

Kapitel 2: Pixelbasierte Bildverbesserung

Prof. Ingrid Scholl
Bildverarbeitung WS 2018/2019

2. Kapitel: Pixelbasierte Bildverbesserung

1. Histogramme

- Normiertes Histogramm
- Kumulatives Histogramm

2. Bildverbesserung durch

- Histogramm-Stretching,
- Histogramm-Anpassung
- Histogrammlinearisation,
- Gammakorrektur

3. Pixelbasierte Operationen:

- Invertieren
- Clipping / Clamping
- Binarisieren
- Algorithmus von Otsu (optimaler Schwellwertsuche)

2. Kapitel: Pixelbasierte Bildverbesserung

1. Histogramme

- Normiertes Histogramm
- Kumulatives Histogramm

2. Bildverbesserung durch

- Histogramm-Stretching,
- Histogramm-Anpassung
- Histogrammlinearisation,
- Gammakorrektur

3. Pixelbasierte Operationen:

- Invertieren
- Clipping / Clamping
- Binarisieren
- Algorithmus von Otsu (optimaler Schwellwertsuche)

1. Definition und Eigenschaften
2. Berechnung
3. Kumulatives und normiertes Histogramm
4. Bildstatistik aus Histogrammen
5. Histogramme für Bilder mit mehr als 8 Bit
6. Histogramme für Farbbilder

Was ist ein Histogramm?

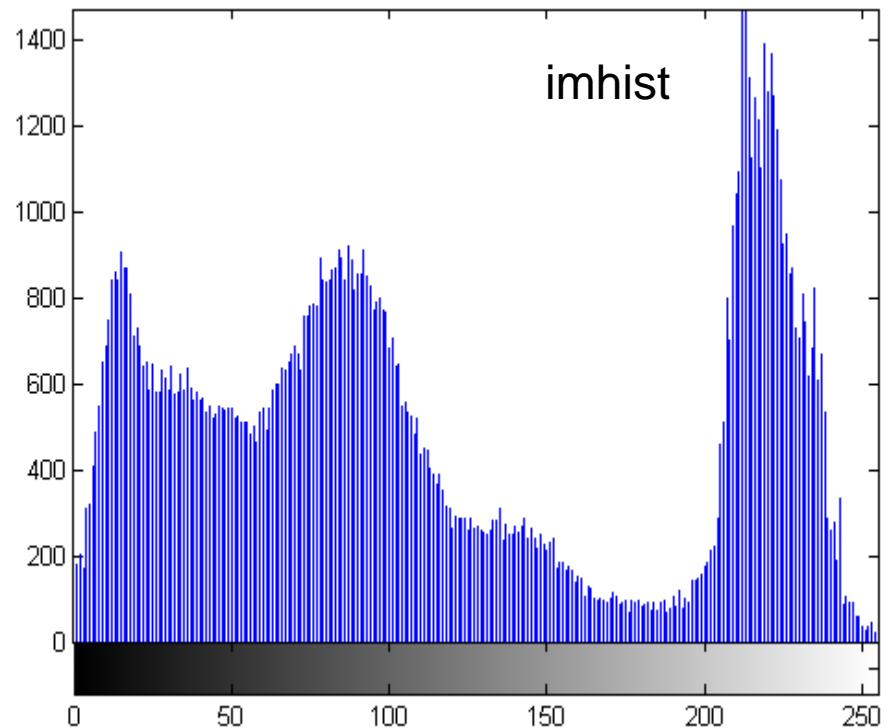
Histogramme sind Häufigkeitsverteilungen.

Histogramme von Bildern beschreiben die Häufigkeit der einzelnen Intensitätswerte.



Grauwertbild mit 256 Grauwerten

Häufigkeit $h(g)$



Grauwertintensität g

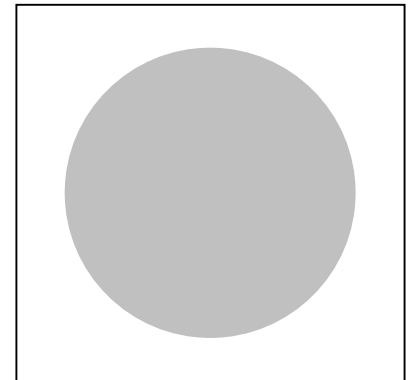
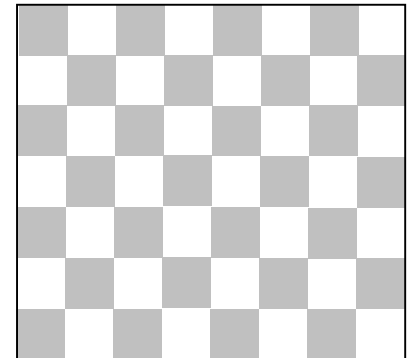
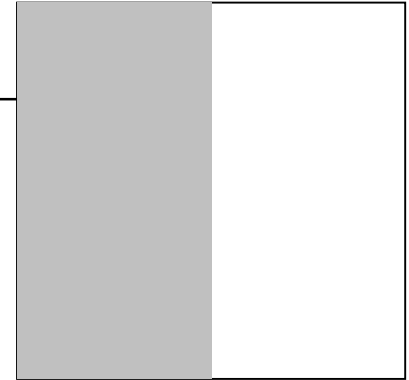
16. Oktober 2018 | 5

Histogramm

Histogramm für alle $0 \leq g < G$, i.d.R.
 $G = 2^8 - 1 = 255$ bei Grauwertbildern:

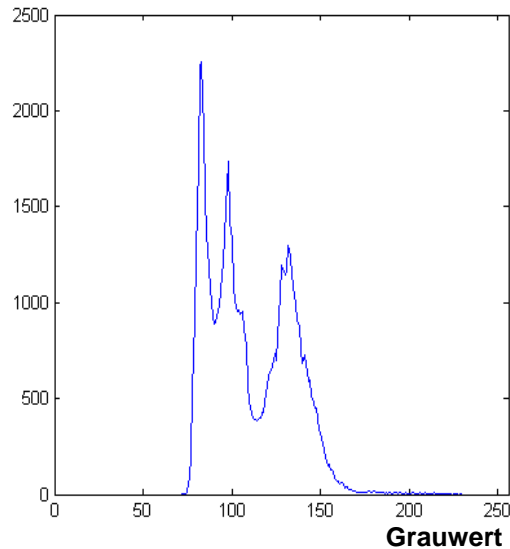
*$h(g)$ = Anzahl der Pixel mit Intensitätswert g
= Häufigkeit zum Grauwert g*

- Histogramm enthält keine Information, wo die Grauwerte auftreten
- Räumliche Information zum Bild geht im Histogramm verloren
- Verschiedene Bilder können das gleiche Histogramm haben
- Originalbild lässt sich nicht aus dem Histogramm rekonstruieren



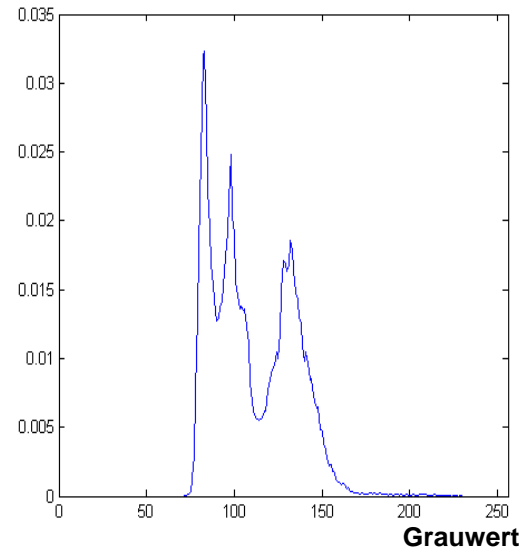
Histogramm – normiertes Histogramm – Kumulatives Histogramm

Häufigkeit



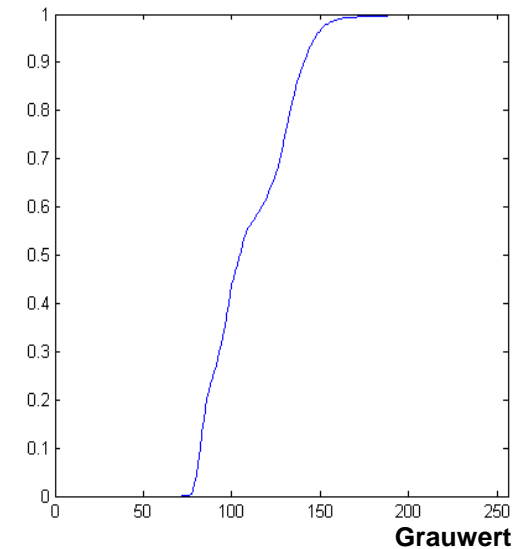
Histogramm $h(g)$

Relative Häufigkeit



Normiertes
Histogramm $p(g)$

Summierte relative Häufigkeit



Kumulatives
Histogramm $H(g)$



Histogramm – Normiertes Histogramm – Kumulatives Histogramm

Gegeben: Häufigkeiten $h(g)$, $M \times N$ Grauwertpixel, $0 \leq g \leq G-1$

- Relative Häufigkeiten: $p(g) = \frac{h(g)}{M \cdot N}$ Auftrittswahrscheinlichkeit des Grauwertes g
- Normiertes Histogramm: (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion) $h_p(g) = p(g) \quad \text{mit} \quad 0 \leq p(g) \leq 1$
- Summe der relativen Häufigkeiten: $\sum_{g=0}^{G-1} p(g) = 1$
- Kumulatives Histogramm: (Verteilungsfunktion) $H_{cum}(g) = \sum_{i=0}^g p(i)$

- Mittelwert des Bildes:

$$\mu = \sum_{i=0}^{G-1} p(i) \cdot i$$

Der Mittelwert liefert eine Aussage darüber, ob ein Bild insgesamt heller oder dunkler ist.

- Varianz des Bildes:

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{G-1} p(i) \cdot (g_i - \mu)^2$$

Die Varianz berechnet die mittlere quadratische Abweichung, die auf den Kontrast des Bildes schliessen läßt.

- Standardabweichung: $\sigma = \sqrt{\text{Varianz}} = \sqrt{\sigma^2}$

- Höhere Momente n-ter Ordnung:

n=0: zentrale Moment

n=2: Varianz

n=3: Schiefheit um η

$$\mu_n = \sum_{i=0}^{G-1} p(i) \cdot (g_i - \mu)^n$$

Übung: Histogramm

6	6	4	3	7	4	2
6	6	3	2	4	2	2
7	2	2	2	2	2	3
2	3	2	1	1	1	2
2	3	1	2	2	1	1

Berechnen Sie:

- Histogramm
- normiertes Histogramm
- kumuliertes Histogramm
- Mittelwert = 2.8857
- Varianz = 3.1298
- Standardabweichung = 1.7691

2. Kapitel: Pixelbasierte Bildverbesserung

1. Histogramme

- Normiertes Histogramm
- Kumulatives Histogramm

2. Bildverbesserung durch

- Histogramm-Stretching,
- Histogramm-Anpassung
- Histogrammlinearisation,
- Gammakorrektur

3. Pixelbasierte Operationen:

- Invertieren
- Clipping / Clamping
- Binarisieren
- Algorithmus von Otsu (optimaler Schwellwertsuche)

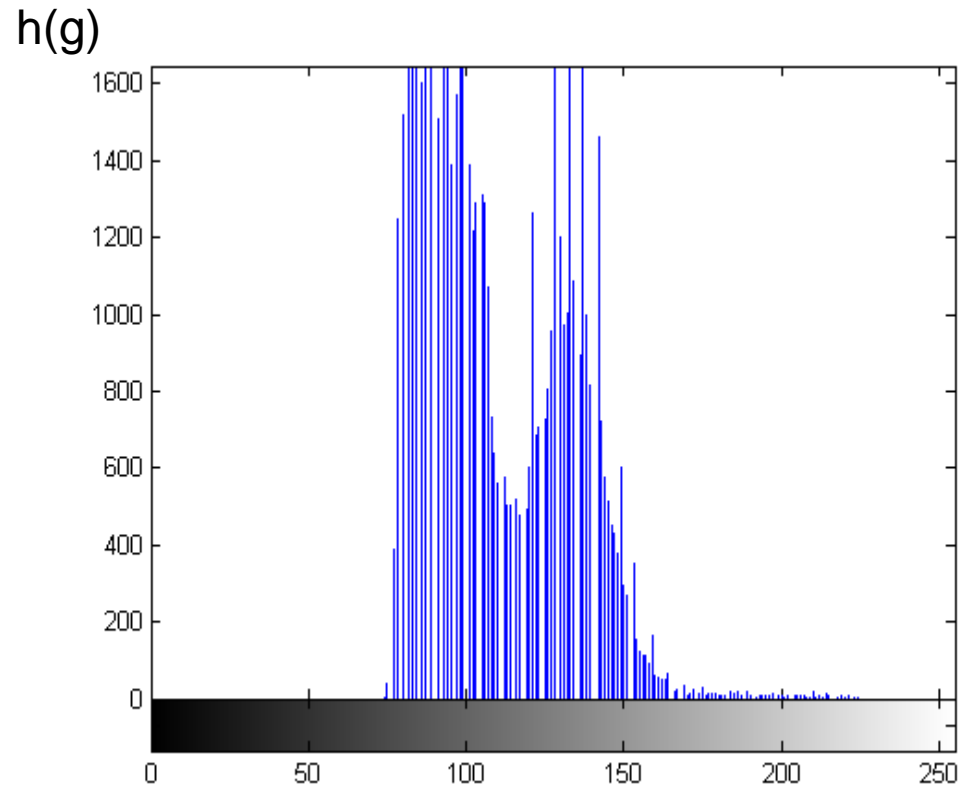
Eigenschaften der Bildaufnahme

- Belichtungsfehler
- Geringe Dynamik
- Mangelnder Kontrast

Bildfehler

- Sättigung
- Spitzen und Löcher
- Artefakte durch Bildkompression

Ungenutzte Intensitätsbereiche an einem Ende der Intensitätsskala und Häufungen am anderen Ende (Sättigung)



Unterschiedliche Dynamik

Dynamik: *Anzahl verschiedener Farb- bzw. Grauwerte im Bild*



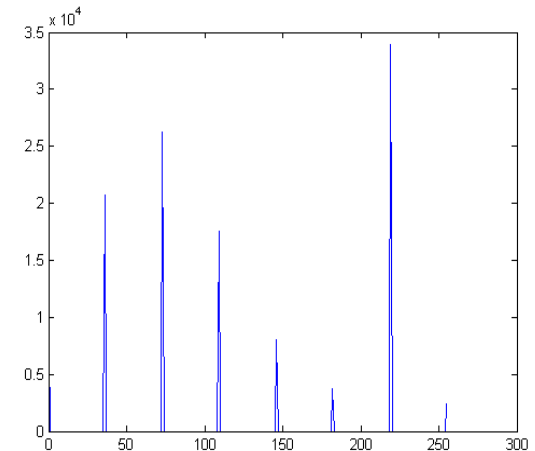
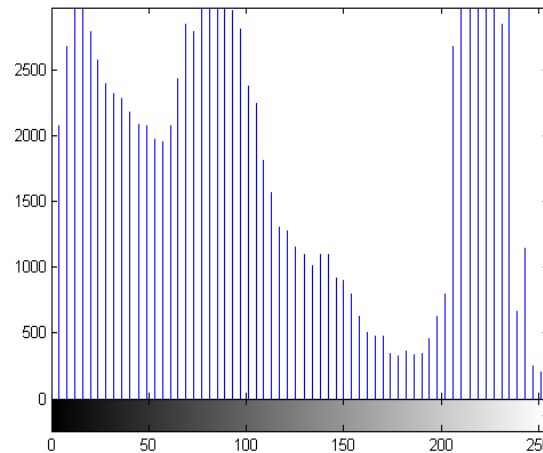
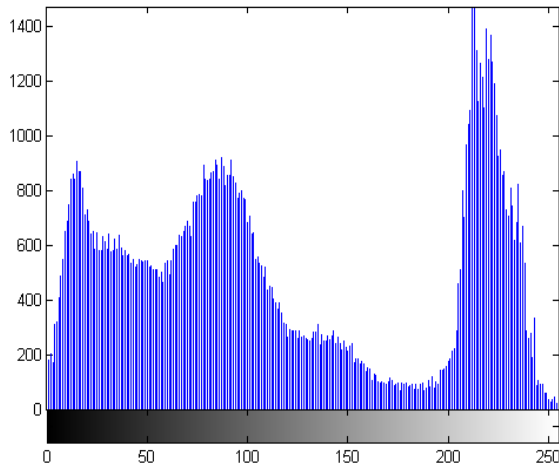
256 Grauwerte



64 Grauwerte



8 Grauwerte



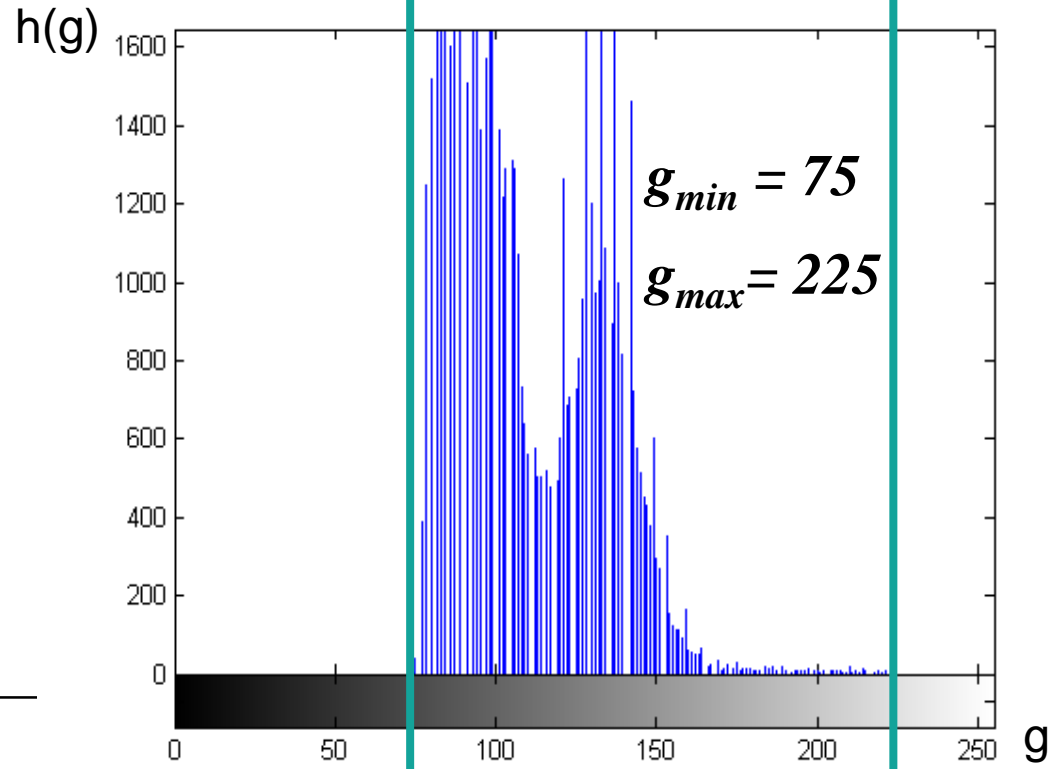
Kontrast – Globaler Kontrast

Globaler Kontrast:

Bereich der genutzten Intensitätsstufen,
Differenz zwischen maximalen und minimalen Pixelwert

$$C_{global} = g_{max} - g_{min}$$

Voller Kontrast nutzt gesamten Intensitätsbereich



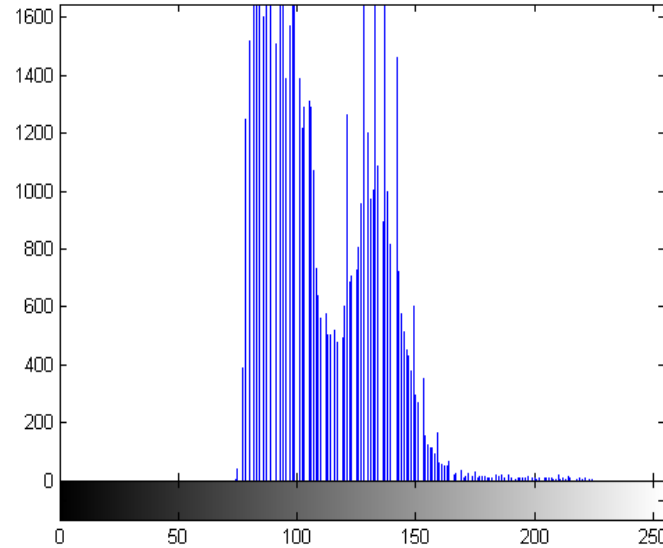
Grauwertspreizung (Histogram Stretching)

- **Grauwerttransformation:** Berechne eine Funktion, die den Grauwert g auf einen neuen Grauwert g' abbildet.
- Vergrößerung des globalen Kontrastes durch **Grauwertspreizung:**

$$g'(g) = (w_{\max} - w_{\min}) \left(\frac{g - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} \right) + w_{\min}$$

wobei w_{\min} und w_{\max} der kleinste bzw. größte darstellbare Grauwert ist, z.Bsp. Bei 256 Grauwerten ist $w_{\min} = 0$ und $w_{\max} = 255$

Beispiel: Grauwertspreizung

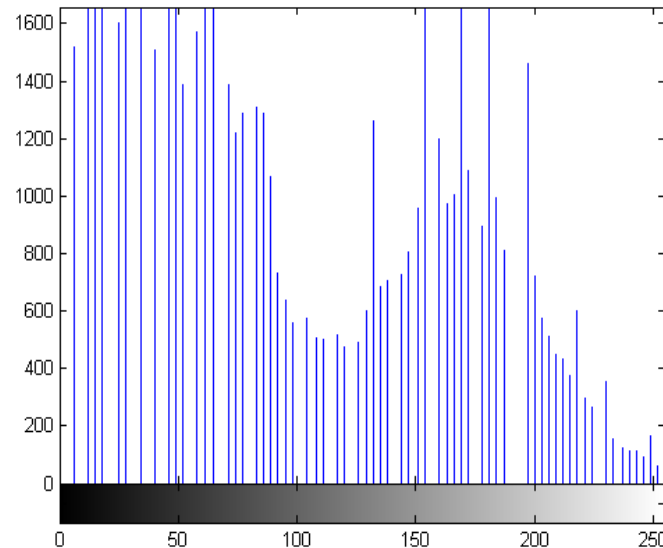


```
>> I = imread('pout.tif')
>> stretchlim(I)

ans =

    0.3059
    0.6314

>> Inew = ...
imadjust(I,stretchlim(I));
>> figure; imshow(Inew);
```



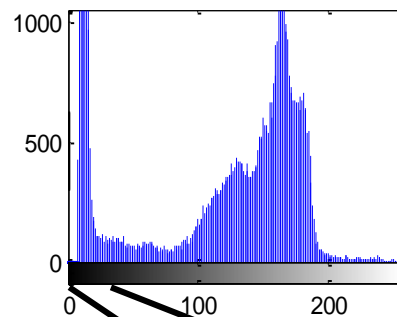
Grauwertspreizung von
Min = 1% bis Max = 99%
auf den gesamten Grau-
wertbereich

Abbildung von einem Grauwertbereich auf einen anderen Grauwertbereich

Original



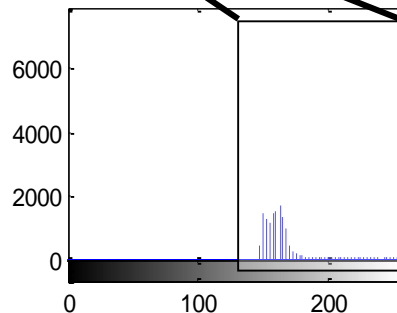
Original Histogram



Adjusted



Adjusted Histogram



```
I = imread('cameraman.tif');  
%% Adjust image intensity  
J = imadjust(I,[0 0.2],[0.5 1]);  
%% Display images and histogram  
subplot(2,2,1)  
imshow(I), title('Original')  
subplot(2,2,2)  
imhist(I), title('Original Histogram')  
subplot(2,2,3)  
imshow(J), title('Adjusted')  
subplot(2,2,4)  
imhist(J), title('Adjusted Histogram')
```

`J = imadjust(I,[low_in; high_in],[low_out; high_out])`

- Berücksichtigung der Verteilung der Grauwerte im Histogramm mittels **lokalen Kontrast**:

$$C_{local}(f) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left(f(m,n) - \bar{f}(m,n) \right)$$

wobei $\bar{f}(m,n)$ der durchschnittliche Wert der Bildfunktion f in einer definierten Nachbarschaft (z.Bsp. 4-er Nachbarschaft) um (m,n) ist.

- Korrektur nichtlinearer Kamerakennlinien
(Grauwerte sind nicht proportional zur Lichtintensität)

$$g'(g) = (w_{\max} - w_{\min}) \left(\frac{g - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} \right)^{\gamma} + w_{\min}$$

$\gamma = 1$: Ausgangssignal = Eingangssignal (d.h. keine Änderung)

$\gamma < 1$: Spreizung der helleren und Stauchung der dunkleren Grauwerte

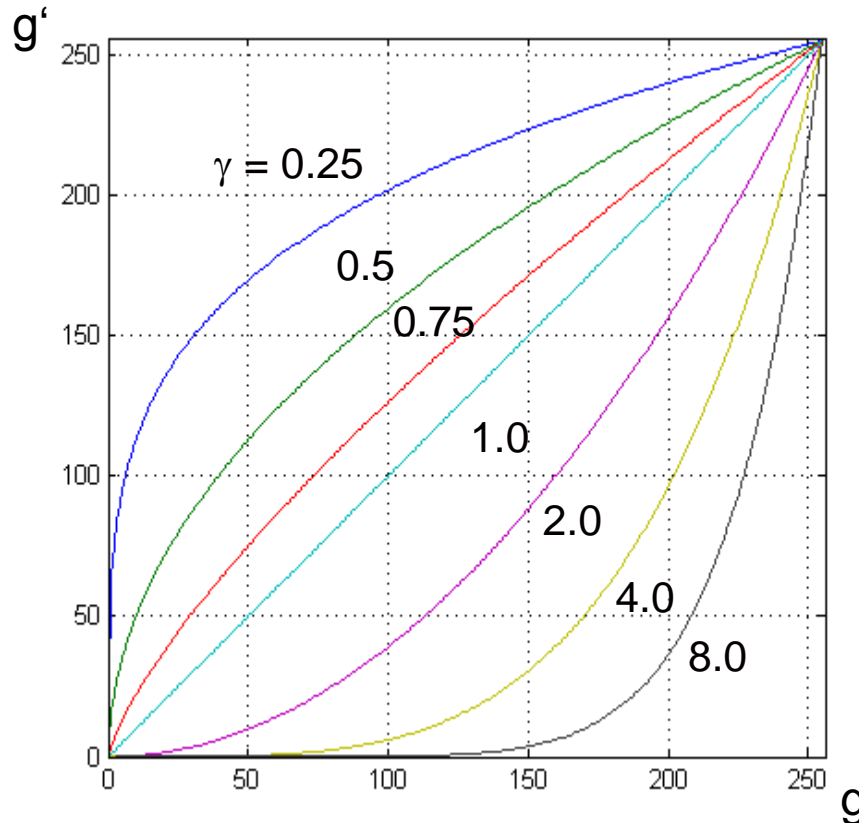
$\gamma > 1$: umgekehrt zu $\gamma < 1$

- Beispiel: $w_{\min} = g_{\min} = 0$ und $w_{\max} = g_{\max} = 255$, $g = 15$ und $\gamma = 1$

$$g'(g = 15) = 255 \left(\frac{15 - 0}{255 - 0} \right)^1 + 0 = 255 \cdot \frac{15}{255} = 15 = g$$

Gammakorrektur-Kurven

$$g'(g) = (w_{\max} - w_{\min}) \left(\frac{g - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} \right)^{\gamma} + w_{\min}$$



Gammakorrektur:

Nicht lineare

Grauwertspreizung

$\gamma < 1$: Aufhellung

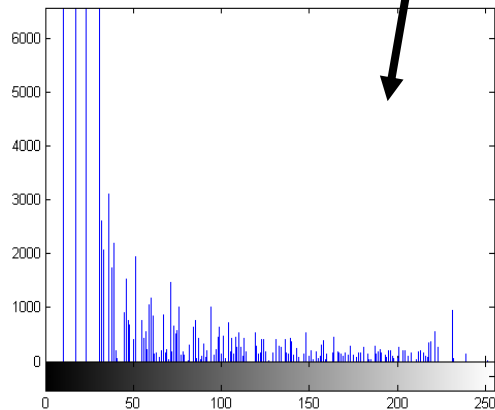
$\gamma > 1$: Verdunkelung

Beispiel: Gamma-Korrektur

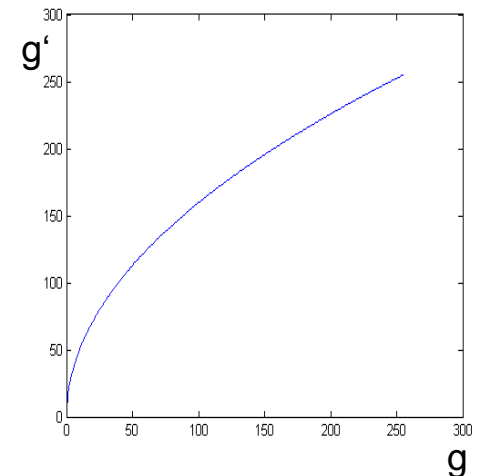
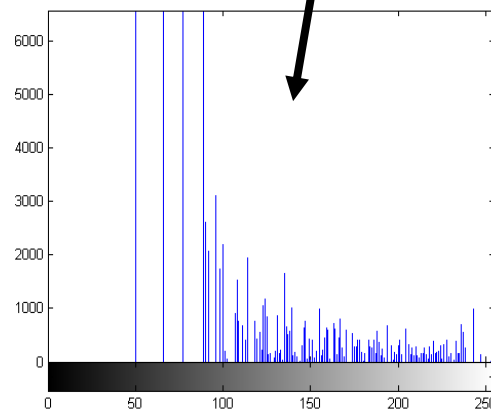
$J = \text{imadjust}(I, [\text{low_in}; \text{high_in}], [\text{low_out}; \text{high_out}], \text{gamma})$



Original



$\gamma = 0.5$



- Algorithmen auf Histogrammen werden nicht auf den Pixeln sondern nur auf den Grauwerten ausgeführt (sehr schnell)
- Parameter zum Messen/Steuern der Histogrammverteilung:
 - Globaler Kontrast
 - Lokaler Kontrast
 - Entropie (als weiteres Kontrastmaß):

$$E(h_p) = - \sum_{g=0}^{G-1} h_p(g) \cdot \log_2 h_p(g)$$

In der Kompression liefert die Entropie die durchschnittliche Anzahl der benötigten Bits einer Folge von Pixeln (maximaler Kompressionsfaktor)



$$E(h_p) = 5.76$$

Histogrammlinearisierung (histogram equalization)

Verwende Entropie zur Kontrastverbesserung:

- Finde Transferfunktion g' , bei denen die Grauwerte g auf neue Grauwerte abgebildet werden, so dass die Entropie des Histogramms $h_p(g')$ der Anzahl der verwendeten Bits (i.d.Regel 8) entspricht.

Ziel: Maximierung der Entropie

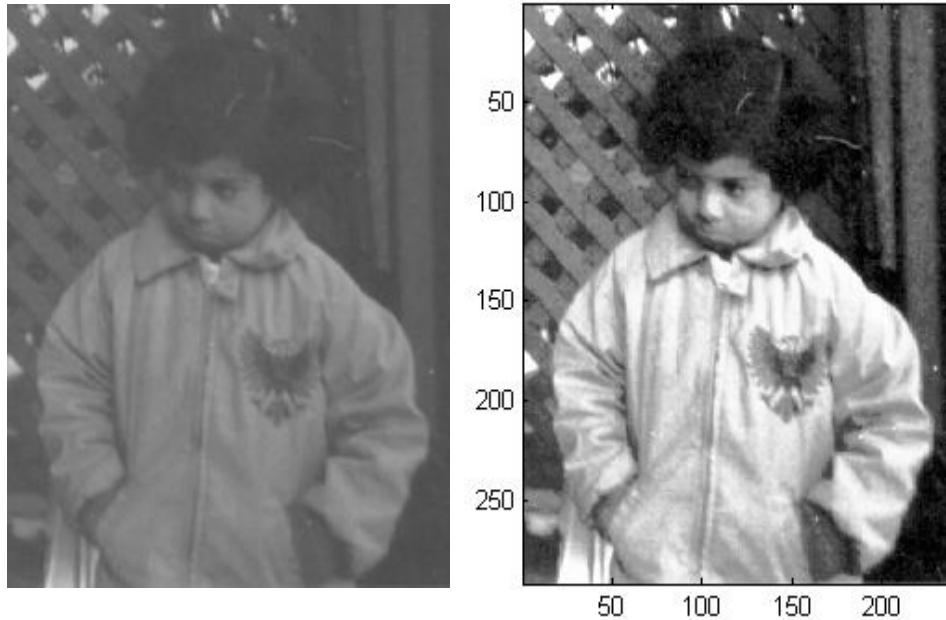
- Verwende dazu das kumulative Histogramm als Transferfunktion g' mit $w_{\max} = 255$:

$$g'(g) = w_{\max} \cdot H_{\text{cum}}(g) = w_{\max} \cdot \sum_{i=0}^g p(i)$$

auf Integerzahlen runden:

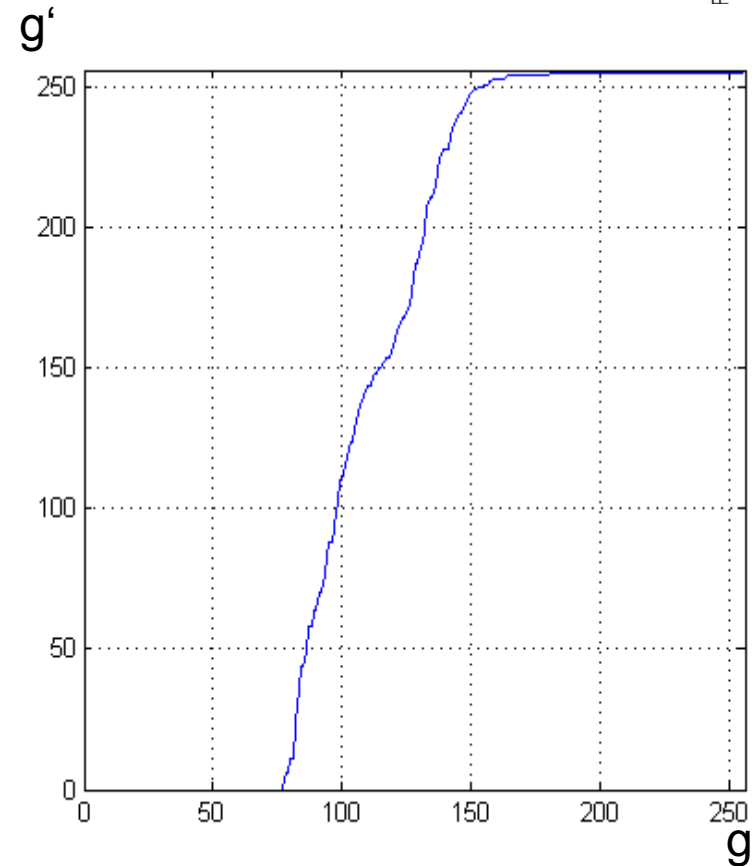
$$g'(g) = \left\lceil w_{\max} \cdot H_{\text{cum}}(g) \right\rceil - 1 = \left\lceil w_{\max} \cdot \sum_{i=0}^g p(i) \right\rceil - 1$$

Beispiel: Histogrammlinearisation



vorher

nachher



Grauwertetransformation

`histeq(image)`

Histogramme für Bilder mit mehr als 8 Bits

Binning:

Wertebereich G wird z.Bsp. auf 256 Grauwerte G' abgebildet:
 G wird in 256 gleich große Intervalle (Bins) unterteilt

Intervall-/Bingröße: $g_j = j \cdot G/G' = j \cdot G/256$

$$h(j) = \text{card} \{ (x,y) \mid g_j \leq f(x,y) < g_{j+1} \}$$

Beispiel: Histogramm eines 14 Bit-Bildes mit 256 Einträgen

$$G/G' = 2^{14}/256 = 64 \Rightarrow g_0 = 0, g_1 = 64, g_2 = 128, \dots, g_{255} = 16384$$

$$h(0) \quad \leftarrow \quad 0 \leq f(x,y) < 64$$

$$h(1) \quad \leftarrow \quad 64 \leq f(x,y) < 128$$

$$h(2) \quad \leftarrow \quad 128 \leq f(x,y) < 192$$

$$h(j) \quad \leftarrow \quad g_j \leq f(x,y) < g_{j+1}$$

$$h(255) \leftarrow 16320 \leq f(x,y) < 16384$$

1. **Luminanzhistogramm:** Histogramm der Bildintensität

- Berechnung des Grauwertbildes aus dem Farbbild, z.B. Extraktion des V-Kanales nach Farbtransformation eines RGB-Bildes in ein HSV-Bild
- Histogramm des Grauwertbildes

2. **Histogramme pro Farbkanal:**

- je 1 Histogramm pro Farbkanal
- Zur Erkennung, ob ein Farbkanal in der Sättigung liegt

Alternativ:

Visualisierung der verwendeten Farben im RGB-Würfel (Farbverteilung)

Histogramme pro Farbkanal



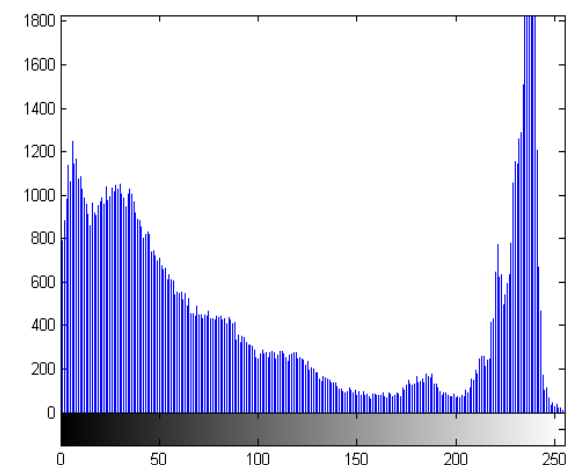
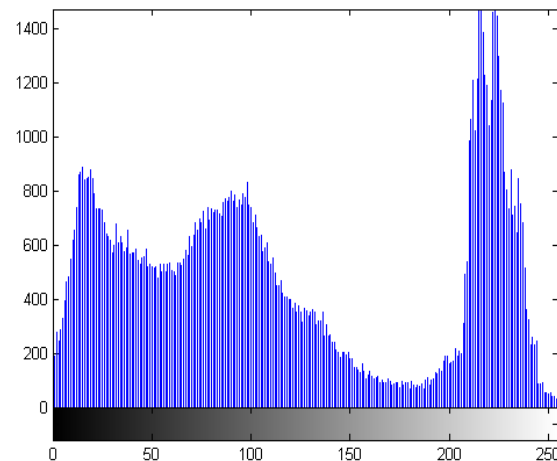
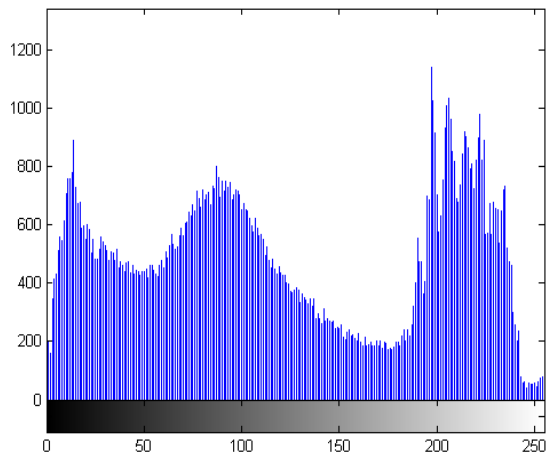
Rotkanal

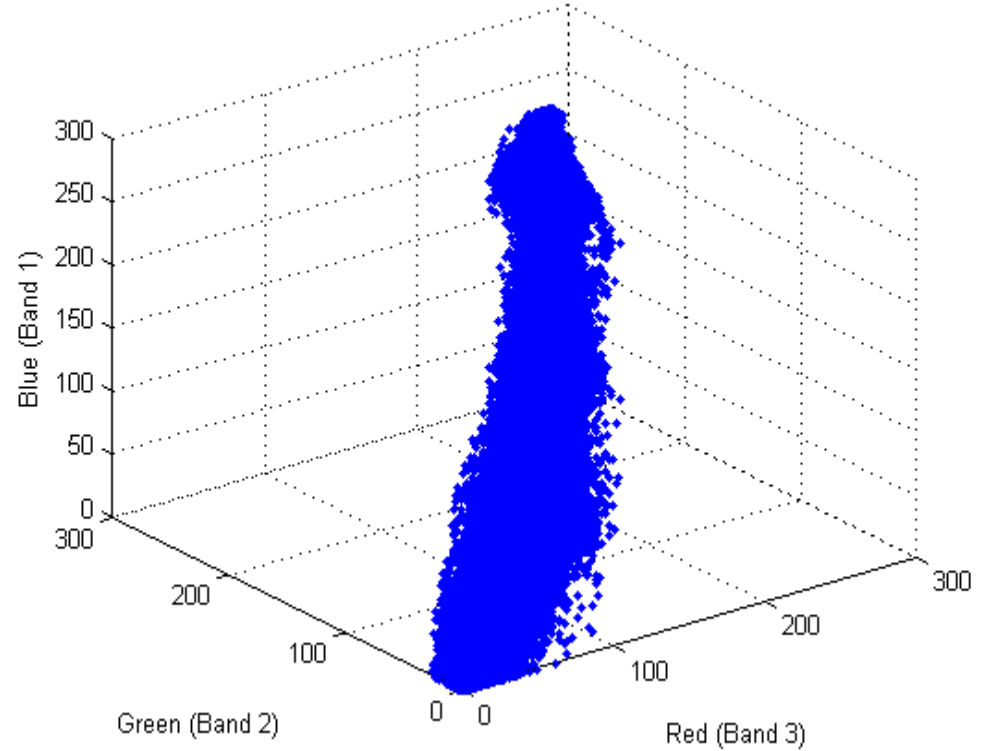


Grünkanal



Blaukanal





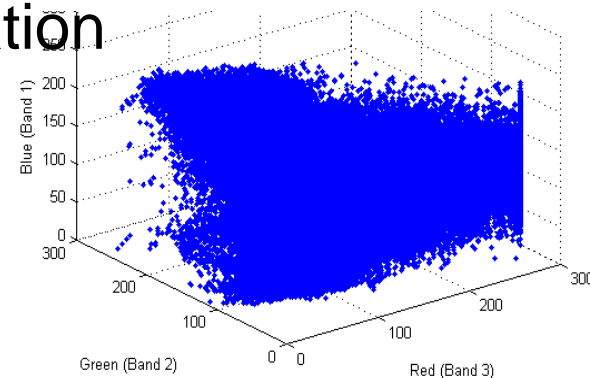
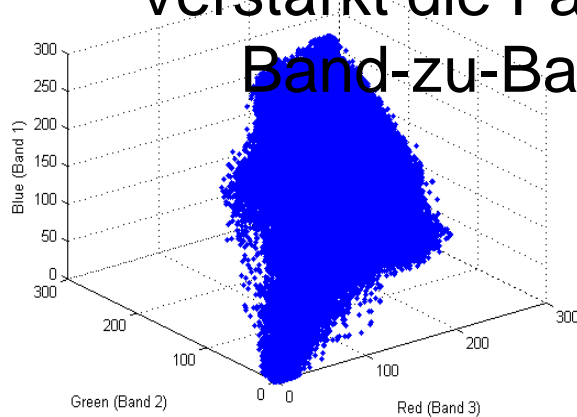
Farbraum wird nicht ausgenutzt !

rgbplot3d.m

Decorrelation Stretching



Verstärkt die Farbtrennung durch eine
Band-zu-Band-Korrelation



2. Kapitel: Pixelbasierte Bildverbesserung

1. Histogramme

- Normiertes Histogramm
- Kumulatives Histogramm

2. Bildverbesserung durch

- Histogramm-Stretching,
- Histogramm-Anpassung
- Histogrammlinearisation,
- Gammakorrektur

3. Pixelbasierte Operationen:

- Invertieren
- Clipping / Clamping
- Binarisieren
- Algorithmus von Otsu (optimaler Schwellwertsuche)

- Operationen auf Bildern, die nur die Werte von einzelnen Pixeln betreffen
- Neuer Pixelwert g' ist nur vom alten Pixelwert $g(x,y)$ abhängig

$$g'(x, y) \leftarrow f(g(x, y))$$

- Homogene Operationen sind Operationen, bei denen die Funktion $f()$ unabhängig von den Bildkoordinaten (x,y) ist. Bsp:
 - Kontrast- und Helligkeitsänderungen
 - Invertieren von Bildern
 - Quantisieren der Bildhelligkeit
 - Schwellwertbildung
 - Gammakorrektur
 - Farbtransformationen
 - U.a.

$$g' \leftarrow f(g)$$

Invertieren von Bildern

Wertebereich $[0, G-1]$, Bild $f(x,y)$



Grauwertbild



Invertiertes
Grauwertbild

Wertebereich beschränken (Clipping oder Clamping)

Clamping:

Berechnete Werte nach oben und unten begrenzen

Werte < 0 werden auf 0 gesetzt

Werte $> G-1$ werden auf $G-1$ gesetzt

Clipping:

Anhebung der unteren Grenze und Zurücksetzen des oberen Wertes

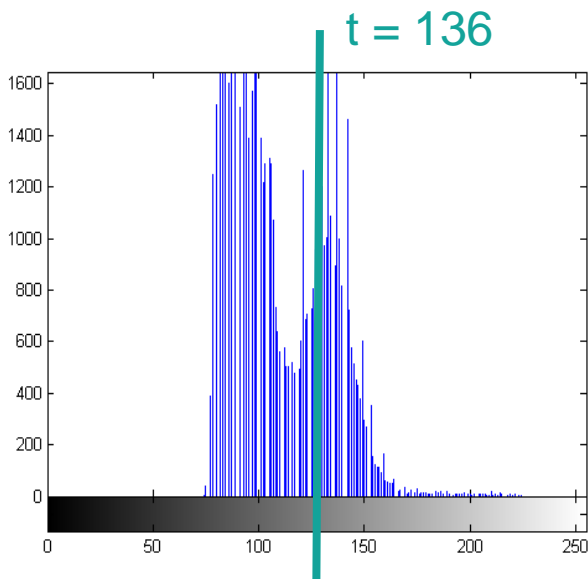
$[0, 255] \rightarrow [30, 185]$, d.h. alle Werte < 30 werden auf 30 gesetzt, alle Werte > 185 auf 185

Schwellwert-Operation (thresholding)

Binarisierung

- Spez. Quantisierung des Bildes in 2 Grauwerte (1 Bit) durch einen Schwellwert t :

$$f_t(g) = \begin{cases} g_0 & \text{für } g \leq t \\ g_1 & \text{für } g > t \end{cases}$$



`bw = im2bw(gimage, t)`

Schwellwertverfahren nach Otsu (1979)

Bestimmt einen Schwellwert, bei denen die Varianzen innerhalb der Klassen minimal und zwischen den beiden Klassen maximal wird.

Berechnung der Varianzen mit $g \in \{0, 1, \dots, G-1\}$:

- $p(g)$ ist die Auftrittswahrscheinlichkeit des Grauwertes g (relative Häufigkeit)
- \bar{g} ist der Mittelwert,
 \bar{g}_0 der Mittelwert der Klasse 0 und
 \bar{g}_1 der Mittelwert der Klasse 1
- Auftrittswahrscheinlichkeit der Pixel zu den einzelnen Klassen:

$$P_0(t) = \sum_{g=0}^t p(g)$$

$$P_1(t) = \sum_{g=t+1}^{G-1} p(g)$$

Schwellwertverfahren nach Otsu (1979)

Varianzen der beiden Klassen:

$$\sigma_0^2(t) = \sum_{g=0}^t (g - \bar{g}_0)^2 p_0(g) \quad \sigma_1^2(t) = \sum_{g=t+1}^{G-1} (g - \bar{g}_1)^2 p_1(g)$$

Varianz zwischen den Klassen:

$$\sigma_{zw}^2(t) = P_0(t) \cdot (\bar{g}_0 - \bar{g})^2 + P_1(t) \cdot (\bar{g}_1 - \bar{g})^2$$

Varianz innerhalb der Klasse:

$$\sigma_{in}^2(t) = P_0(t) \cdot \sigma_0^2(t) + P_1(t) \cdot \sigma_1^2(t)$$

Quotient, der zu maximieren ist:

$$Q(t) = \frac{\sigma_{zw}^2(t)}{\sigma_{in}^2(t)}$$

Schwellwert t unterteilt die beiden Klassen bzgl. der Varianzen in optimale Klassen

Beispiel: Binarisierung nach Otsu in Matlab



```
>> Irgb = imread('bild1.jpg');  
>> Igray = rgb2gray(Irgb);  
>> level = graythresh(Igray);  
>> Ibinary = im2bw(Igray, level);  
>> figure; imshow(Igray);  
>> figure; imshow(Ibinary);
```

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

FH Aachen
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Prof. Ingrid Scholl
Eupenerstr. 70
52066 Aachen
T +49. 241. 6009 52177
scholl@fh-aachen.de
www.fh-aachen.de