

Bildverarbeitung 1 Vom Pixel zum Objekt

Dr. Andrea Miene

Verarbeitungsstufen der Bildanalyse

- ▶ **Bildgebung**
 - Bilderfassung durch verschiedene Sensoren
- ▶ **Vorverarbeitung**
 - Bildverbesserung, ...
- ▶ **Segmentierung**
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- ▶ **Merkmalsextraktion**
 - Farbe, Kontur, Textur...
- ▶ **Klassifikation**
 - Diskriminantenfkt., Abstand, Wahrscheinlichkeit, ...

**Mustererkennungs-
Paradigma**

Segmentierung

- ▶ Begriffsbestimmung
- ▶ Einfache Verfahren (punktorientiert)
 - Geeignete Merkmale auf Ebene einzelner Punkte (Pixel)
 - Globale Schwellwertsegmentierung
 - Lokale adaptive Schwellwertsegmentierung
- ▶ Komplexe Verfahren (nachbarschaftsorientiert)
 - Diskontinuitätskriterium (Kanten)
 - Homogenitätskriterium (Intensitätswert, Farbe)
 - Hybride Verfahren (Kombination aus beiden Kriterien)

Segmentierung

- ▶ Zerlegung des Bildes in Segmente
- ▶ Z.B. Trennung in interessierende Strukturen (Objekte) und nicht interessierende Strukturen (Hintergrund)
- ▶ Einfache Verfahren arbeiten auf Ebene einzelner Punkte
- ▶ Komplexe Verfahren beziehen durch Betrachtung von Punktnachbarschaften den Zusammenhang mit ein

Segmentierung - Begriffe

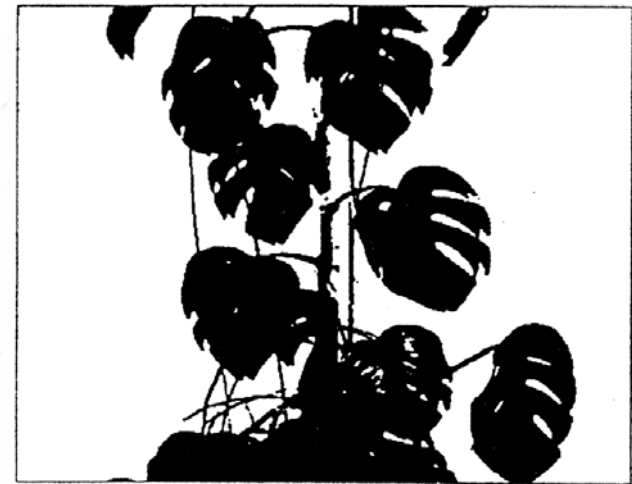
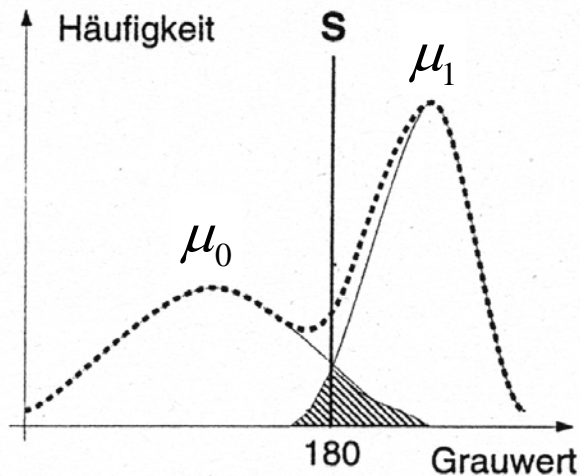
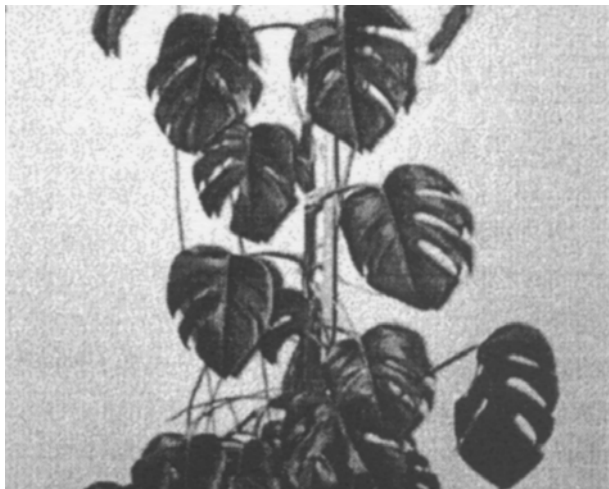
- ▶ **Vollständig:** jeder Pixel wird *mindestens einem* Segment zugeordnet
- ▶ **Überdeckungsfrei** (eindeutig): jeder Pixel wird *höchstens einem* Segment zugeordnet
- ▶ **Vollständig** und **überdeckungsfrei:** jeder Pixel wird *genau einem* Segment zugeordnet
- ▶ **Zusammenhängend:** jedes Segment bildet ein zusammenhängendes Gebiet.
- ▶ **Übersegmentierung:** zu viele Segmente
- ▶ **Untersegmentierung:** zu wenige Segmente

Segmentierung

- ▶ Begriffsbestimmung
- ▶ Einfache Verfahren (punktorientiert)
 - Geeignete Merkmale auf Ebene einzelner Punkte (Pixel)
 - Globale Schwellwertsegmentierung
 - Lokale adaptive Schwellwertsegmentierung
- ▶ Komplexe Verfahren (nachbarschaftsorientiert)
 - Diskontinuitätskriterium (Kanten)
 - Homogenitätskriterium (Intensitätswert, Farbe)
 - Hybride Verfahren (Kombination aus beiden Kriterien)

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Einfachste Methode: Absoluter Schwellwert zwischen den Maxima eines bimodalen Histogramms



[Pinz 94] S. 47 + 50

Punktorientierte Segmentierung

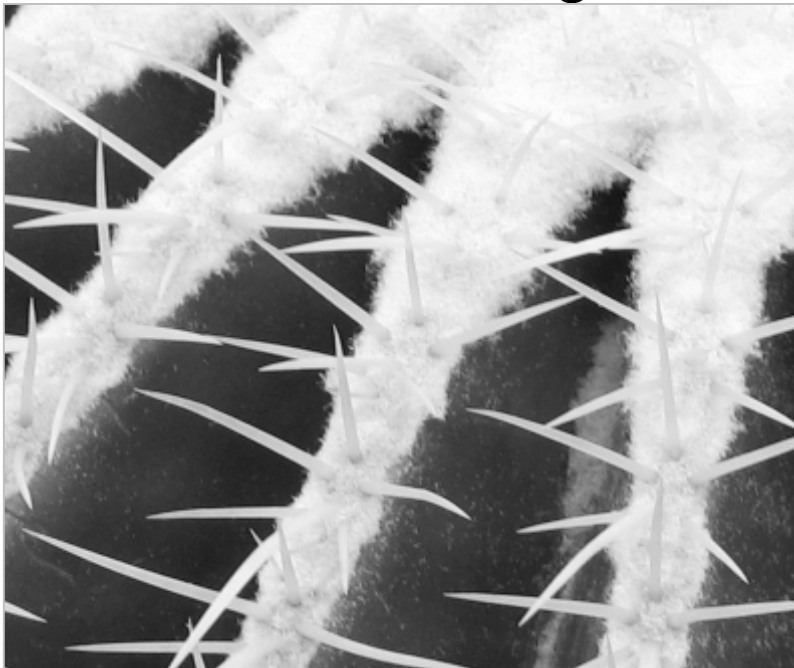
- ▶ Einfachste Methode: Absoluter Schwellwert zwischen den Maxima eines bimodalen Histogramms
 1. Wähle einen initialen Schwellwert $t \leftarrow t_{start}$
 2. Berechne mittlere Grauwerte für beide Klassen ($h(g)$ relatives Histogramm, $0 \leq t < G$, G Anzahl Grauwerte)

$$\mu_0 = \frac{\sum_{g=0}^t (h(g) \cdot g)}{\sum_{g=0}^t h(g)} \quad \mu_1 = \frac{\sum_{g=t+1}^{G-1} (h(g) \cdot g)}{\sum_{g=t+1}^{G-1} h(g)}$$

3. Bestimme neuen Schwellwert $t \leftarrow \frac{\mu_0 + \mu_1}{2}$
4. Wiederhole Schritt 2 und 3 bis sich t nicht mehr ändert

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Absoluter Schwellwert zwischen den Maxima eines bimodalen Histogramms (Schwelle 145)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Varianz-basierte Schwellwertbestimmung [Otsu 79]
 - Bestimmung eines Schwellwertes, so dass die Streuung innerhalb der Klassen minimal und zwischen den Klassen maximal ist
 - Gesucht: Schwellwert t , der die Grauwerte in zwei Klassen $K_0(t)$ und $K_1(t)$ einteilt
- ▶ [Otsu 79] N. Otsu. A threshold selection method from grey level histograms. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. Vol. 9, 1979.

Punktorientierte Segmentierung

► Varianz-basierte Schwellwertbestimmung [Otsu 79]

- Bestimmung der Varianzen innerhalb der beider Klassen

$$\sigma_0^2(t) = \sum_{g=0}^t (g - \mu_0)^2 h(g) \quad \sigma_1^2(t) = \sum_{g=t+1}^{G-1} (g - \mu_1)^2 h(g)$$

- μ_0, μ_1 mittlerer Grauwert der Klassen $K_0(t)$ bzw. $K_1(t)$
- G Anzahl der Grauwerte
- $h(g)$ Wahrscheinlichkeit des Grauwerts g (relatives Histogramm)

Punktorientierte Segmentierung

► Varianz-basierte Schwellwertbestimmung [Otsu 79]

- Varianz zwischen den beiden Klassen:

$$\sigma_{zw}^2(t) = P_0(t) \cdot (\mu_0 - \mu)^2 + P_1(t) \cdot (\mu_1 - \mu)^2$$

- μ mittlerer Grauwert
- Varianz innerhalb der beiden Klassen:

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

- wobei $P_0(t) = \sum_{g=0}^t h(g)$ $P_1(t) = \sum_{g=t+1}^{G-1} h(g)$

Punktorientierte Segmentierung

► Varianz-basierte Schwellwertbestimmung [Otsu 79]

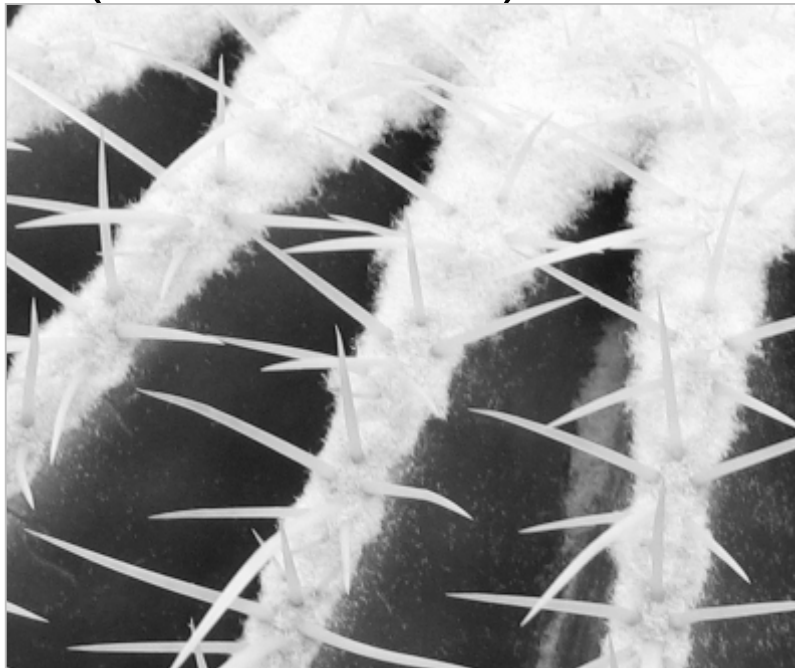
- Maximierung der Varianz zwischen den beiden Klassen und Minimierung der Varianz innerhalb der beiden Klassen durch Maximierung des Quotienten

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

- Quotient für alle t mit $0 \leq t < G$ berechnen und Maximum bestimmen
- t des Maximums ist Binarisierungsschwelle

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Varianz-basierte Schwellwertbestimmung [Otsu 79]
(Schwelle 150)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Shannon Entropie basierte Schwellwertbestimmung
 - Maximierung der Summe der Entropie der beiden Klassen

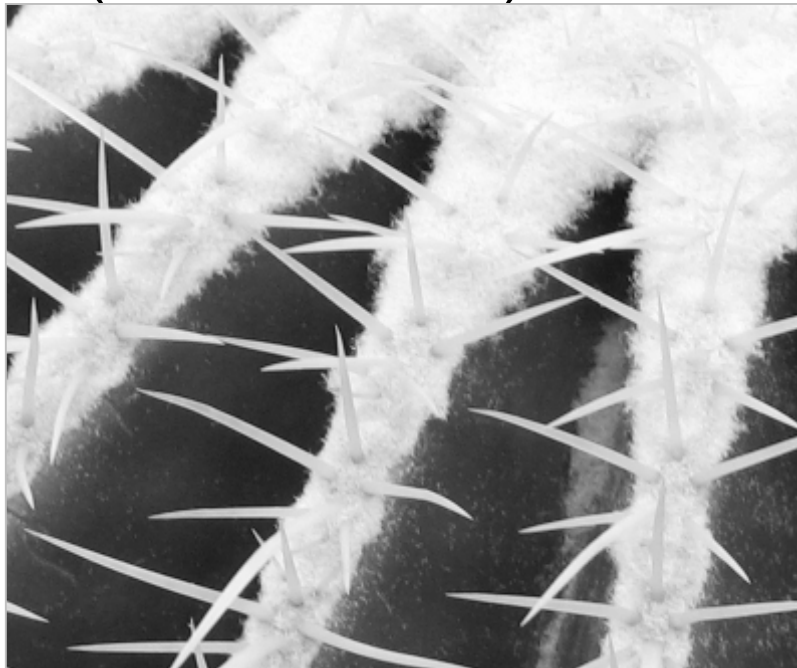
$$H_0(t) = - \sum_{g=0}^t \frac{h(g)}{P_0(t)} \ln \frac{h(g)}{P_0(t)}$$

$$H_1(t) = - \sum_{g=t+1}^{G-1} \frac{h(g)}{P_1(t)} \ln \frac{h(g)}{P_1(t)}$$

- Große Entropie bei gleichmäßiger Verteilung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Shannon Entropie basierte Schwellwertbestimmung (Schwelle 179)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Rényi-Entropie basierte Schwellwertbestimmung
 - Maximierung der Summe der Entropie der beiden Klassen

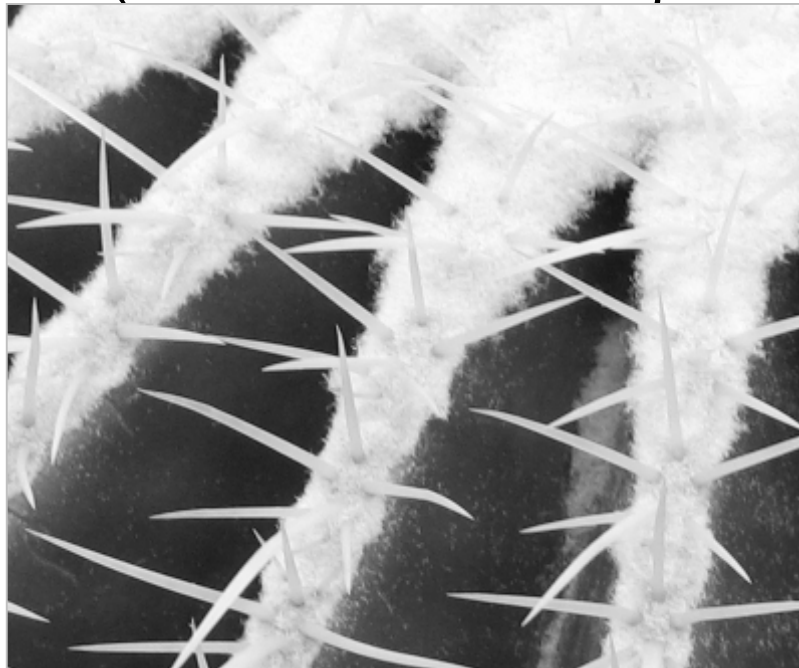
$$H_{\rho_0}(t) = \frac{1}{1-\rho} \ln \left[\sum_{g=0}^t \left(\frac{h(g)}{P_0(t)} \right)^\rho \right]$$

$$H_{\rho_1}(t) = \frac{1}{1-\rho} \ln \left[\sum_{g=t+1}^{G-1} \left(\frac{h(g)}{P_1(t)} \right)^\rho \right]$$

- Verallgemeinerung der Shannon Entropie
- $\rho > 0$ und $\rho \neq 1$
- Für alle ρ und ρ' mit $\rho < \rho'$ gilt $H_\rho \leq H_{\rho'}$

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Rényi Entropie basierte Schwellwertbestimmung (Schwelle 145 mit $\rho = 0.5$)



Punktorientierte Segmentierung

Absoluter Schwellwert – Probleme:

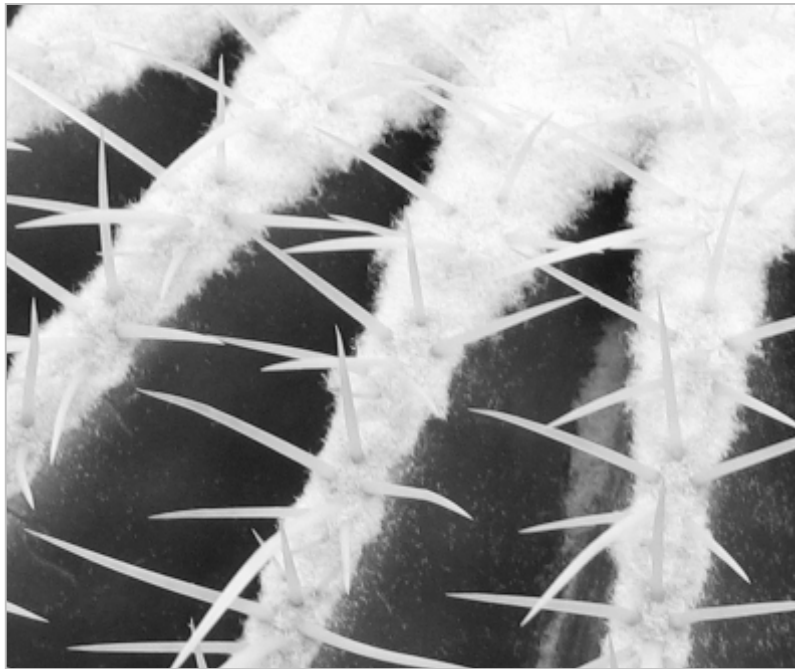
- ▶ In der Praxis hat man selten bimodale Histogramme
 - Wahl des Schwellwertes dann schwierig
 - Abhilfe: Verwendung mehrerer Schwellen
- ▶ Oft gibt es lokale Helligkeitsabweichungen
 - Ein Schwellwert für das gesamte Bild dann ungeeignet
 - Abhilfe: Verwendung von lokalen Schwellwerten
- ▶ Es gibt oft noch andere Bereiche im Bild, die die gleiche Helligkeit haben wie das interessante Objekt
 - Abhilfe nur durch weitere Verarbeitungsschritte Merkmalsextraktion und Klassifikation

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Schwellwertbasierte Segmentierung bei multimodalen Histogrammen
 - Multimodale Histogramme haben mehr als zwei lokale Maxima
 - Z.B. mehrere Objekte unterschiedlicher Intensität vor einem Hintergrund
 - Segmentierung des Bildes in mehr als zwei Klassen sinnvoll
 - Schwellwerte an den Minima zwischen den lokalen Maxima
 - Schwierigkeit: Erkennung relevanter lokaler Maxima
 - Abhilfe: Histogramm ggf. vorher glätten oder Grauwerte zu Klassen zusammenfassen

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit mehreren Schwellen, Glättung des Histogramms mit Gaußfilter Breite 15 (4 Schwellen)

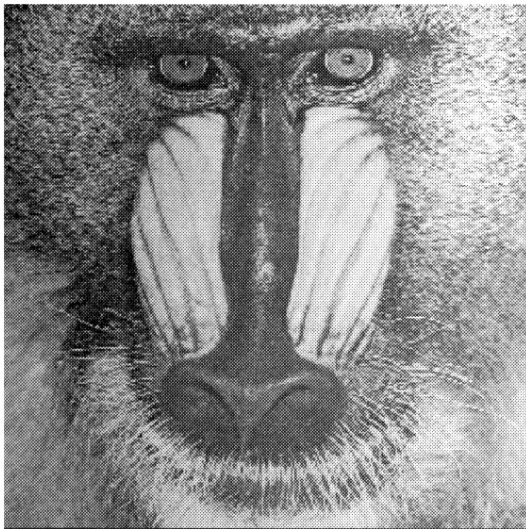


Punktorientierte Segmentierung

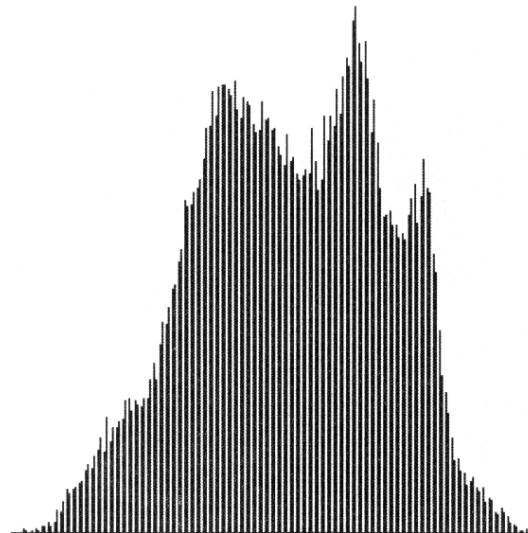
- ▶ Ausgleich lokaler Helligkeitsabweichungen durch Schwellwertbestimmung mit lokalen Histogrammen
 - Lokale Histogramme für Teilbilder
 - Variante 1:
 - Normierung der lokalen Histogramme durch Histogrammmodifikation z.B. lineare Skalierung oder Skalierung mit der relativen Summenhäufigkeit
 - Binarisierung mit konstanter Schwelle 128
 - Variante 2:
 - Bestimmung lokaler Schwellwerte aufgrund der lokalen Histogramme mit den vorgestellten Methoden

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Beispiel: Schwellwertbestimmung mit lokalen Histogrammen ([Abmayr 94], S. 230)



Originalbild



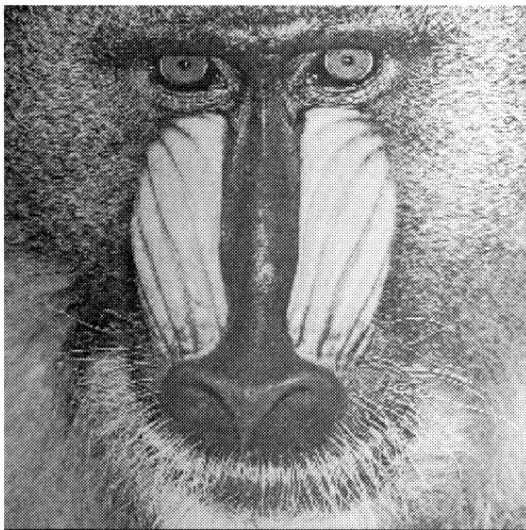
Globales Histogramm



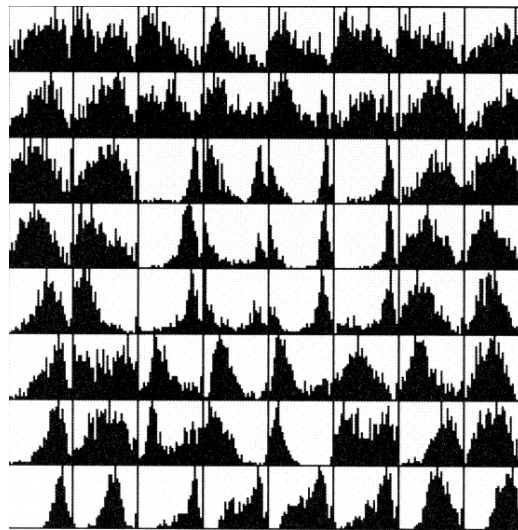
Globale Binarisierung

Punktorientierte Segmentierung

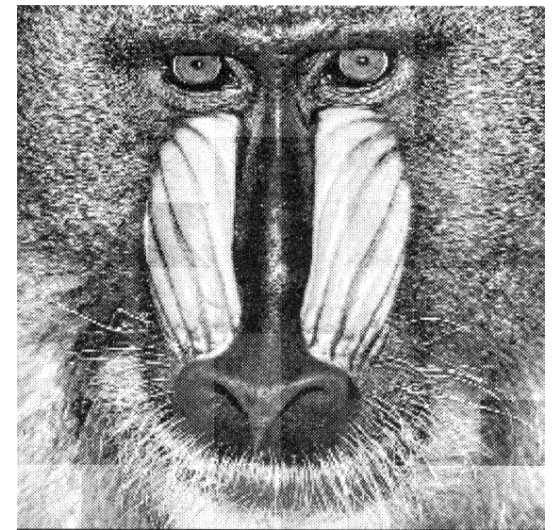
- ▶ Beispiel: Schwellwertbestimmung mit lokalen Histogrammen ([Abmayr 94], S. 230)



Originalbild



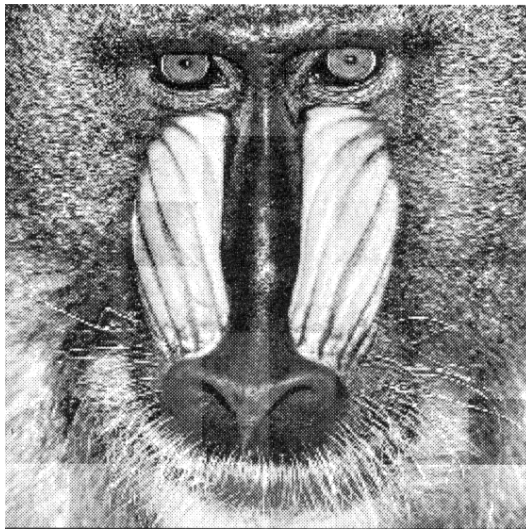
64 lokale Histogramme



Normiertes Bild

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Beispiel: Schwellwertbestimmung mit lokalen Histogrammen ([Abmayr 94], S. 230)



Normiertes Bild



Binarisierung mit $th=128$

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Ausgleich lokaler Helligkeitsabweichungen durch lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Bestimmung des lokalen Schwellwertes für jeden Bildpunkt
 - Abhängig von der Helligkeit der Nachbarschaft
 - Bestimmung der Intensität der Nachbarschaft mit Hilfe von Mittelwertfiltern
 - Parameter:
 - Typ des Mittelwertfilters (ungewichtet, Gauß, ...)
 - Größe der Nachbarschaft
 - Subtraktionsfaktor bezüglich des Mittelwertes zur Bestimmung der lokalen Schwelle

Punktorientierte Segmentierung

► Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung

- Lokaler Schwellwert $th(x,y)$ für Punkt (x,y)

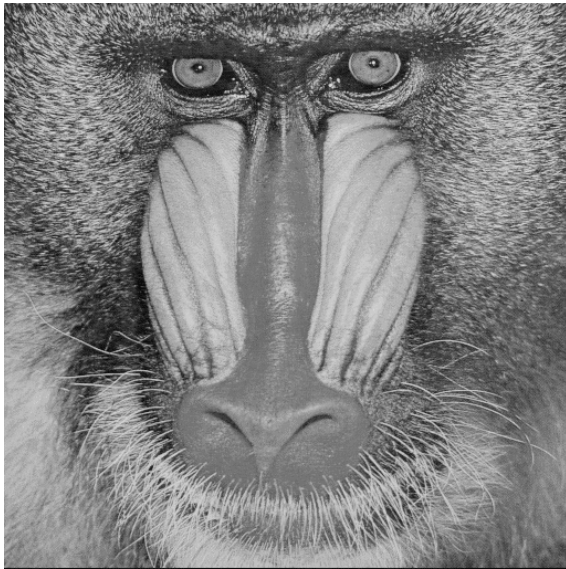
$$th(x, y) = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} E(x, y) \cdot C(i, j)}{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} C(i, j)} - th_{global}$$

- $C(i,j)$ Glättungsmaske der Größe $M \times N$
- th_{global} globaler Schwellwert, ggf. negativ

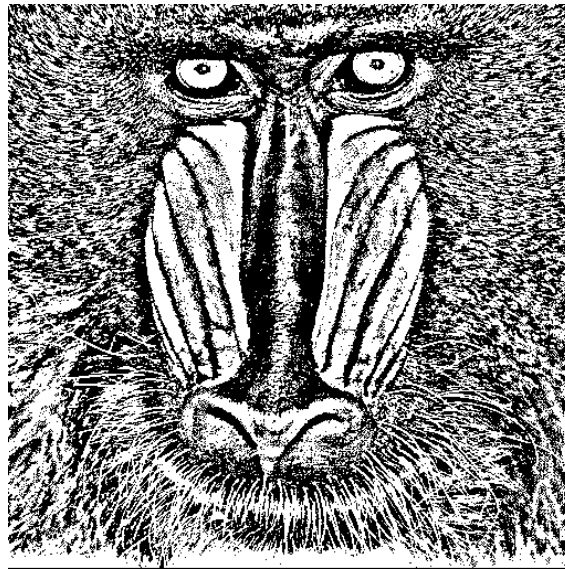
► In OpenCV: `cvAdaptiveThresh`

Punktorientierte Segmentierung

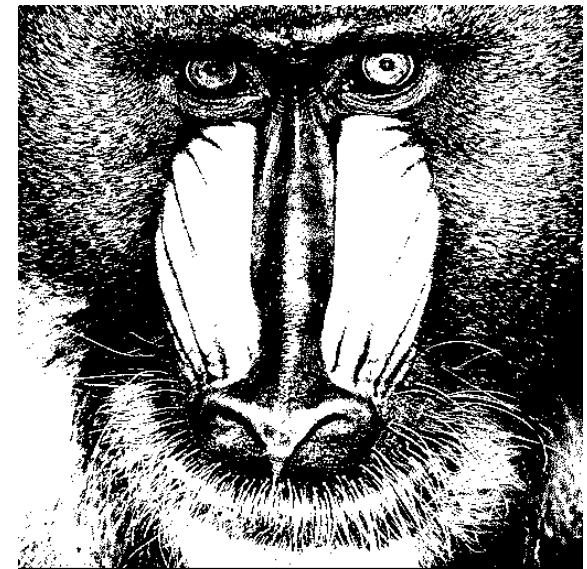
- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - 65x65 Nachbarschaft, Gauß-gewichteter Mittelwert, $th=0$



Original



adaptive Schwelle



$th=130$ (global)

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Beispielbild mit starken Helligkeitsschwankungen



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Beispielbild mit starken Helligkeitsschwankungen
 - Segmentierungsergebnis mit einer globalen Schwelle (Otsu)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Beispielbild mit starken Helligkeitsschwankungen



- Segmentierungsergebnis mit lokaler adaptiver Schwellwertbinarisierung, Fenstergröße 41x41, Gauß-gewichteter Mittelwert und $th = -3$

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: 5x5 ($th = -3$ (gleichbleibend))



Segmentierung



Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: 11x11 ($th = -3$ (gleichbleibend))



Segmentierung



Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: 25x25 ($th = -3$ (gleichbleibend))

Segmentierung

Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: 41x41 ($th = -3$ (gleichbleibend))

Segmentierung

Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: 163x163 (=Höhe x Höhe) ($th = -3$)

Segmentierung

Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: Bildgröße (Breite x Höhe) ($th = -3$)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation der Fenstergröße: Ganzes Bild $2 \times \text{Breite} \times 2 \times \text{Höhe}$ ($th = -3$)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation von th : -20 (Fenstergröße gleichbleibend 41)



Segmentierung



Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation von th : -10 (Fenstergröße gleichbleibend 41)



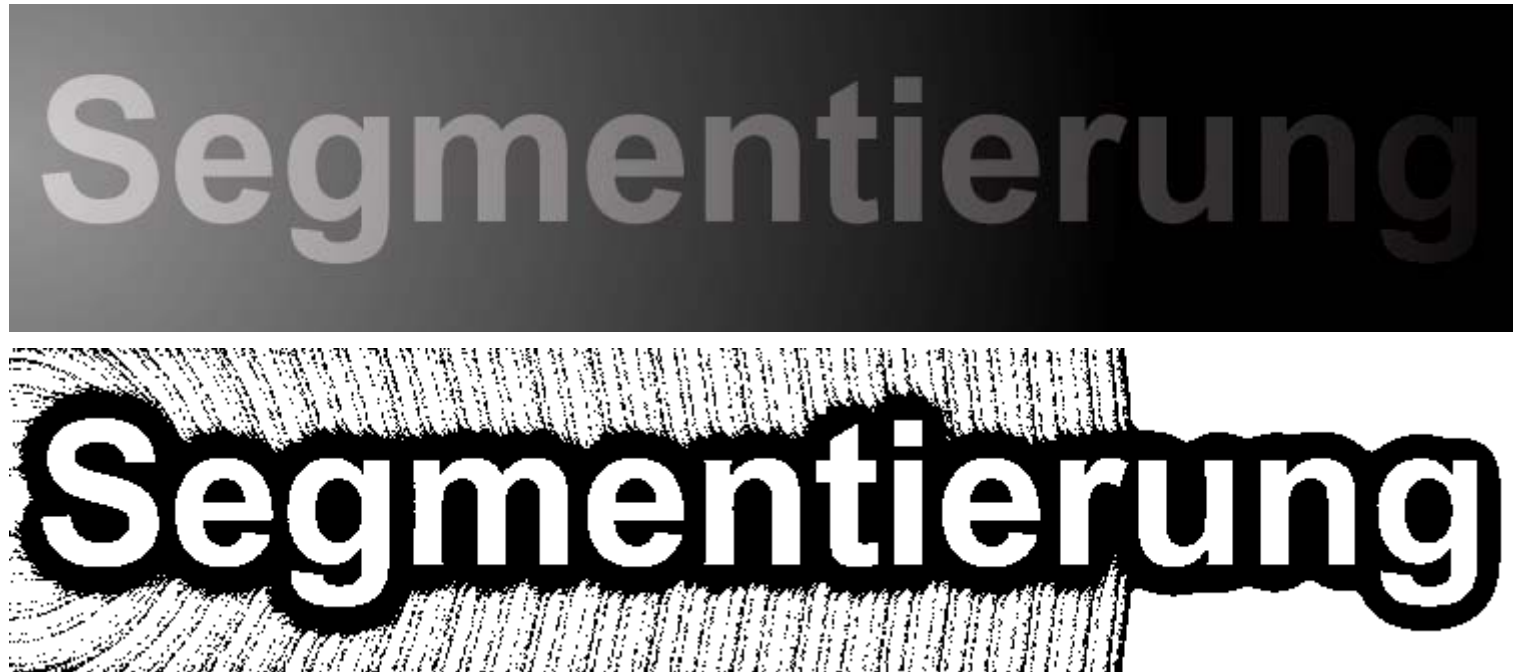
Segmentierung



Segmentierung

Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation von th : 0 (Fenstergröße gleichbleibend 41)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Variation von th : 10 (Fenstergröße gleichbleibend 41)



Punktorientierte Segmentierung

- ▶ Lokale adaptive Schwellwertbinarisierung
 - Ausgleich lokaler Helligkeitsschwankungen ist möglich
 - Einfaches und effizientes Verfahren
 - Parameter Fenstergröße und Subtraktionsfaktor th abhängig von den Eigenschaften der zu segmentierenden Objekte
 - Fenstergröße sollte Objekte umschließen
 - Sonst Segmentierung der Objektränder
 - Subtraktionsfaktor th muss an den Kontrast angepasst werden
 - Probleme entstehen, wenn Objektgröße und Kontrast ebenfalls variieren