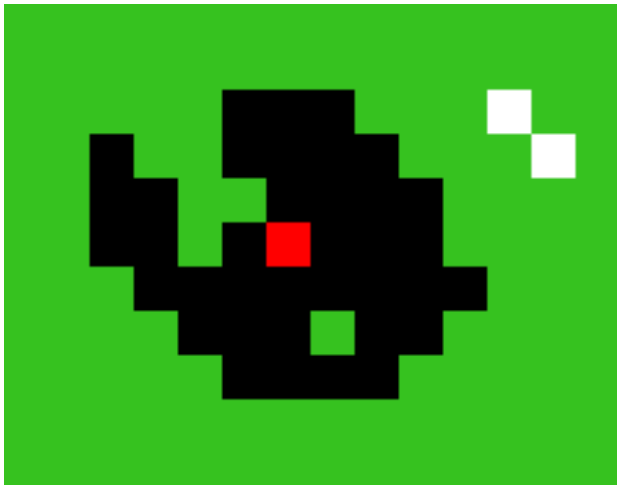
```
/* XPM */
static const char * xpm_data[] = {
"16 16 3 1",
"        c None",
".       c #000000000000",
"X       c #FFFFFFFFFFFF",
"                ",
"    ......      ",
"    .XXX.X.     ",
"    .XXX.XX.    ",
"    .XXX.XXX.   ",
"    .XXX.....   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .XXXXXXX.   ",
"    .........   ",
"                ",
"                "};
```




. . . .
. . . .
. . . . . 3 3 3 . . . 2 . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . .
. . . . 3 3 3 . 3 3 . . . .
. . . . . 3 3 3 3 . . . . .
. . . .
. . . .

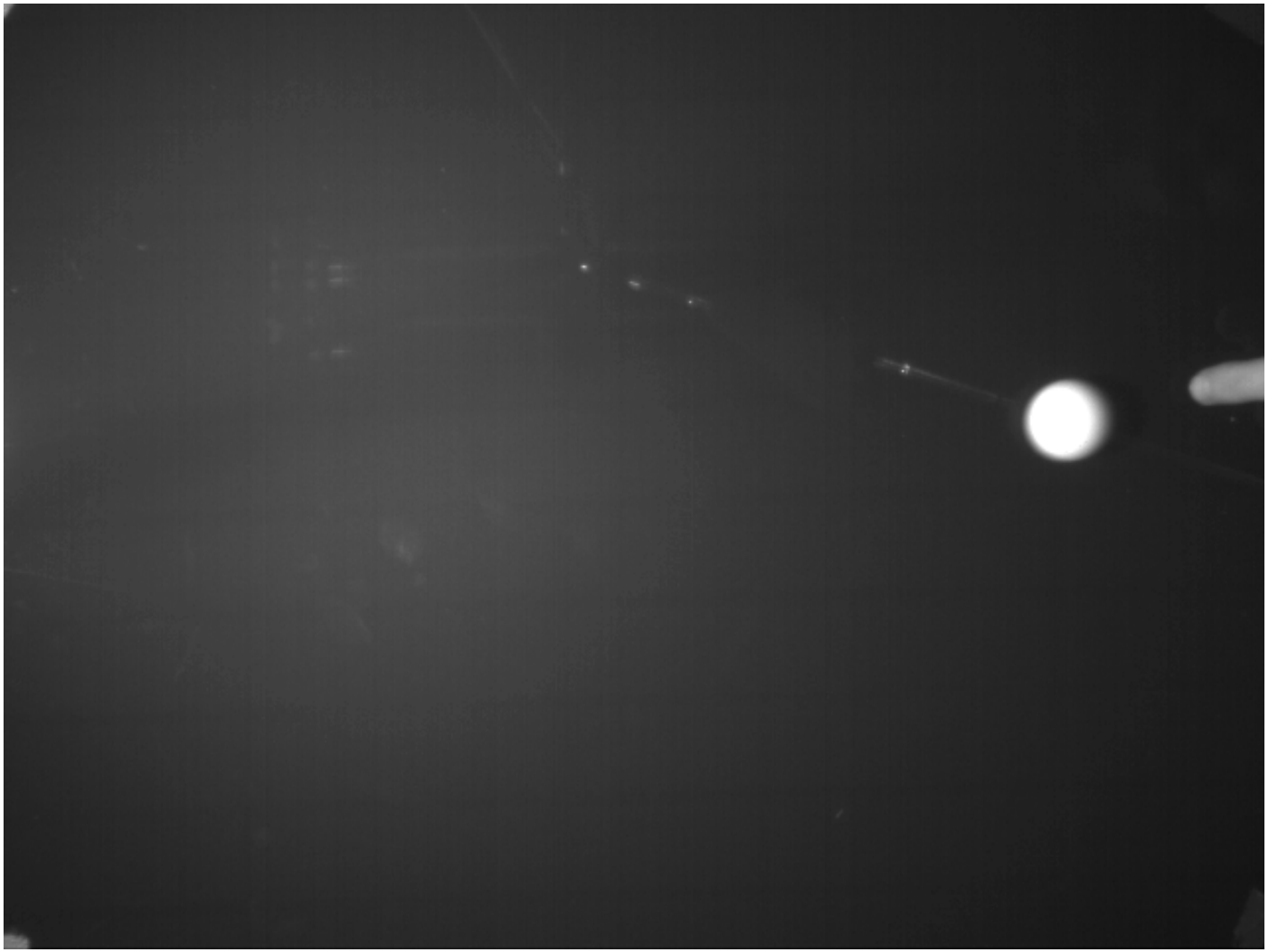
Gruppen mit XPM graphisch darstellen

```
/* XPM */
static char * xpm_data[] = {
"14 11 4 1",
".      c #36c21f",
"2      c #ffffff",
"3      c #000000",
"4      c #ff0000",
"..............",
"..............",
".....333...2..",
"..3..3333...2.",
"..33..3333....",
"..33.34333....",
"...33333333...",
"....333.33....",
".....3333.....",
"..............",
"..............};
```

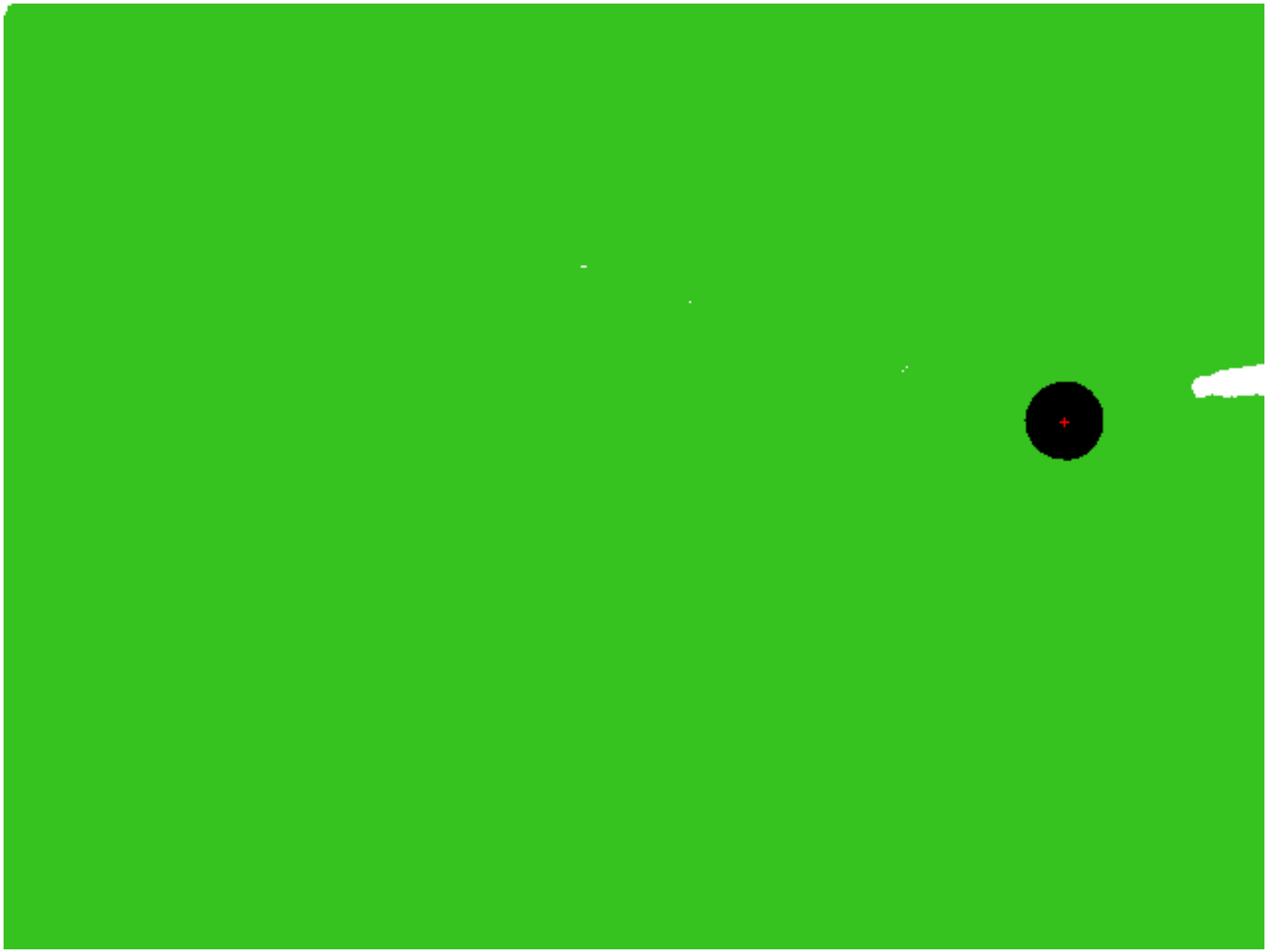


. . . . . 3 3 3 . . . 2 . .
. . 3 . . 3 3 3 3 . . . 5 .
. . 3 3 . . 3 3 3 3 . . . .
. . 3 3 . 3 3 3 3 3 . . . .
. . . 3 3 3 3 3 3 3 3 . . .
. . . . 3 3 3 . 3 3 . . . .
. . . . . 3 3 3 3 . . . . .

Originalbild



Ausgewertetes XPM-Bild



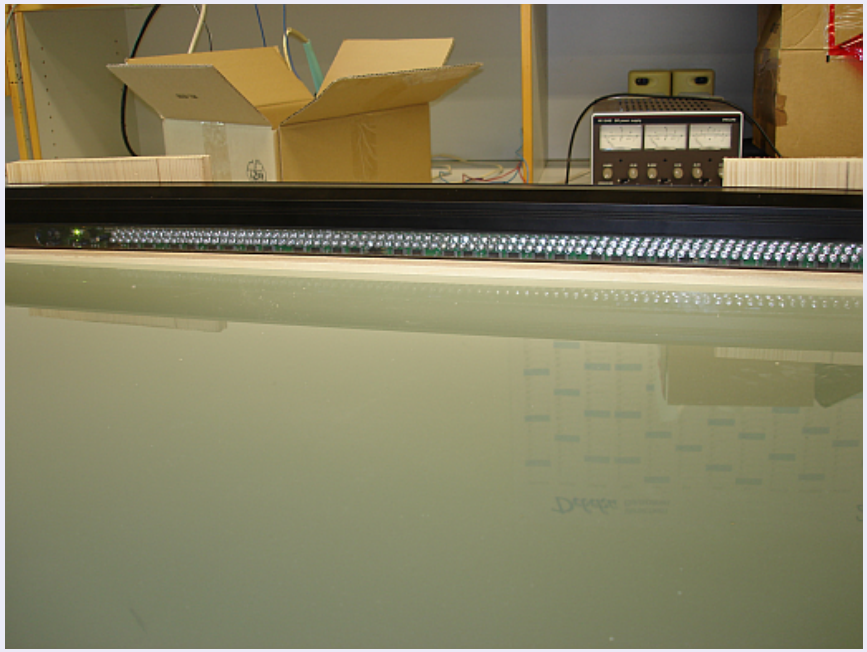
Lichtgitter

Das Lichtgitter wurde uns von der Firma Baumer für Testzwecke zur Verfügung gestellt. Die vom Lichtgitter zurückgelieferten Daten beinhalten den ersten unterbrochenen Strahl, sowie die Anzahl der unterbrochenen Strahlen. Dadurch kann sich recht einfach der Mittelpunkt des Balles bestimmen lassen. Technisch ist es sehr einfach mit Sende- und Empfangsteil aufgebaut und jede LED wird nacheinander abgefragt.

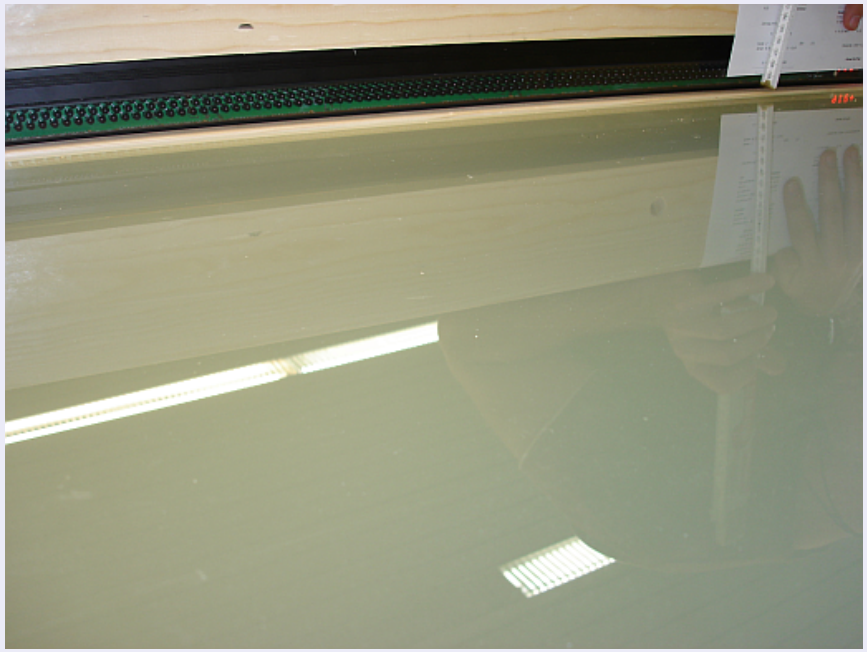
- Ansteuerung via serieller Schnittstelle
  Baudrate: 9600/19200/38400, 8 Datenbits, 1 Stopbit, Parity: even
- Zykluszeit ist angegeben mit 3ms bei 38400Baud
  Herr Seck konnte mit einem Echtzeitsystem und 1000 Abfragen auf eine Antwortzeit von ca 7ms kommen. Jedoch wurde hierbei Betriebssystem bedingt nur mit 9200Baud gearbeitet.

1. Senden des Befehls (z.B. 0x81 für read_all)
2. Befehl wird zurückgegeben *echo*(lesen von 1Byte)
3. Daten werden zurückgegeben (4Byte bei read_all: Data LO/HI, Position LO/HI)

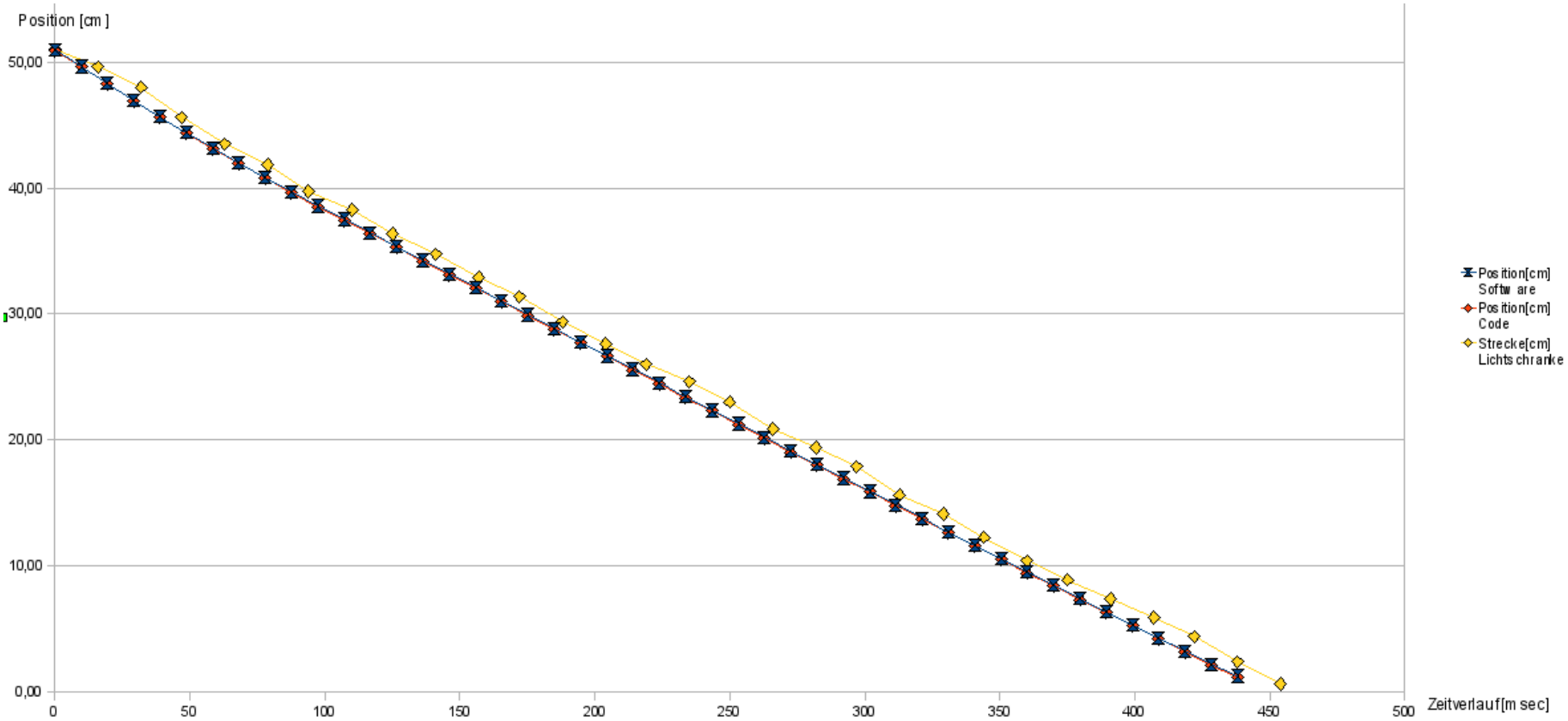
LED Sendeseite



LED Empfangsseite



Messreihen Kamera vs. Lichtgitter

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	**Kamera**							**Sourcecode**						**Lichtschranke (Abstand je 2,5mm)**						
2	Pic-Nr.	Time [msec]	Delta [msec]	RMS [msec]	CGRAVX [pixel]	CGRAVY [pixel]		Pic-Nr.	RMS [msec]	CGRAVX [pixel]	CGRAVY [pixel]	t[sec] /100		Mess-Nr.	Time [msec]	Delta [msec]	Anz. Unterbr. Lichtschranken		erste unterbr. Lichtschranke	
3	20	187	0	0	600,91	197,01		20	0	600	198	0.28		9	156	0	6	0x0006	244	0x0244
4	21	203	16	10	585,4	200,89		21	10	585	202	0.3		10	172	16	7	0x0007	238	0x0238
5	22	218	31	19	569,61	204,52		22	19	569	206	0.33		11	188	32	6	0x0006	232	0x0232
6	23	218	31	29	553,49	208,17		23	29	553	209	0.31		12	203	47	7	0x0007	222	0x0222
7	24	234	47	39	538,37	211,73		24	39	538	213	0.32		13	219	63	6	0x0006	214	0x0214
8	25	234	47	49	523,71	215,15		25	49	523	216	0.29		14	235	79	7	0x0007	207	0x0207
9	26	250	63	58	509,14	218,52		26	58	508	219	0.29		15	250	94	6	0x0006	199	0x0199
10	27	265	78	68	495,12	221,8		27	68	494	223	0.29		16	266	110	6	0x0006	193	0x0193
11	28	265	78	78	481,37	224,92		28	78	481	226	0.29		17	281	125	5	0x0005	186	0x0186
12	29	281	94	88	468,13	228,11		29	88	467	229	0.28		18	297	141	6	0x0006	179	0x0179
13	30	296	109	97	454,99	231,13		30	97	454	232	0.29		19	313	157	7	0x0007	171	0x0171
14	31	296	109	107	442,13	233,99		31	107	441	235	0.29		20	328	172	7	0x0007	165	0x0165
15	32	312	125	117	429,4	236,89		32	117	429	238	0.28		21	344	188	5	0x0005	158	0x0158
16	33	312	125	127	416,57	239,8		33	127	416	241	0.26		22	360	204	7	0x0007	150	0x0150
17	34	328	141	136	403,83	242,67		34	136	403	244	0.24		23	375	219	8	0x0008	143	0x0143
18	35	343	156	146	391	245,69		35	146	390	247	0.25		24	391	235	7	0x0007	138	0x0138
19	36	343	156	156	378,38	248,6		36	156	378	250	0.23		25	406	250	8	0x0008	131	0x0131
20	37	359	172	165	365,56	251,53		37	165	365	252	0.24		26	422	266	7	0x0007	123	0x0123
21	38	375	188	175	352,78	254,41		38	175	352	255	0.25		27	438	282	7	0x0007	117	0x0117
22	39	375	188	185	340,08	257,35		39	185	339	258	0.25		28	453	297	7	0x0007	111	0x0111
23	40	390	203	195	327,29	260,2		40	195	327	261	0.24		29	469	313	7	0x0007	102	0x0102
24	41	390	203	204	314,49	263,1		41	204	314	264	0.25		30	485	329	7	0x0007	96	0x0096
25	42	406	219	214	301,74	266,02		42	214	301	267	0.25		31	500	344	4	0x0004	90	0x0090
26	43	421	234	224	288,92	268,92		43	224	288	270	0.25		32	516	360	7	0x0007	81	0x0081
27	44	421	234	234	276,21	271,85		44	234	275	273	0.25		33	531	375	7	0x0007	75	0x0075
28	45	437	250	243	263,53	274,76		45	243	263	276	0.25		34	547	391	7	0x0007	69	0x0069
29	46	453	266	253	250,75	277,72		46	253	250	279	0.25		35	563	407	7	0x0007	63	0x0063
30	47	453	266	263	238,04	280,62		47	263	237	282	0.25		36	578	422	7	0x0007	57	0x0057

Auswertung Kamera vs. Lichtgitter