

Punktoperationen und Histogramme

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

- Eine **Punktoperation** für ein Bild I ist eine Operation, die nur die Werte der einzelnen Pixel betreffen (keine Änderung der Größe oder Geometrie).
- Jeder neue Grauwert $I'(x,y)$ ist **ausschließlich abhängig vom ursprünglichen Grauwert $I(x,y)$ und ggf. von (x,y) .**



Original



Invertierung:
Negativbild



Kontrast-
erhöhung



Aufhellung



Binarisierung



Gamma-
Korrektur

Homogene Punktoperationen

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Sei D die Menge aller im Bild I vorkommenden Grauwerte und D' eine weitere Menge von Grauwerten.

Eine **homogene Punktoperation** wird durch eine Funktion

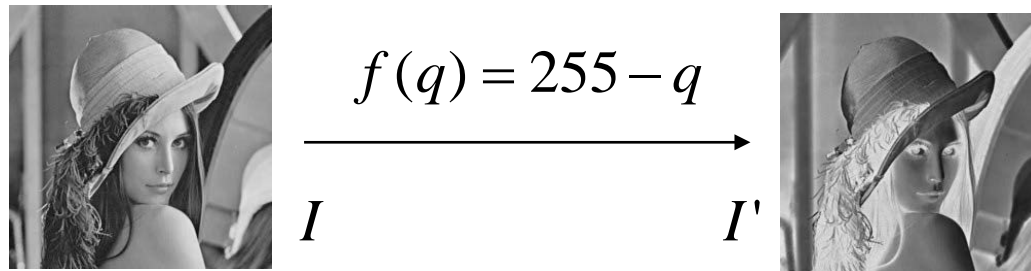
$$f : D \rightarrow D'$$

definiert, die jedem Grauwert $q \in D$ einen neuen Grauwert $q' \in D'$ zuordnet. **Schreibweise:** $I' = f(I)$

Beispiel: Für $D, D' = \{0, \dots, 255\}$ definiert

$$f : D \rightarrow D', q \mapsto 255 - q$$

eine Invertierung der Grauwerte:



Inhomogene Punktoperationen

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Beispiel: Kontrasterhöhung um 50%:

$$f : D \rightarrow D', q \mapsto 1.5 \cdot q \quad \text{bzw.} \quad f(q) = 1.5 \cdot q$$

oder Aufhellen um 10 Grauwertstufen (homogene Grauwertverschiebung)



$$f : D \rightarrow D', q \mapsto q + 10 \quad \text{bzw.} \quad f(q) = q + 10$$

Bemerkung: Mitunter bildet die Funktion f die Grauwerte nicht in den gewünschten Grauwertebereich D' ab, also z.B.

$$f : D \rightarrow \mathbb{R}$$

Dies kann durch Quantisierung und Clamping korrigiert werden...

Quantisieren und Clamping

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Quantisieren bedeutet, die resultierenden Grauwerte auf die (meist diskreten) Werte von D' abzubilden.

Beispiel: Für ganzzahlige Datentypen z.B. durch Abrunden

$$I'(x, y) = \lfloor f(I(x, y)) \rfloor$$

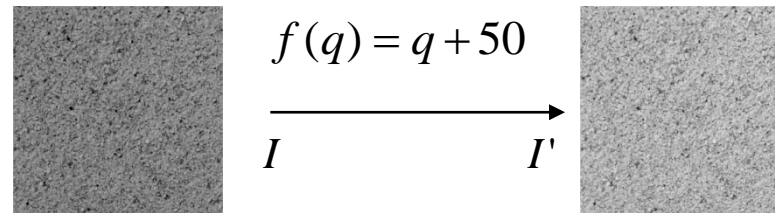
Clamping bedeutet, den überschrittenen Wertebereich zu korrigieren.

Beispiel: Für 8bit-Bilder

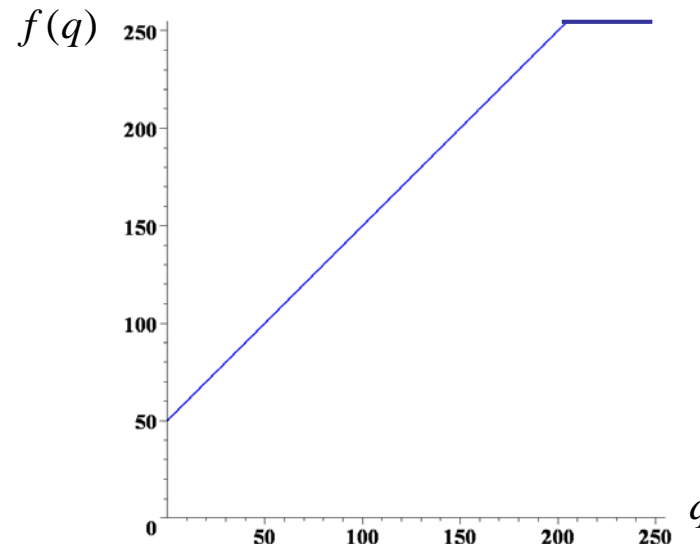
$$I'(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{falls } f(I(x, y)) < 0 \\ 255 & \text{falls } f(I(x, y)) > 255 \\ f(I(x, y)) & \text{sonst} \end{cases}$$

Beispiel Aufhellung

Für eine Aufhellung in Form einer **homogenen Grauwertverschiebung**



sieht die zugehörige Funktion so aus



Beispiel Gammakorrektur

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

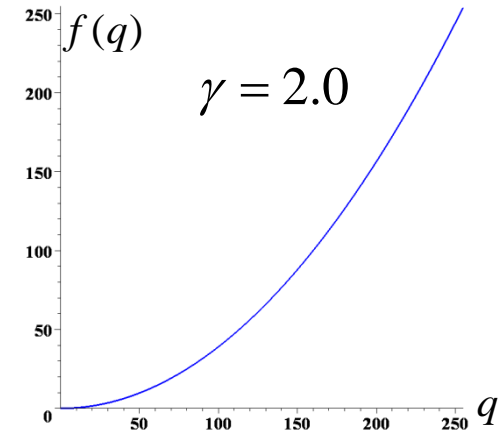
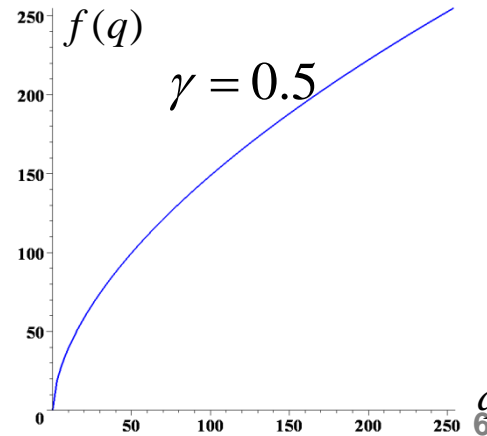
Histo. Matching

Eine **Gammakorrektur** (für $D = \{0, \dots, Q-1\}$)



$$f(q) = (q/Q)^\gamma \cdot Q \quad \text{mit} \quad \gamma \in (0, \infty)$$

manipuliert die Grauwerte abhängig von der Helligkeit:



Inhomogene Punktoperationen

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Eine **inhomogene Punktoperation** wird durch eine Funktion

$$f : D \times X \times Y \rightarrow D'$$

definiert, die jedem Grauwert $q \in D$ abhängig von der **Pixelposition** (x, y) einen neuen Grauwert $q' \in D'$ zuordnet.

Beispiel: Lokale Kontrastanpassung.

Histogramme

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Häufig wird die Funktion f an Hand des **Histogramms** bestimmt...

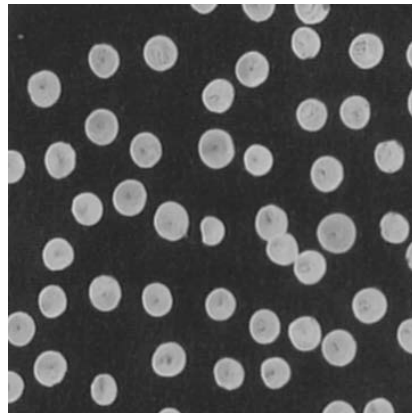
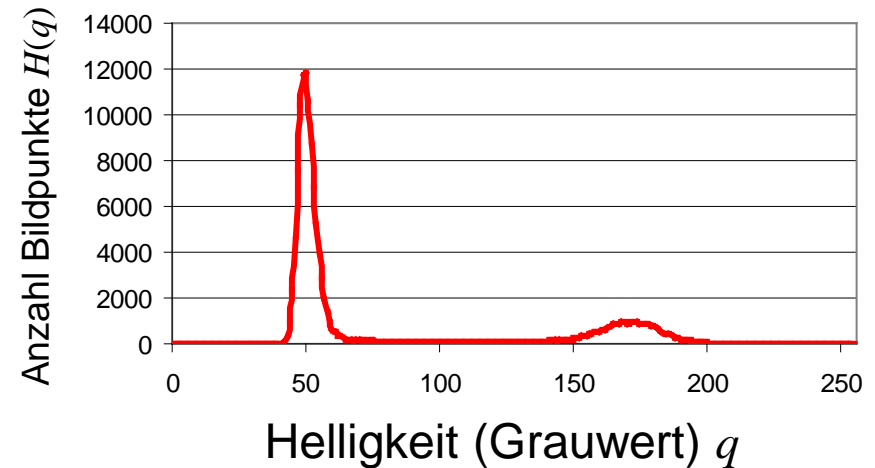


Bild I



Ein Histogramm gibt für jeden Grauwert q an, wie häufig dieser Grauwert im Bild vorkommt.

Beispielhistogramm...

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

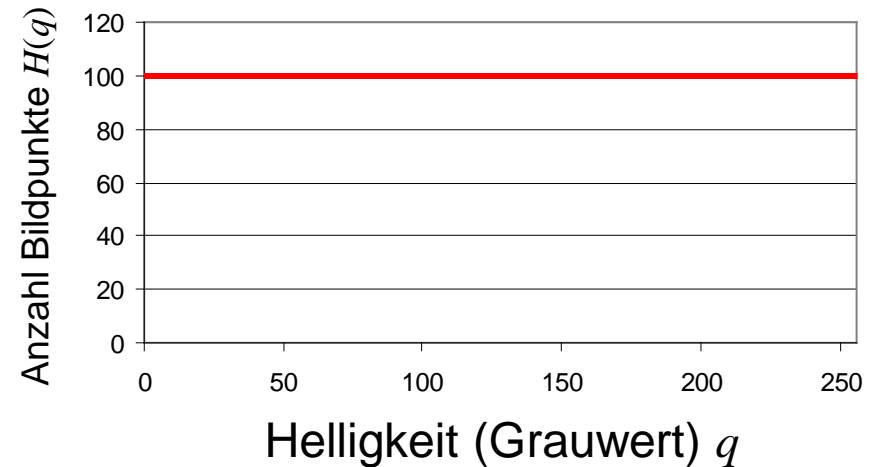
Differenzbilder

Histo. Matching

Beispiel: Ein Grauwertkeil ($q = 0..255$) der Breite $B = 256$ und der Höhe $H = 100$.



Bild I



Wie sieht das Histogramm aus?

Segmentierung durch **Binarisierung**

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Aufgabe: Segmentierung in zwei Klassen: Vorder- und Hintergrundpixel.

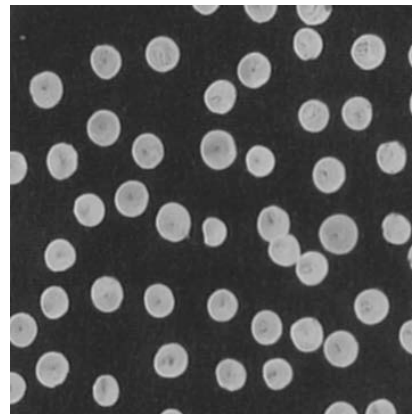
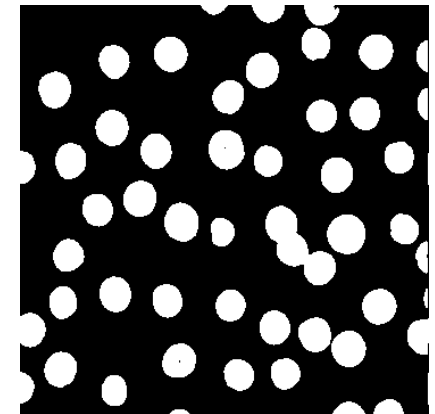


Bild I

$f(q)$
→
Binarisierung



Binärbild I'

Für die Segmentierung wird eine geeignete Funktion der Form

$$f : D \rightarrow \{0,1\}$$

benötigt. Häufig lässt sich diese Funktion durch einen geeigneten Schwellwert T (threshold) definieren:

$$f(q) = \begin{cases} 0 & \text{für } q \leq T \\ 1 & \text{für } q > T \end{cases}$$

Histogrammbasierte Segmentierung

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Die Schwelle T im Histogramm:

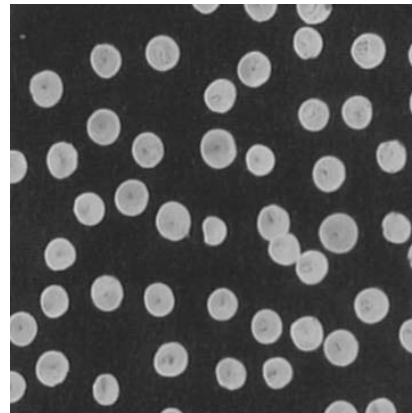
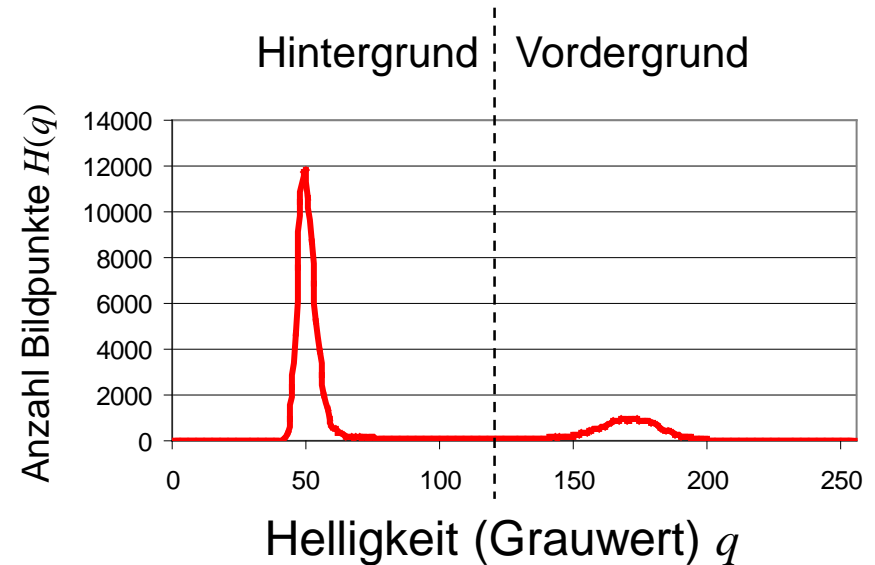


Bild I



Schwellwert $T = 120$

Frage: Wo wählen wir die Schwelle T ? In diesem Bild ist das recht offensichtlich, aber ...

Wahl des Schwellwerts

Wie wählt man die Schwelle hier?

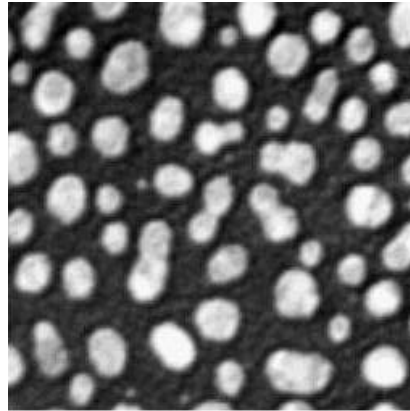
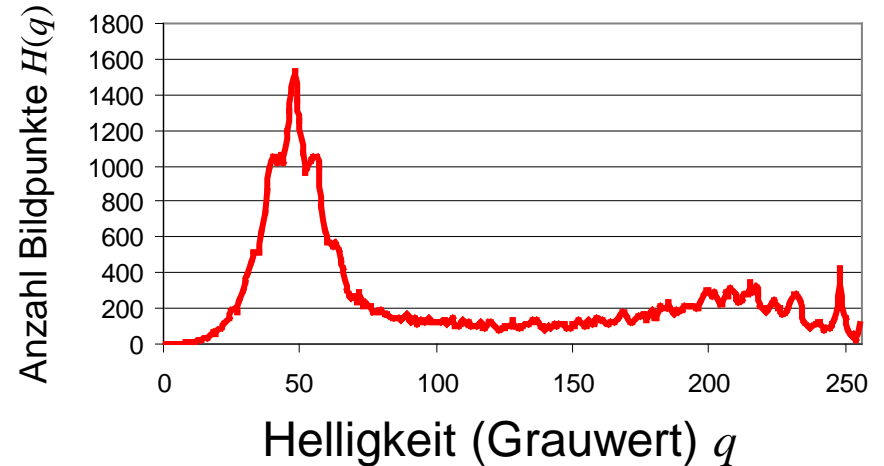


Bild I



Antwort: Dafür benötigen wir normierte Histogramme und ein wenig Statistik...

Action Item:
Gimp

Normierte Histogramme

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Zunächst benötigen wir das Bild I und die Anzahl der Pixel A (= Breite \times Höhe des Bildes)

Histogramm:

$$H : D \rightarrow \mathbb{N}$$



Normiertes Histogramm:

mit $h : D \rightarrow [0,1]$

$$h(q) = \frac{1}{A} H(q)$$

Nach dieser Konstruktion ist das normierte Histogramm h eine **Zähldichte**, denn es gilt

i) $0 \leq h(q) \leq 1$ für alle $q \in D$

ii) $\sum_{q \in D} h(q) = 1$

Mittelwerte

Für ein Bild I der Breite B und Höhe H lässt sich die **mittlere Helligkeit** wie folgt berechnen:

$$m = \frac{1}{H \cdot B} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{B-1} I(x, y)$$

Die mittlere Helligkeit (auch: **mittlerer Grauwert**) ist also gerade das arithmetische Mittel der Grauwerte.

Wird nun das normierte Histogramm h von I als Zähldichte aufgefasst, so entspricht der **Erwartungswert**

$$\mu = \sum_{q=0}^{Q-1} q h(q)$$

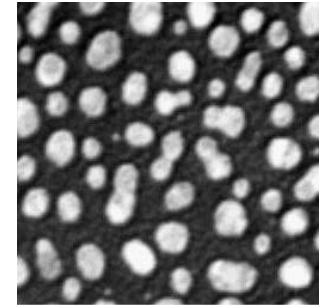
dem mittleren Grauwert. Man spricht hier kurz vom **Mittelwert**.

Rot umrandete Formeln lernen Sie bitte auswendig!!!

Beispiel mittlere Helligkeit und Erwartungswert

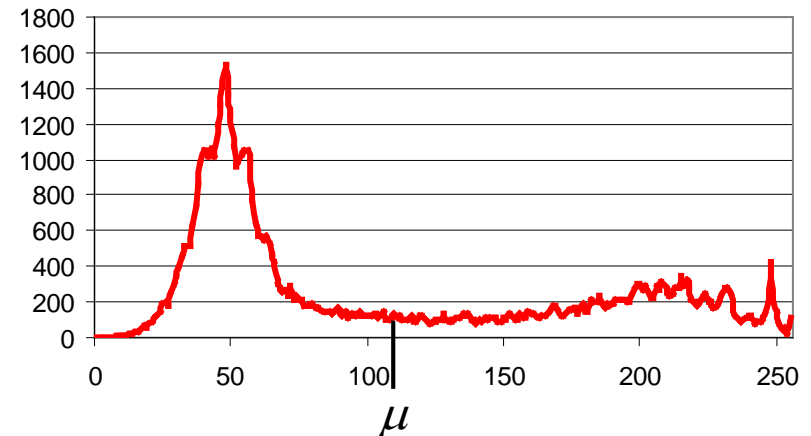
Mittlere Helligkeit

$$m = \frac{1}{H \cdot B} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{B-1} I(x, y) = 103.75$$



Erwartungswert (Mittelwert)

$$\mu = \sum_{q=0}^{Q-1} q h(q) = 103.75$$



Ab sofort unterscheiden wir nicht mehr zwischen den Begriffen »mittlere Helligkeit« und »Erwartungswert«

Varianz und Standardabweichung

Aus den Grauwerten und dem mittleren Grauwert lässt sich auch die **empirische Varianz** berechnen:

$$s^2 = \frac{1}{(H \cdot B - 1)} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{B-1} (I(x, y) - m)^2$$

Die Wurzel s aus der Varianz wird als **empirische Standardabweichung** bzw. als **empirische Streuung** bezeichnet.

Wird wieder das normierte Histogramm h als Zähldichte aufgefasst, so wird die **Varianz** wie folgt berechnet:

$$\sigma^2 = \sum_{q=0}^{Q-1} (q - \mu)^2 h(q)$$

Die Wurzel σ aus der Varianz wird als **Standardabweichung** bzw. **Streuung** bezeichnet.

Beispiel (empirische) Varianz

Empirische Varianz:

$$s^2 = \frac{1}{(H \cdot B - 1)} \sum_{y=0}^{H-1} \sum_{x=0}^{B-1} (I(x, y) - m)^2 = 5106.29$$

Varianz:

$$\sigma^2 = \sum_{q=0}^{Q-1} (q - \mu)^2 h(q) = 5106.37$$

Die Erwartungstreue besagt, dass der Erwartungswert des Schätzers gerade der der Varianz entspricht.

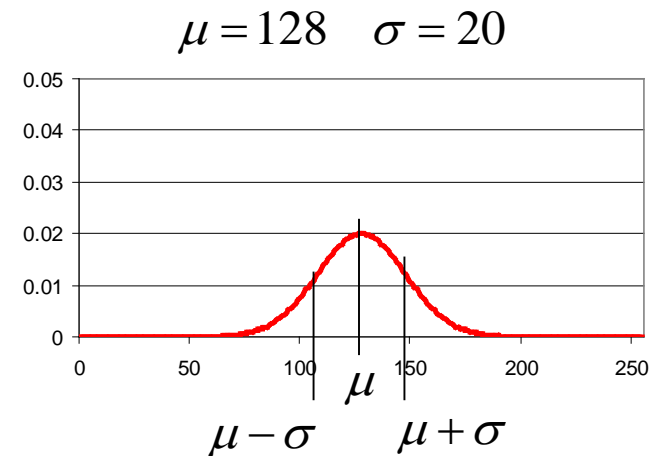
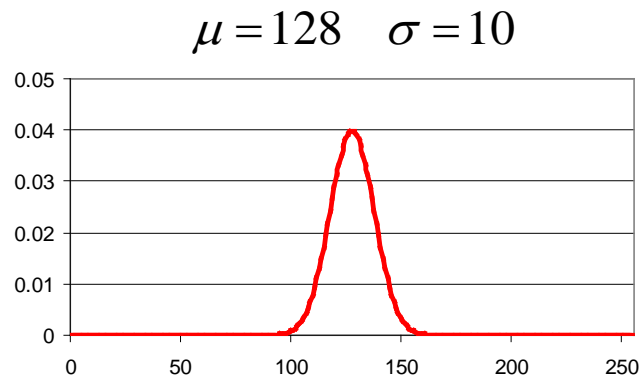
Die empirische Varianz ist ein so genannter **erwartungstreuer Schätzer** für die Varianz (vorausgesetzt, wir fassen das normierte Histogramm als Zähldichte einer Zufallsvariablen auf).

Ab sofort verwenden wir die Varianz.

Interpretation der Standardabweichung

Die Varianz bzw. die Standardabweichung sagen uns, wie breit die Grauwerte um den Mittelwert streuen.

Das sieht man am besten an der Gauß'schen Glockenkurve (die ja die Dichte der Normalverteilung ist):



Schwellwertbestimmung nach Otsu I

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

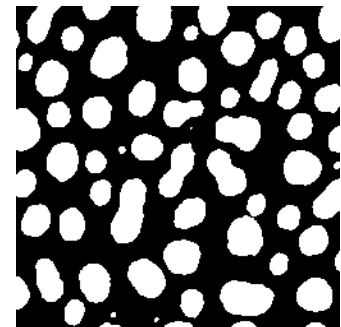
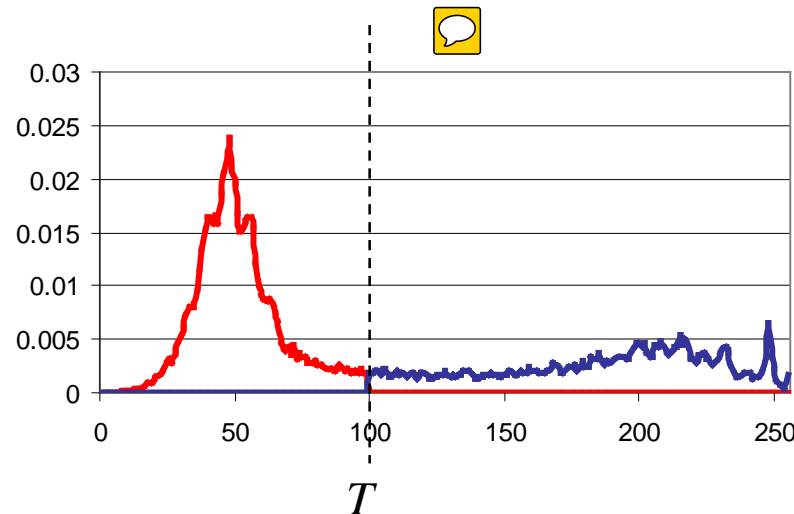
Histo. Matching

Sei $D=\{0,\dots,Q-1\}$ die Menge der Grauwerte eines Bilds I .

Sei ferner $h : D \rightarrow [0,1]$ das normierte Histogramm von I .

Weiter nehmen wir zunächst an, $T \in D$ wäre eine Schwelle, die die Pixel im Bild in zwei Klassen Hintergrund H (dunkel) und Vordergrund V (hell) aufteilt.

Hier zum Beispiel $T = 100$:



Schwellwertbestimmung nach Otsu II

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

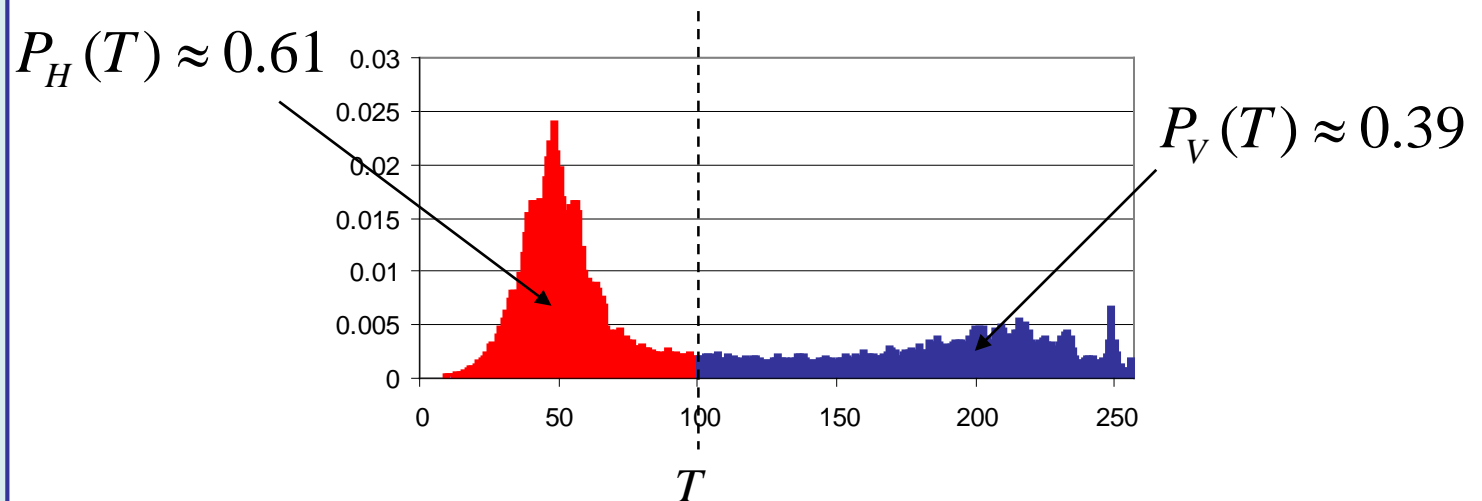
Histo. Matching

Dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Pixel der Klasse H angehört

$$P_H(T) = \sum_{q=0}^T h(q) \approx 0.61$$

und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Pixel der Klasse V angehört

$$P_V(T) = \sum_{q=T+1}^{Q-1} h(q) = 1 - P_H(T) \approx 0.39$$



Schwellwertbestimmung nach Otsu III

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Zudem können wir folgende Mittelwerte berechnen:

- Mittlerer Grauwert der Hintergrundpixel

$$\mu_H(T) = \frac{1}{P_H(T)} \sum_{q=0}^T q h(q)$$

- Mittlerer Grauwert der Vordergrundpixel

$$\mu_V(T) = \frac{1}{P_V(T)} \sum_{q=T+1}^{Q-1} q h(q)$$

- Mittlerer Grauwert des gesamten Bilds

$$\mu = \sum_{q=0}^{Q-1} q h(q)$$

Schwellwertbestimmung nach Otsu IV

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

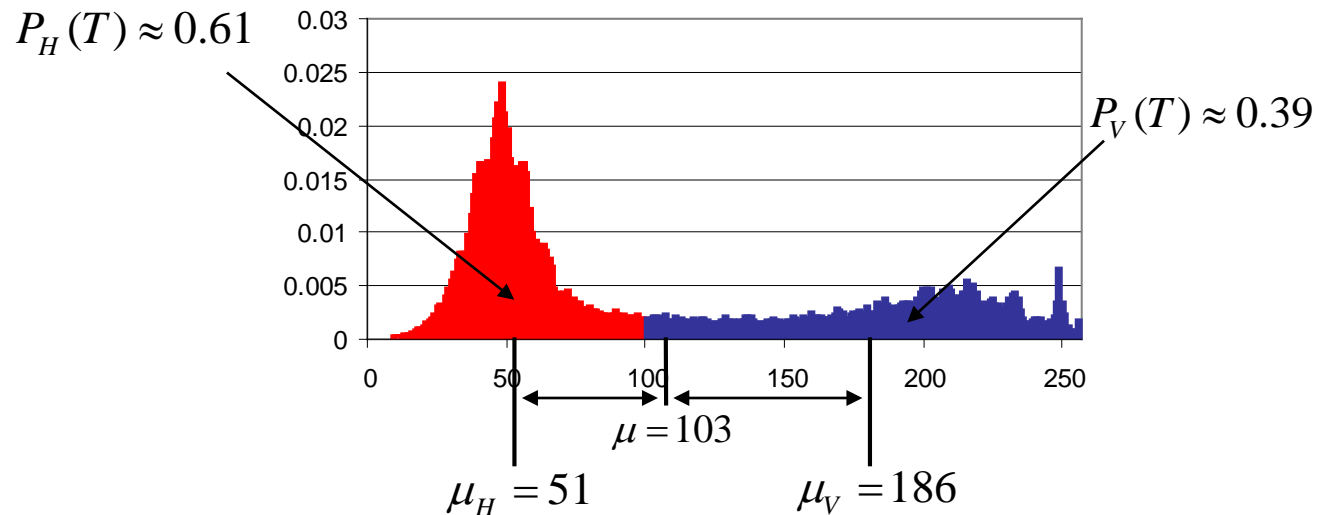
Differenzbilder

Histo. Matching

Nun kann (abhängig von T) die **Varianz zwischen den Klassen** (between class variance) definiert werden:

$$\sigma_b^2(T) = P_H(T)(\mu_H(T) - \mu)^2 + P_V(T)(\mu_V(T) - \mu)^2$$

In unserem Beispiel ist z.B. für $T=100$:



Die Idee von Otsu war, die Schwelle T^* so zu wählen, dass die Varianz zwischen den Klassen maximal ist...

Schwellwertbestimmung nach Otsu V

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

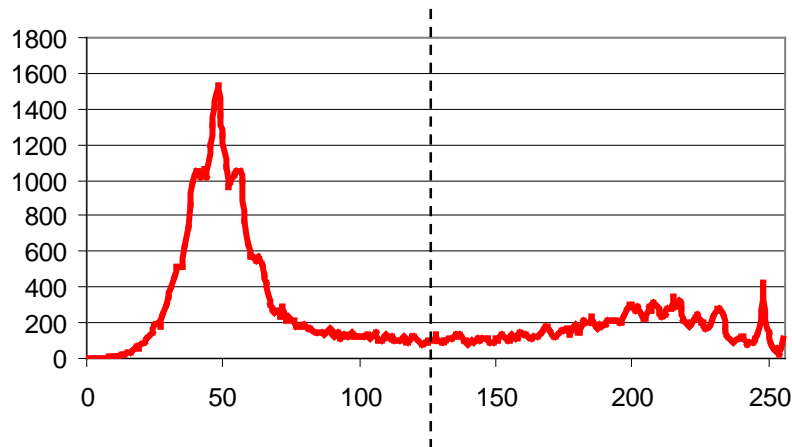
Differenzbilder

Histo. Matching

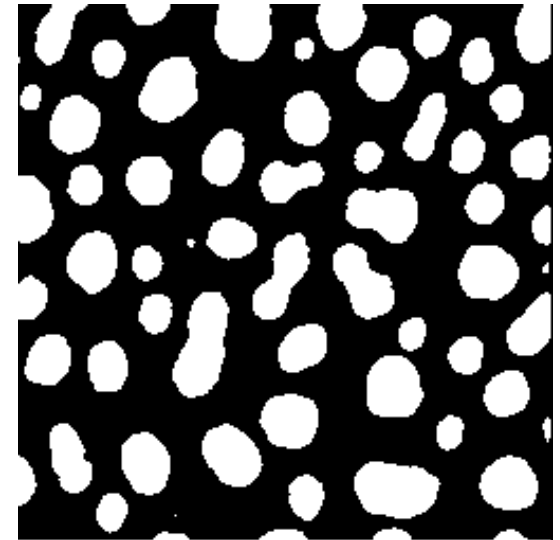
Suche also die Schwelle T^* mit

$$T^* = \arg \max_{T=0..Q-1} \sigma_b^2(T)$$

Nochmals unser Beispiel:



$$T^* = 126$$



Schwellwertbestimmung nach Otsu VI

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Bemerkung: Man kann die Varianz zwischen den Klassen durch eine (in Bezug auf die Rechenzeit) effizientere Formel berechnen:

$$\sigma_b^2(T) = \frac{(\mu \cdot P_H(T) - \mu(T))^2}{P_H(T)(1 - P_H(T))}$$

wobei

$$\mu(T) = \sum_{q=0}^T q h(q)$$

der mittlere Grauwert bis zur Schwelle T ist. Die Implementierung kann iterativ über T erfolgen, denn es ist für alle $T > 0$:

$$\mu(T) = \mu(T-1) + T \cdot h(T)$$

$$P_H(T) = P_H(T-1) + h(T)$$

Schwellwertbestimmung nach Otsu VII

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Berechnet man noch die Varianz der Grauwerte des gesamten Bildes

$$\sigma^2 = \sum_{q=0}^{Q-1} (q - \mu)^2 h(q)$$

so erhält man durch

$$\eta = \frac{\sigma_b^2(T^*)}{\sigma^2}$$

ein Maß für die Trennbarkeit der beiden Klassen.

Schwellwertbestimmung nach Otsu VIII

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

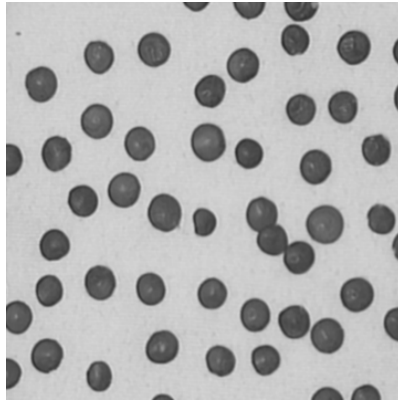
Histogramme

Schwellwerte

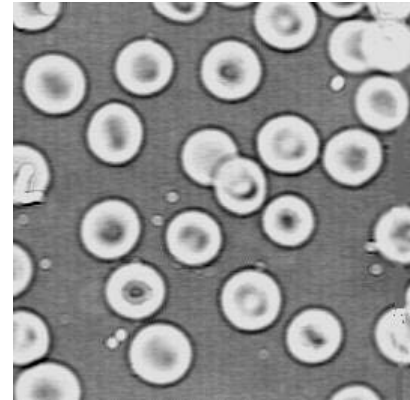
Differenzbilder

Histo. Matching

Beispiele für die Trennbarkeit



$$\eta \approx 0.95$$



$$\eta \approx 0.85$$



$$\eta \approx 0.87$$



$$\eta \approx 0.48$$

Schwellwertbestimmung nach Otsu VIII

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Alternativ kann man die **Varianz innerhalb der Klassen** (withinclass variance) definieren

$$\sigma_w^2(T) = P_H(T)\sigma_H^2(T) + P_V(T)\sigma_V^2(T)$$

wobei

$$\sigma_H^2(T) = \frac{1}{P_H(T)} \sum_{q=0}^T (q - \mu_H(T))^2 h(q)$$

die Varianz der Hintergrundpixel und

$$\sigma_V^2(T) = \frac{1}{P_V(T)} \sum_{q=T+1}^{Q-1} (q - \mu_V(T))^2 h(q)$$

die Varianz der Vordergrundpixel bezeichnet.

Hier wäre diejenige Schwelle T^* ideal, für die die Varianz innerhalb der Klassen minimal ist.

Schwellwertbestimmung nach Otsu IX

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Man kann zeigen (mit Umformungen, Bayes, etc.), dass gilt

$$\sigma^2 = \sigma_b^2(T) + \sigma_w^2(T)$$

Da der linke Ausdruck unabhängig von T ist (also ein fester Wert ist) gilt:

$$T^* = \arg \max_{T=0..Q-1} \sigma_b^2(T) = \arg \min_{T=0..Q-1} \sigma_w^2(T)$$

Literatur:

Nobuyuki Otsu. A threshold selection method from grey level histograms. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. New York 9.1979, S.62–66

Implementierung: Otsu

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Action Item:
Was muss
hier berechnet
werden?

```
int CMyImage::CalcThreshByOtsu()  
{  
    CMyHisto histo;                // Histogramm, Zugriff z.B. via  
    CalcHisto(histo);              // double histo.GetEntry(q)  
  
    double sigmaB    = 0.0;  
    double maxSigmaB = -1.0;  
  
    int T;  
    int TStar = -1;  
    ▪  
    ▪  
    ▪  
    for (T = 0; T < 255; T++)  
    {  
        ▪  
        ▪  
        ▪  
        if (sigmaB > maxSigmaB)  
        {  
            maxSigmaB = sigmaB;  
            TStar      = T;  
        }  
    }  
    return TStar;  
}
```

Histogrammbasierte Segmentierung eignet sich zur Detektion, insbesondere in Infrarot-Bildern:



Original:
Infrarot 8-12 μm



Binärbild

Grenzen der Binarisierung nach Otsu

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Wie jedes Verfahren, hat auch das Verfahren von Otsu seine Grenzen:

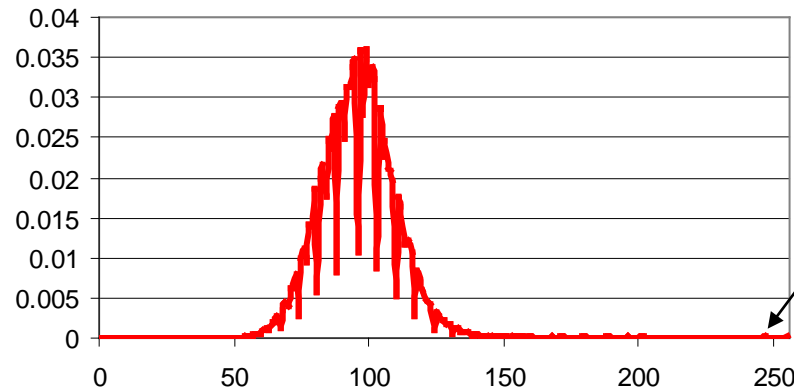


Original



Binärbild

Otsu setzt bei seinem Verfahren voraus, dass es sich um eine bimodale Dichte handelt (=Dichte mit zwei Maxima)...



Die wenigen, vorhandenen Vordergrundpixel stecken hier!

Automatische Schwellwertbestimmung I

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

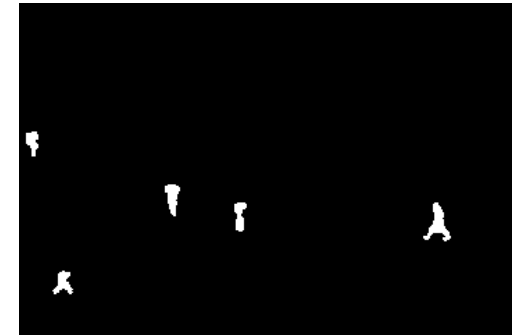
Differenzbilder

Histo. Matching

Alternative: Gehen wir davon aus, dass wir repräsentatives und annotiertes Bildmaterial gegeben haben (z. B. durch eine manuell erstellte binäre **Maske**):

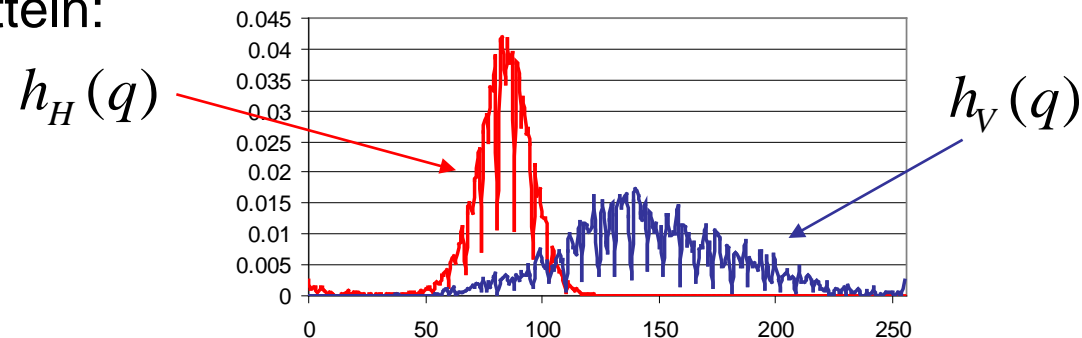


Original



Maske

Dann können wir die normierten Histogramme von Hintergrund- und Vordergrundpixeln voneinander getrennt ermitteln:



Automatische Schwellwertbestimmung II

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Aus diesen Histogrammen können wir die (empirischen) Größen

$$\mu_H = \sum_{q=0}^{Q-1} q \cdot h_H(q) \quad \text{und} \quad \mu_V = \sum_{q=0}^{Q-1} q \cdot h_V(q)$$

$$\sigma_H^2 = \sum_{q=0}^{Q-1} (q - \mu_H)^2 h_H(q) \quad \text{und} \quad \sigma_V^2 = \sum_{q=0}^{Q-1} (q - \mu_V)^2 h_V(q)$$

getrennt voneinander bestimmen sowie die **a priori**
Auftrittswahrscheinlichkeiten

$$P_H = \frac{\text{Anzahl Pixel Hintergrund}}{\text{Anzahl Pixel gesamt}} \quad \text{und} \quad P_V = 1 - P_H$$

Automatische Schwellwertbestimmung III

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

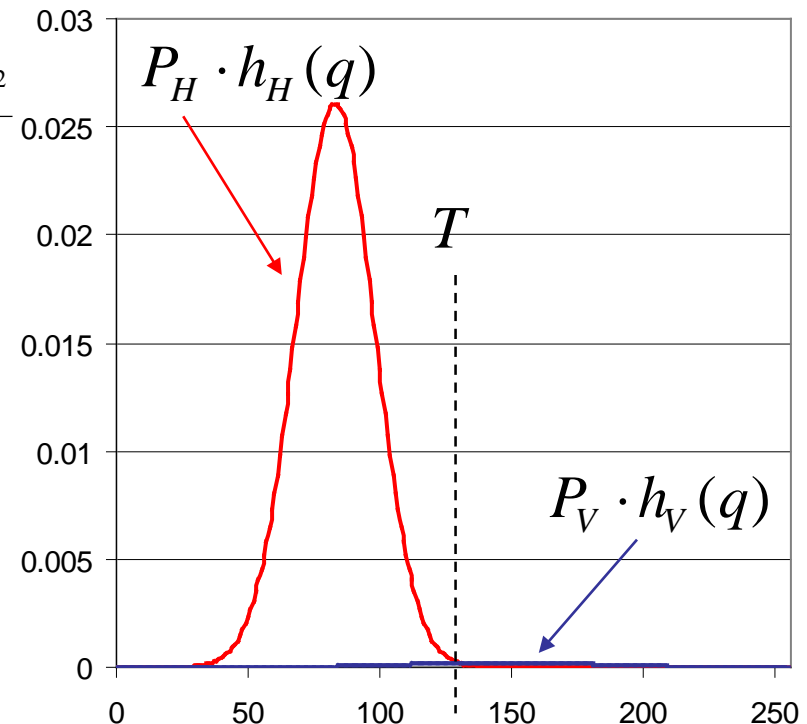
Differenzbilder

Histo. Matching

Als nächstes gehen wir davon aus, dass die Grauwerte von Hinter- und Vordergrund (ungefähr) normalverteilt sind, die Histogramme also Gauß'sche Glockenkurven sind, d.h.

$$h_H(q) = \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(q-\mu_H)^2}{2\sigma_H^2}}$$

$$h_V(q) = \frac{1}{\sigma_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(q-\mu_V)^2}{2\sigma_V^2}}$$



Die Schwelle, die die wenigsten Fehlzuordnungen zur Folge hat, ist gerade der Schnittpunkt der beiden – mit den Auftrittswahrscheinlichkeiten gewichteten – Glockenkurven.

Automatische Schwellwertbestimmung IV

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Wir suchen also die Schwelle T mit

$$P_H h_H(T) = P_V h_V(T)$$

Einsetzen, logarithmieren und umformen ergibt

$$P_H h_H(T) = P_V h_V(T)$$

$$\Leftrightarrow P_H \frac{1}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\mu_H)^2}{2\sigma_H^2}} = P_V \frac{1}{\sigma_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\mu_V)^2}{2\sigma_V^2}}$$

\vdots

$$\Leftrightarrow AT^2 + BT + C = 0$$

mit

$$A = \sigma_V^2 - \sigma_H^2$$

$$B = 2(\mu_V \sigma_H^2 - \mu_H \sigma_V^2)$$

$$C = \mu_H^2 \sigma_V^2 - \mu_V^2 \sigma_H^2 + 2\sigma_V^2 \sigma_H^2 \ln \frac{\sigma_H P_V}{\sigma_V P_H}$$

Beispiel...

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

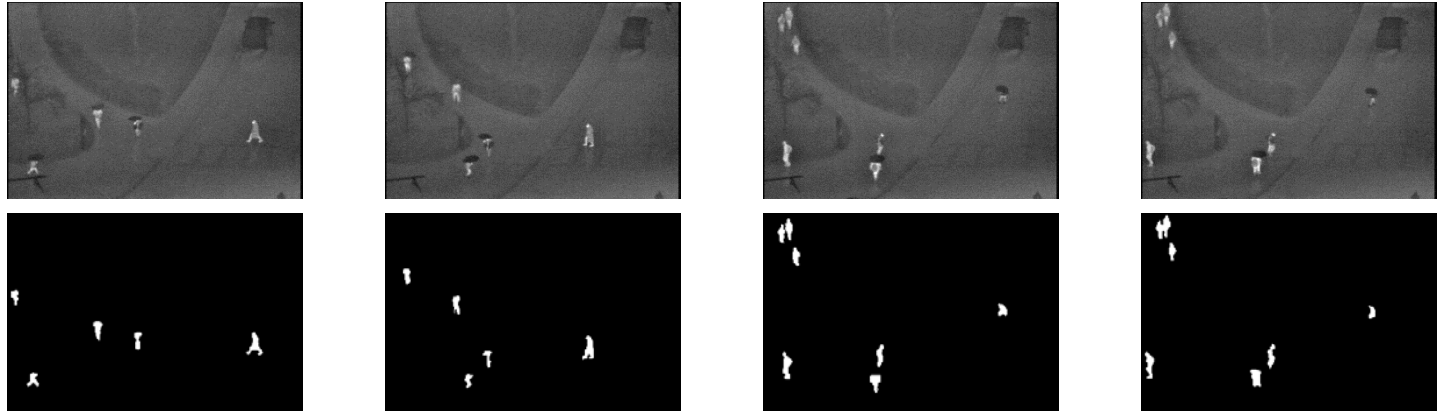
Histogramme

Schwellwerte

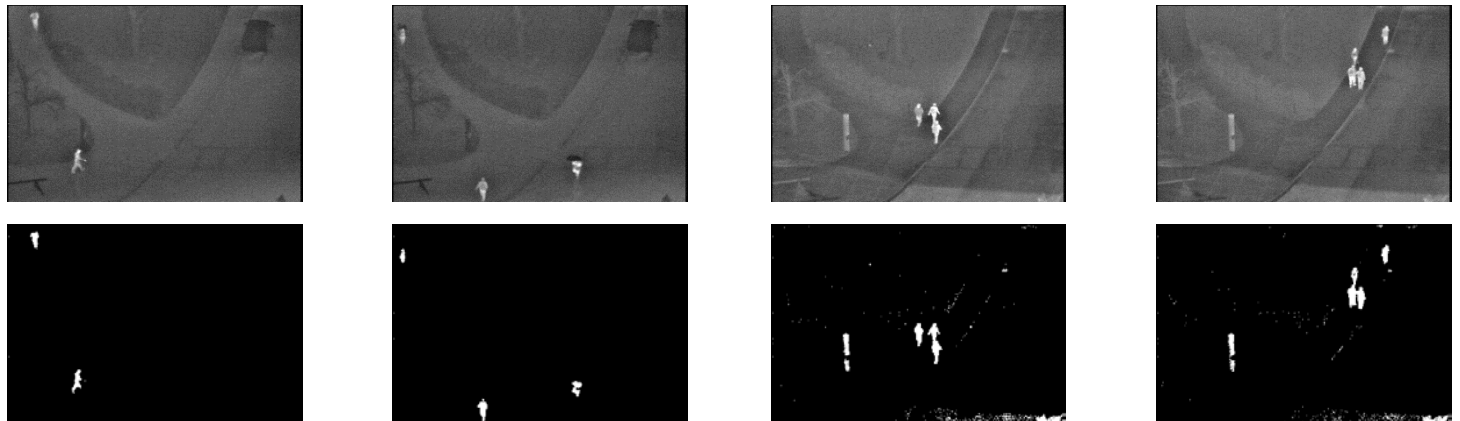
Differenzbilder

Histo. Matching

Bilder zur Bestimmung der Größen $P_H, P_V, \sigma_H, \sigma_V, \mu_H, \mu_V$



Die daraus berechnete Schwelle T wurde auf dieses Bildmaterial angewandt:



gleiche Szene

andere Szene

Halten wir fest:

Wenn wir repräsentatives, maskiertes Bildmaterial zur Verfügung haben und annehmen können, dass die Grauwerte von Vorder- und Hintergrund normalverteilt sind, dann lässt sich die Schwelle T durch Lösen einer quadratischen Gleichung bestimmen...

Trinärbilder

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

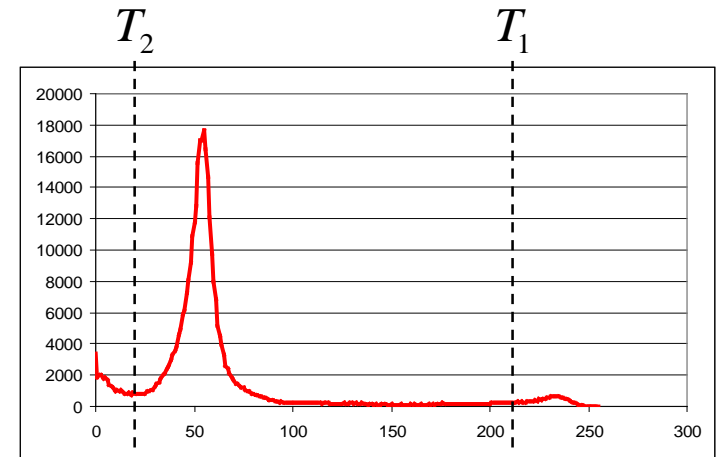
Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Das Verfahren von Otsu lässt sich auf multimodale Dichten, also auf mehrere Klassen erweitern!

Beispiel:



Original



Binärbild



Trinärbild

Wozu Schatten segmentieren?

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

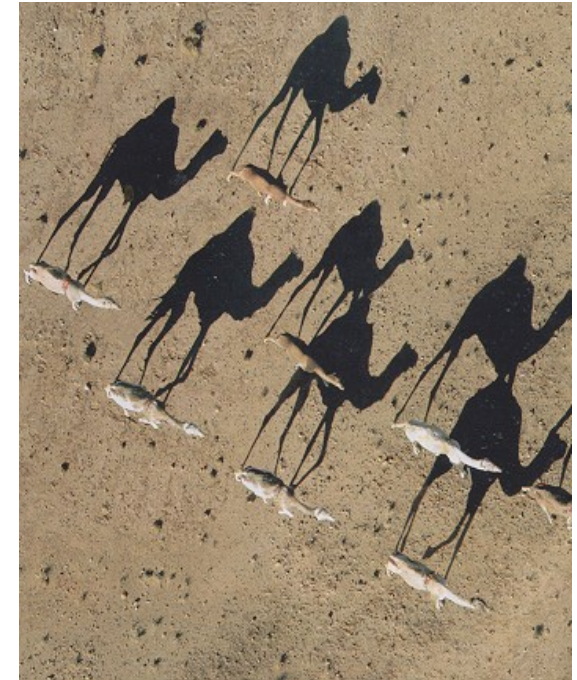
Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Beispiel:



Schatten beinhaltet mitunter mehr Information als das abgebildete Objekt!

Grenzen histogrammbasierter Segmentierung...

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

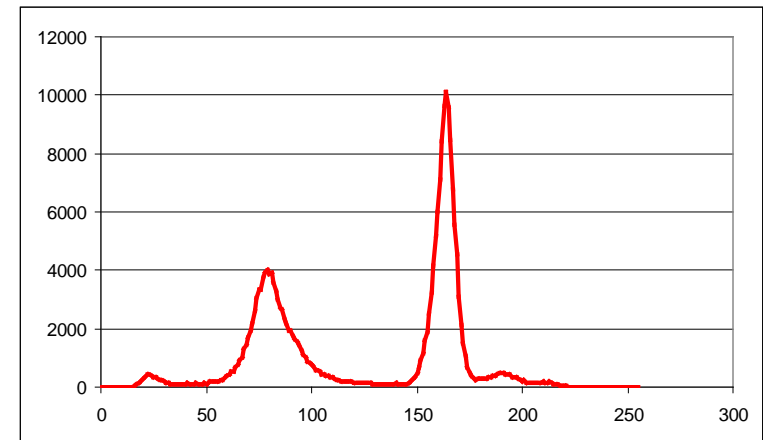
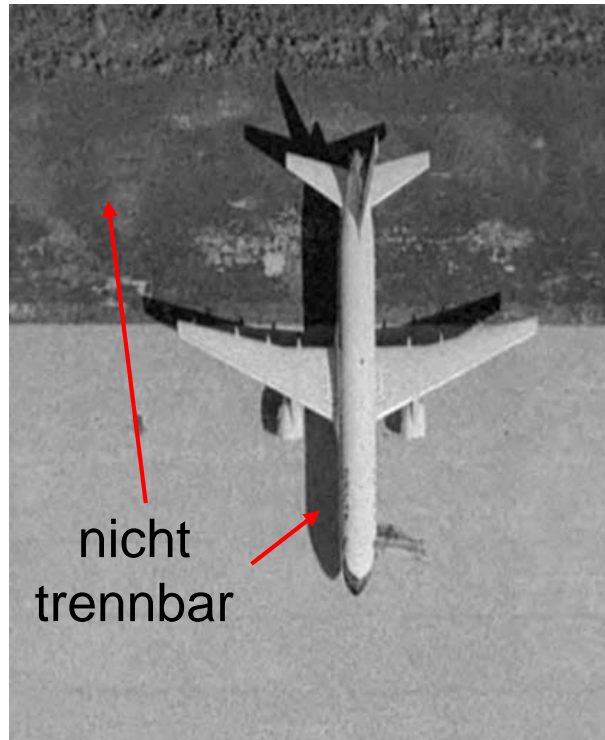
Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Bei heuristischen Annahmen, wie »Schatten ist der dunkelste Bereich im Bild«, ist immer Vorsicht geboten!!!

Frage: Lässt sich der Schatten histogrammbasiert segmentieren?



Nein! Der Schatten auf der Asphaltfläche und Grasfläche haben etwa dieselbe Helligkeit!

Grenzen histogrammbasierter Techniken...

Kapitel 3

Punktoperationen

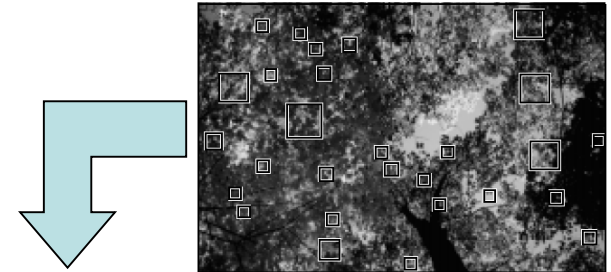
Definition

Histogramme

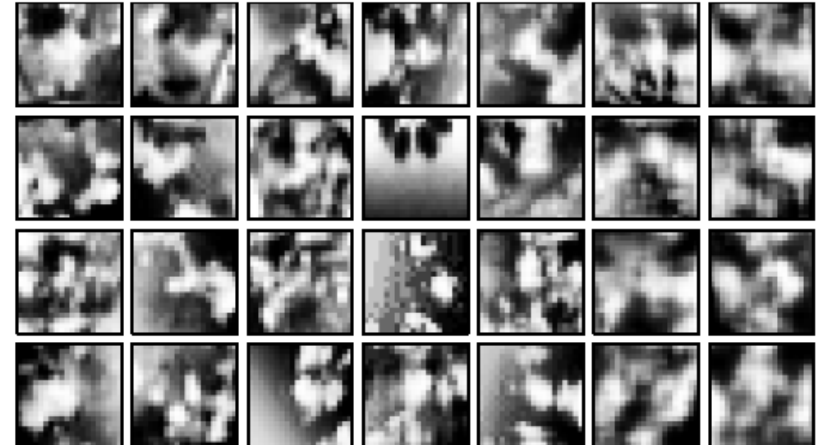
Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching



Gesichter



Bildausschnitte mit ähnlichen
Grauwertverteilungen

In Histogrammen geht die räumliche Information verloren!
Abhilfe: Andere Ansätze...

Am Rande: Differenzbilder

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Eine besondere Form der Punktoperation ist die Bildung von Differenzbildern. Für zwei Bilder I_1 und I_2 ist das **Differenzbild** I gegeben durch

$$I(x, y) = I_1(x, y) - I_2(x, y)$$

Achtung: Der Wertebereich vom Differenzbild I liegt nicht im Bereich von 0 bis 255!

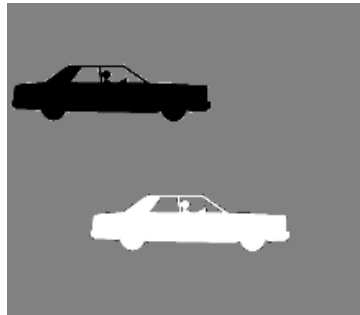


Bild I_1

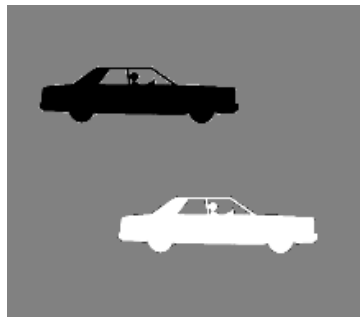
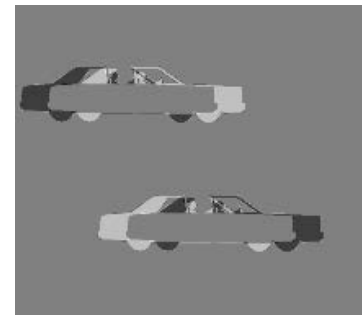
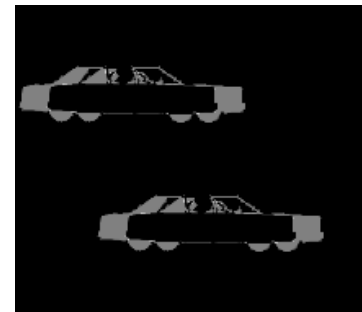


Bild I_2



$$0.5 \cdot (I_1(x, y) - I_2(x, y) + 255)$$



$$|I_1(x, y) - I_2(x, y)|$$

Anwendung von Differenzbildern

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Differenzbilder kommen vor allem für die Detektion von Bewegung zum Einsatz:



Differenzbild aus zwei
bewegungskompensierten
Bildern



binarisiertes Differenzbild

Das funktioniert nur wenn

1. keine Änderungen bzgl. Helligkeit stattgefunden hat und
2. eventuelle Eigenbewegungen kompensiert wurden...

Eine Konvention...

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching

Allgemein verstehen wir für beliebige, auf der Menge der Grauwerte definierte Operationen **op** (z.B. + - · /) unter

$$I = I_1 \text{ op } I_2$$

die **bildpunktweise** Anwendung des Operators, also

$$I(x, y) = I_1(x, y) \text{ op } I_2(x, y)$$

Comming soon...

- Histogramm Matching

Kapitel 3

Punktoperationen

Definition

Histogramme

Schwellwerte

Differenzbilder

Histo. Matching