

# Bildsegmentierung: Übersicht

Seminar: Bildsegmentierung und Computer Vision WS 2005/06

Jens Kürbig und Martina Sauter

# Inhalt:

---

- 1. Einführung**
- 2. Pixelorientierte Verfahren**
- 3. Kantenorientierte Verfahren**
- 4. Regionenorientierte Verfahren**
- 5. Modellbasierte Verfahren**
- 6. Texturorientierte Verfahren**

# 1. Einführung

---

## 1.1 Begriff „Bildsegmentierung“

Frage: Was ist Bildsegmentierung?

Zitat:

„.....to check each individual pixel to see whether it belongs to an object of interest or not. This operation is called *segmentation*....” ([2], S. 449)

# 1. Einführung

---

D.h. **Bildsegmentierung** ist der Vorgang des Überprüfens jedes einzelnen Bildpunktes, ob dieser einem uns interessierenden Bildobjekt angehört.

Bildsegmentierung soll:

- verschiedene Bildpunkte zu sinnvollen Gruppen zusammenfassen
- Bildobjekte vom Hintergrund trennen
- Bildobjekte voneinander trennen

Kurz:

Welche Bildpunkte gehören zusammen?

# 1. Einführung

## Ergebnisse:

- Binär-Bild (Schwarz-Weiß-Bild):
  - Bildpunkt hat Wert 1 → gehört zum Objekt
  - Bildpunkt hat Wert 0 → gehört nicht zum Objekt
- Bild ist in sinnvolle Regionen unterteilt
- Umrisse der Objekte

Aber:

Die Bildsegmentierung dient nicht dazu festzustellen, ob das gefundene Objekt sinnvoll ist oder nicht.

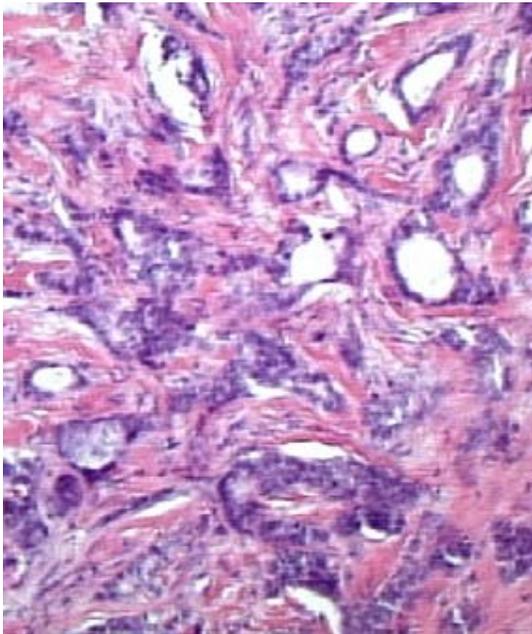
Nach der Segmentierung kann man die Form des Objekts genauer untersuchen.

# 1. Einführung

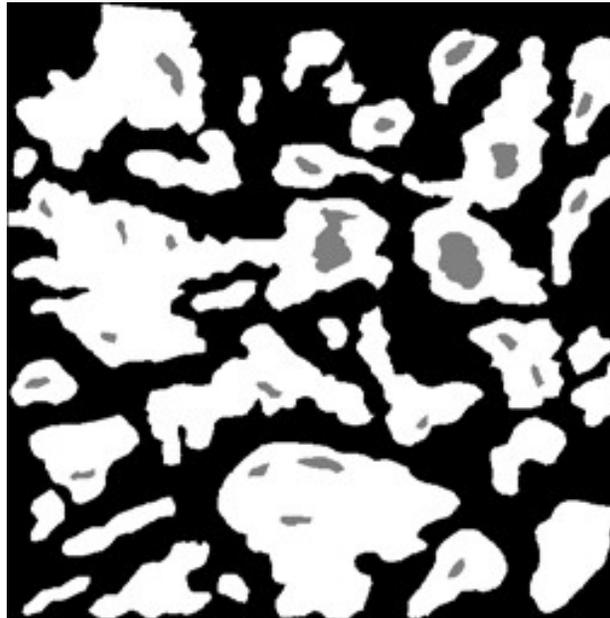
## 1.2 Anwendung

- Medizin: z.B. Krebserkennung, Computertomographie

Karzinogenes Brustgewebe und das dazugehörige extrahierte dreiphasige Bild



Originalbild



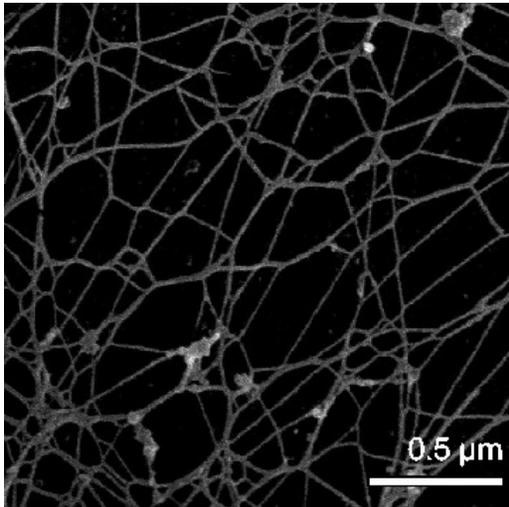
segmentiertes Bild



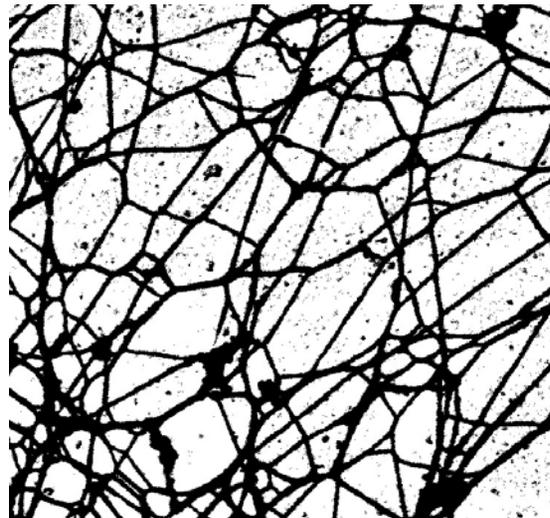
Computertomographie

# 1. Einführung

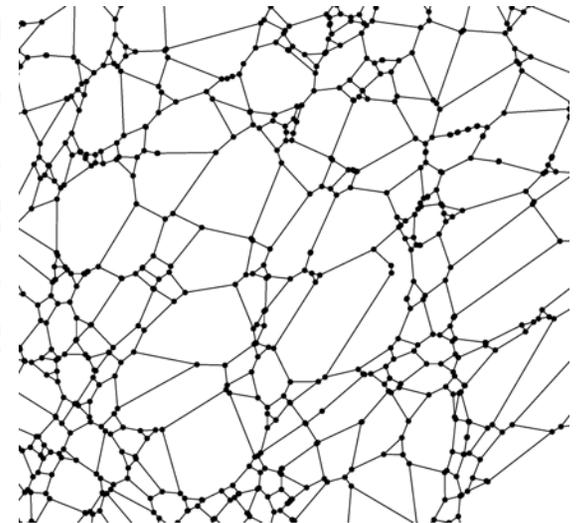
Binarisierung von Keratinnetzwerken im Zytoskelett



Originalbild



segmentiertes Bild mit Schwellwertverfahren



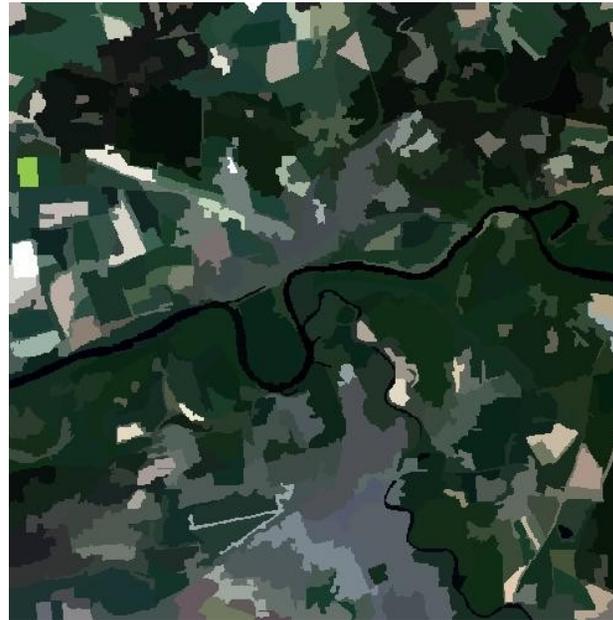
segmentiertes Bild (bearbeitet)

# 1. Einführung

- Schrifterkennung: Hand-/ Unterschrifterkennung
- Qualitätskontrolle: optische Kontrolle
- Geographie: Segmentierung von Luftbildern



Originalbild



segmentiertes Bild mit Region-Growing

# 1. Einführung

---

## 1.3 Einordnung

- Bildsegmentierung gehört zum ersten Schritt der **Bildanalyse**

### Bildanalyse:

- Szene
- Bildaufnahme
- Bildvorverarbeitung
- **Segmentierung**
- Merkmalsextrahierung
- Klassifizierung/Auswertung
- Aussage

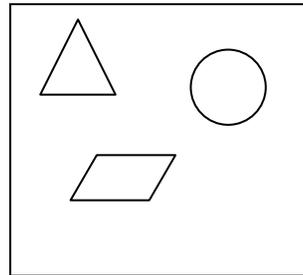
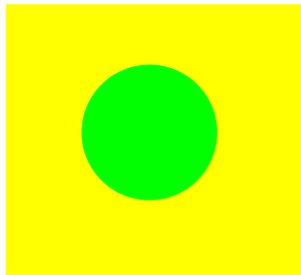
# 1. Einführung

## 1.4 Übersicht über die Verfahren

**Idee:** Nachahmung des menschlichen Auges

Es gibt drei Möglichkeiten, wie das menschliche Auge mehrere Bildpunkte als ein Objekt erkennt:

- Farbe
- Form
- Textur



# 1. Einführung

Die Gemeinsamkeit aller Segmentierungs-Verfahren:

- Jedem Bildpunkt werden Eigenschaften zugeordnet
- Eigenschaften werden benutzt um die Bildpunkte in Gruppen zu unterteilen
- Im folgenden unsere Eigenschaft: **Grauwert**

**Grauwert:**

- gibt die Helligkeit des Bildpunktes an
- Werte zwischen 0 und 255  
(da binär gespeichert wird in 8 Bits;  $2^8$  Möglichkeiten)
- 0 entspricht Schwarz
- 255 entspricht Weiß

# 1. Einführung

---

Bildsegmentierung wird unterteilt in:

- Pixelorientierte Verfahren
- Kantenorientierte Verfahren
- Regionenorientierte Verfahren
- Modellbasierte Verfahren
- Texturorientierte Verfahren

## 2. Pixelorientierte Verfahren

---

- es wird für jeden Bildpunkt einzeln entschieden, zu welchem Objekt er gehört
- Verfahren ergibt üblicherweise vollständige Segmentierungen

## 2. Pixelorientierte Verfahren

---

Methode mittels Schwellwertverfahren

- Grauwert des Pixels wird mit einem Schwellwert verglichen
- Binarisierung des Bildes bei nur einem Schwellwert
- Mehrere Schwellwerte für mehrere Phasen möglich

Vorteile

- Einfache Implementierung
- Schnelles Verfahren
- Vollständige Binarisierung
- gute Ergebnisse bei Binarisierung von gleichmäßig beleuchteten Bildern

## 2. Pixelorientierte Verfahren

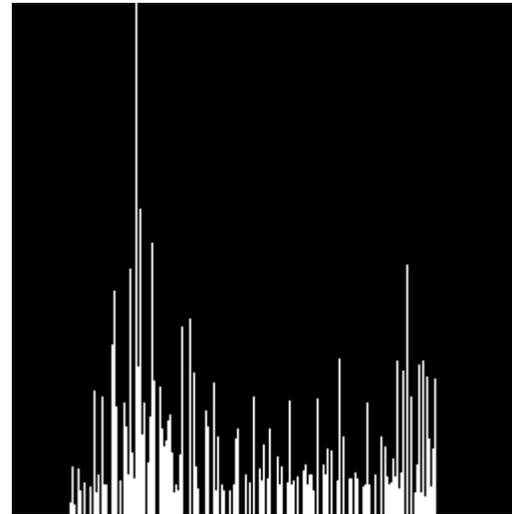
---

- Schwellwertermittlung mittels Histogramm
  - Mittelwert zwischen zwei Maxima
  - lokale Minima
  - Manuelle Festlegung
  - Verfahren von Ostu
  
- Optimalerweise bimodales Histogramm

## 2. Pixelorientierte Verfahren



Original Grauwertbild



Histogramm des Originals

## 2. Pixelorientierte Verfahren

---

Nachteile:

- Anfälligkeit bei Helligkeitsveränderung
- Nur eindimensionaler Wert wird benutzt  
(keine zusätzliche Information bei Mehrkanalbildern)
- Keine zusammenhängende Segmentierung
- Starke Abhängigkeit vom Schwellwert

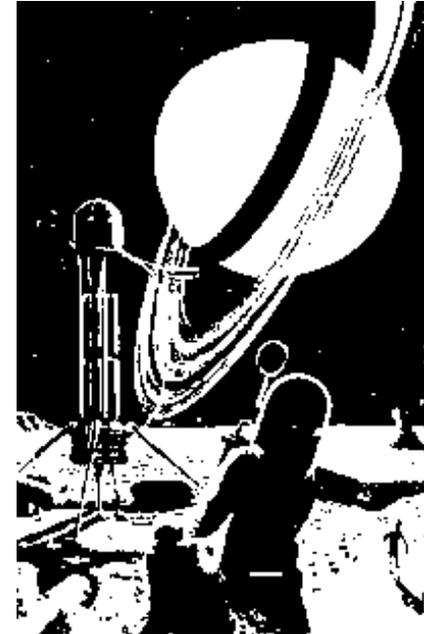
## 2. Pixelorientierte Verfahren



Original Grauwertbild



Segmentiertes. Bild mit  
Schwellenwert 90



Segmentiertes. Bild mit  
Schwellenwert 128

## 2. Pixelorientierte Verfahren

### Mögliche Schwellwertmethoden

- **Globaler Schwellwert:**  
ein Schwellwert wird für gesamte Bild verwendet
- **Lokaler Schwellwert:**  
Bild wird in Regionen eingeteilt, und jede Region hat ihren eigenen Schwellwert
- **Dynamischer Schwellwert:**  
um jeden Pixel wird eine Region erstellt mit eigenem Schwellwert
  
- Rechenzeit nimmt von oben nach unten zu
- Anfälligkeit gegenüber der Helligkeitswerten nimmt ab

# 3. Kantenorientierte Verfahren

## 3.1 Begriff

- im Bild wird nach Kanten und Konturen gesucht
- Idee: sinnvolle Regionen grenzen sich durch eine „Kante“ ab
  - ➔ abrupte Grauwertänderung zwischen sinnvollen Regionen

### **Beispiele für kantenorientierte Verfahren:**

- Snakes (vgl. Vortrag nächste Woche)
- Wasserscheidentransformation, die immer geschlossene Kantenzüge liefert (vgl. späteren Vortrag)
- Ansatz über Gradienten

# 3. Kantenorientierte Verfahren



Originalbild



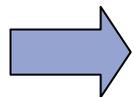
segmentiertes Bild mit kantenorientiertem Verfahren

# 3. Kantenorientierte Verfahren

## 3.2 Ein Verfahren

### Ansatz über Gradienten:

- Grauwert wird dargestellt durch eine Funktion  $g(x)$ , wobei  $x$  die Pixel-Position angibt
- Ausgangsbild wird Linie für Linie untersucht
- Extrema des Gradienten sind Kantenpunkte
  - ➡ man berechnet Kantenpunkte
- nächste Linie untersuchen



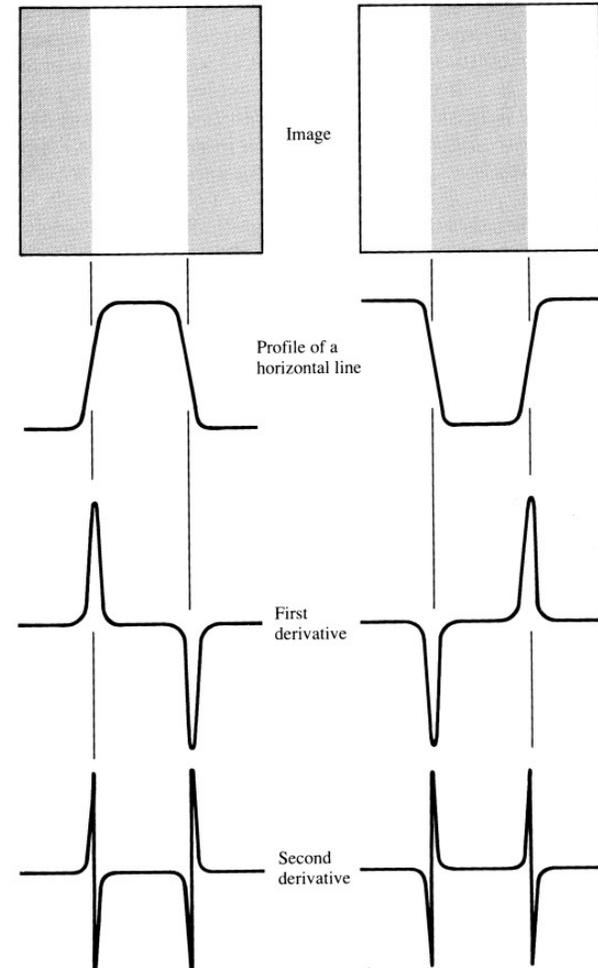
Ergebnis: einzelne Kantenpunkte

# 3. Kantenorientierte Verfahren

Funktion  $h(x)$  entspricht Grauwert in **einer Zeile** an der Stelle  $x$

1. Ableitung von  $h(x)$

2. Ableitung von  $h(x)$



# 3. Kantenorientierte Verfahren

## Edge-Tacking:

Algorithmus liefert nur Kantenpunkte

➡ benötigen Kantenverfolgungsalgorithmus zum Vervollständigen

Ein möglicher Kantenverfolgungsalgorithmus:  
Hough-Transformation (Abschnitt 5.2)

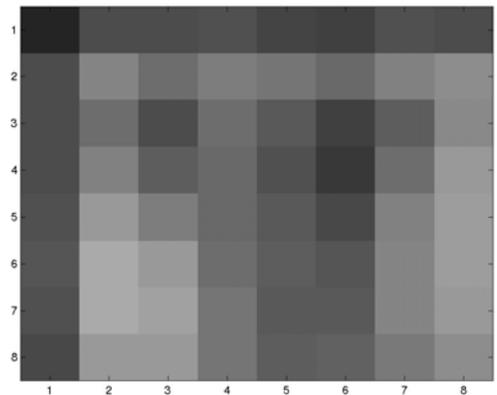
## **Vorteile Kantenorientierte gegenüber Pixelorientierte Verfahren:**

- erkennen Bildobjekte auch mit unterschiedlicher Helligkeit
  - besser bei uneinheitlichem Hintergrund
- ➡ hier berücksichtigt in  $g(x)$

# 4. Regionenorientierte Verfahren



Die regionenorientierten Verfahren betrachten Punktmengen als Gesamtheit und versuchen dadurch zusammenhängende Objekte zu finden



# 4. Regionenorientierte Verfahren

---

Verfahren:

- Region Growing
- Split-and-Merge
- Pyramid Linking

# 4. Regionenorientierte Verfahren

Region-Growing-Prinzip:

Festlegung von Keimpunkten als Startregion

- Benachbarte Punkte werden zur Region hinzugefügt, wenn der Wert der Distanzfunktion zwischen dem Grauwert des betrachteten Punktes und dem Mittelwert der Grauwerte der benachbarten Region unter einem Schwellwert liegt
- Punkte werden auch hinzugefügt, wenn sie schon zu einer anderen Region gehören (mögliche Vereinigung von Regionen)
- Wiederholung des Wachstums, bis keines mehr möglich ist.

Wahl geeigneter Keimpunkte wichtig

Anzahl Keimpunkte ist obere Schranke für Anzahl der Regionen

# 4. Regionenorientierte Verfahren

Split-And-Merge Prinzip:

Ausgangsbasis: ganzes Bild als eine Region

- Anwendung eines Homogenitätskriteriums
  - Falls Grauwert des Bildpunktes größer als ein Schwellwert  
→ Zerteilung der Region (Split)
  - Entstehende Regionen werden entsprechend des Kriterium mit benachbarten verglichen
  - Hinreichend homogen → Vereinigung der Regionen (Merge)
  - Wiederholung für alle entstehenden Regionen, bis hinreichend homogen
- 
- Entstehende Regionen haben oft eckige Kanten
  - Kantenglättung zur Nachbearbeitung notwendig

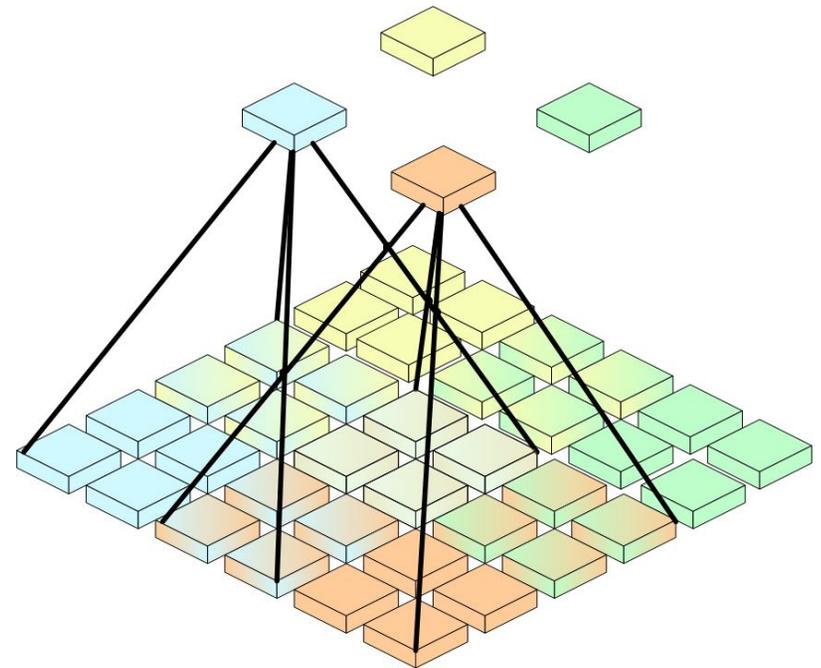
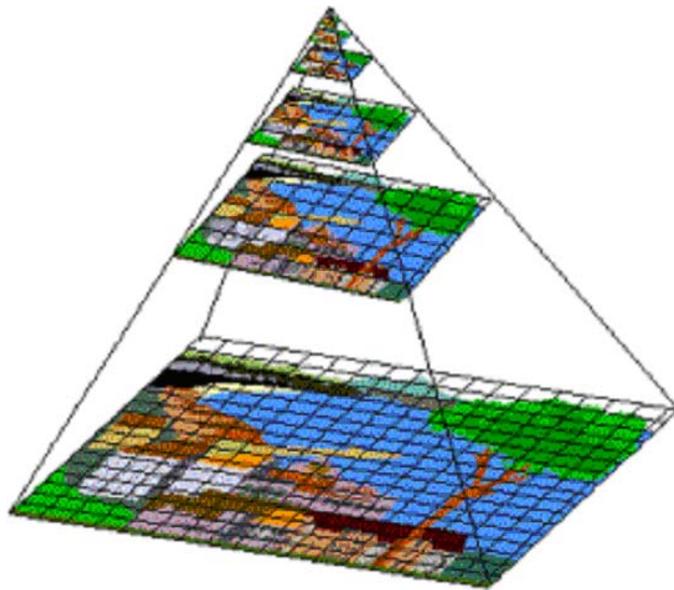
# 4. Regionenorientierte Verfahren

Pyramid-Linking oder Pyramidenwachstum Prinzip:

Zur Vereinfachung wird das Verfahren für 1D-Bild bzw. Bildstreifen erläutert. Verfahren lässt sich problemlos auf die Anwendung auf ein 2D-Bild erweitern.

- Verfahren verwendet pyramidenartige Datenstruktur aus verschiedenen Ebenen – unterste Eben ist das Originalbild
- Jeder Bildpunkt oberer Ebenen ist der Durchschnittswert von vier benachbarten Bildpunkt aus der darunterliegenden Ebenen
- Nach Erreichen der obersten Schicht wird jeder Bildpunkt mit 2 benachbarten Bildpunkten aus der nächst tieferen Ebene verbunden.
- Kriterien hierfür sind, die Bildpunkte müssen zum Farbwert der höheren Ebene beigetragen haben und den zu diesem den geringsten Farbabstand haben.

# 4. Regionenorientierte Verfahren



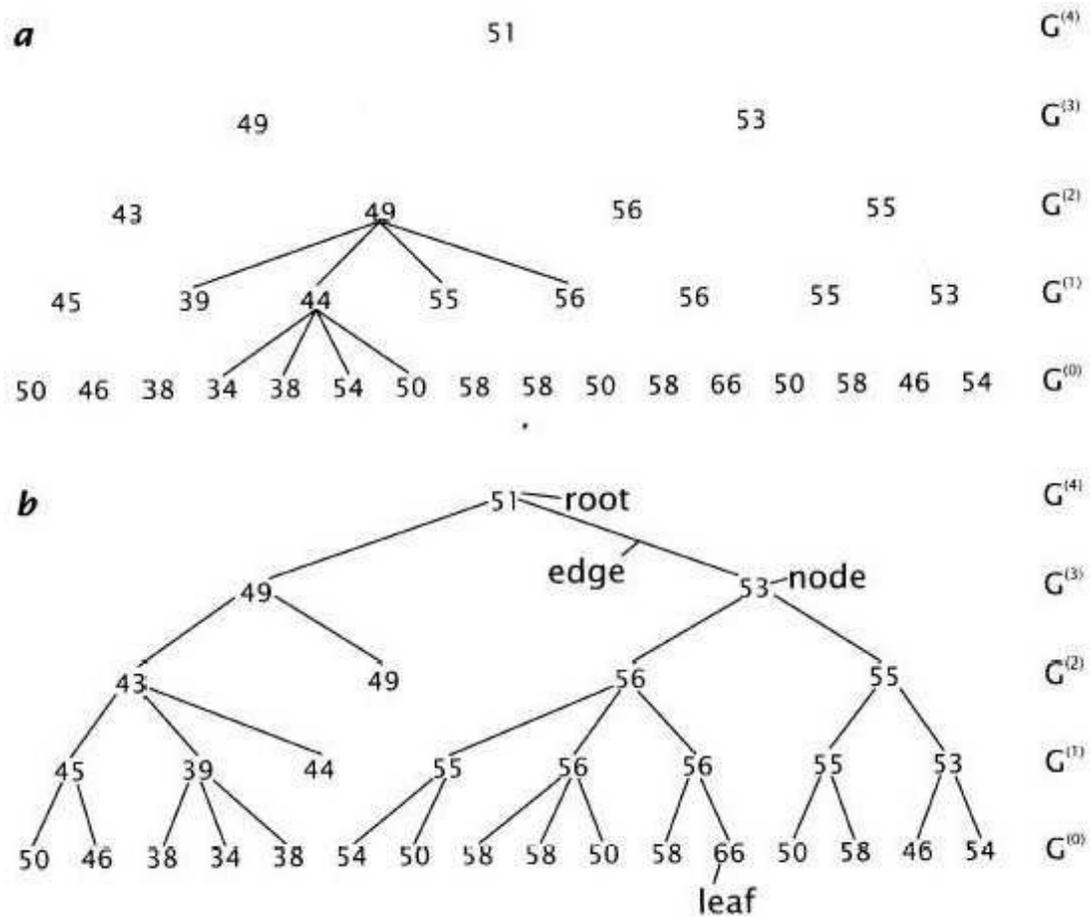
# 4. Regionenorientierte Verfahren

---

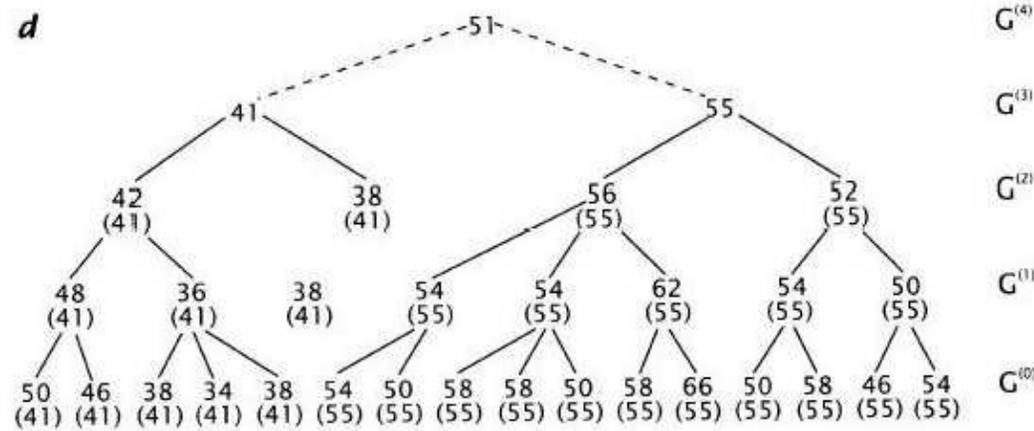
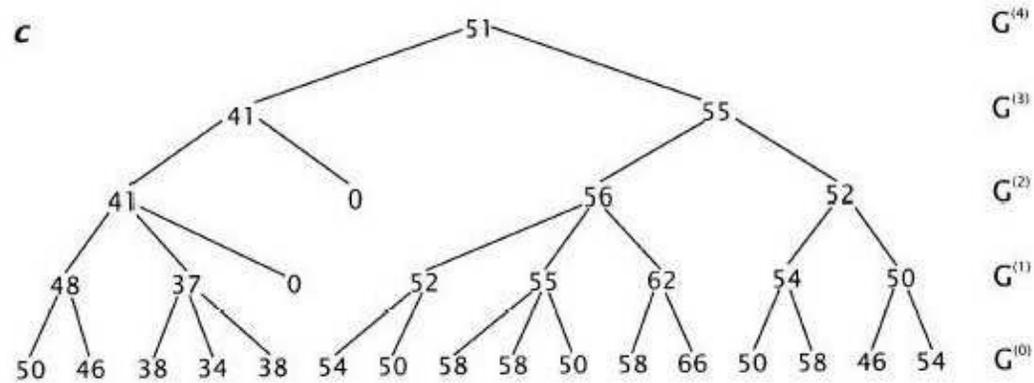
## Pyramidenwachstum (II)

- Aktualisierung der Farbwerte durch Neuberechnung der Neuen Verbindungen zwischen den Bildpunkten
- Hat ein Bildpunkt keine Verbindung nach unten, so wird der Farbwert auf Null gesetzt
- Verbindungen werden dann neu gesetzt und Bildpunkte neu berechnet
- Wiederholung des Vorganges bis sich Verknüpfungen nicht mehr ändern

# 4. Regionenorientierte Verfahren



# 4. Regionenorientierte Verfahren



# 4. Regionenorientierte Verfahren

Pyramidenwachstum (III):

- Entstehung von Verknüpfungen von Bildpunkten die von der obersten in die unterste Ebene reichen
- Auf diese Weise Zusammenfassung mehrerer Bildpunkte auf dem Originalbild zu einer Klasse
- Verfahren kommt gut mit Rauschen zurecht, da jeder Bildpunkt einer Klasse zugeordnet werden kann
- Verfahren ist schnell, und braucht nur  $1/7$  des Speicherplatzes des Originalbildes

# 5. Modellbasierte Verfahren

## 5.1 Begriff

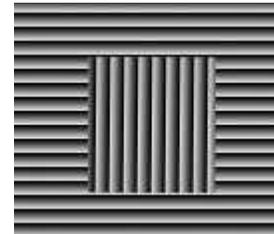
Bisher:

Grundlage nur lokale Information (d.h. nur lokale Betrachtung der Pixel)  
aber menschliches Wahrnehmungssystem sehr komplex

➡ lokale Information nicht effizient!

Jetzt:

Modellbasierte Segmentierung setzt  
Vorwissen über das Bild voraus.



# 5. Modellbasierte Verfahren

---

Mögliche Zusatzinformation über das Bild:  
Die geometrische Form der Objekte

Diese Zusatzinformation kann dann mit den lokalen Informationen verglichen werden.

➔ [Modellbasierte Verfahren](#)

# 5. Modellbasierte Verfahren

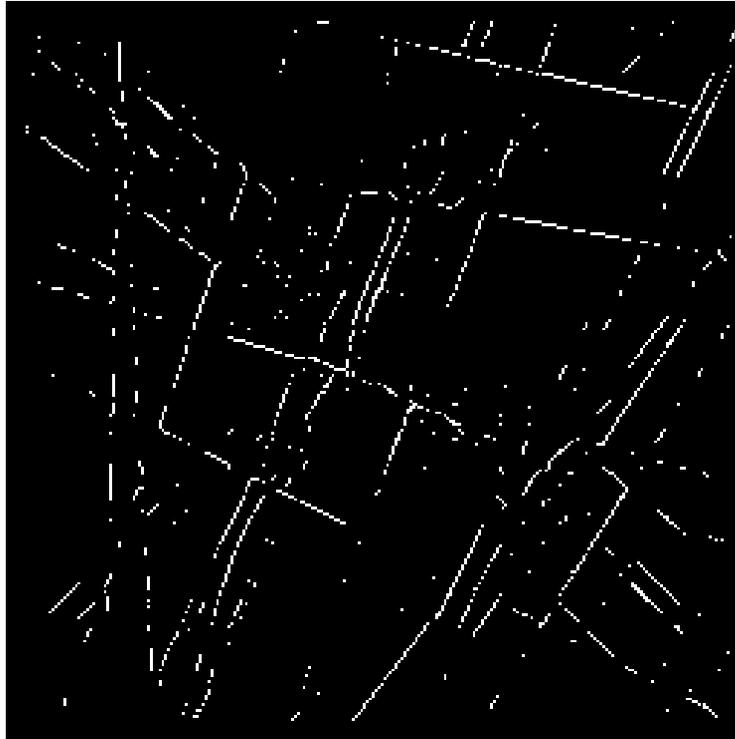
## 5.2 Hough-Transformation

Verfahren zur Erkennung von geometrischen Figuren  
(z. B. Kreise, Geraden)

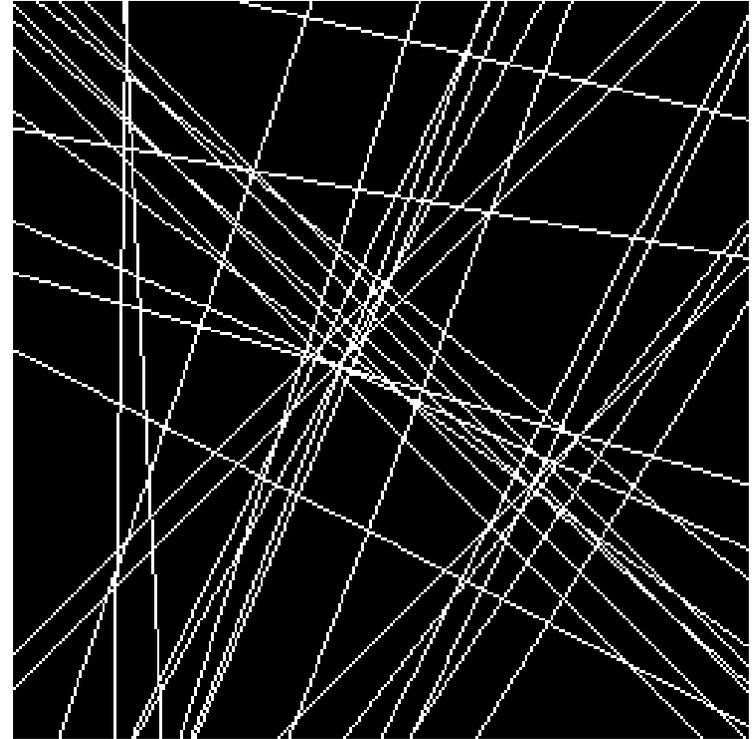
**Voraussetzung:**  
geometrische Figuren parametrisierbar

**Ausgangspunkt:**  
z.B. segmentiertes Bild mit Kantenpunkten, unterbrochene Linien  
➔ werden mit Hough-Transformation zu durchgehenden  
Liniensegmenten vervollständigt

# 5. Modellbasierte Verfahren



vor Hough-Transformation



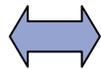
nach Hough-Transformation

# 5. Modellbasierte Verfahren

Ann.: gesuchte Bildobjekte sind gerade Linien

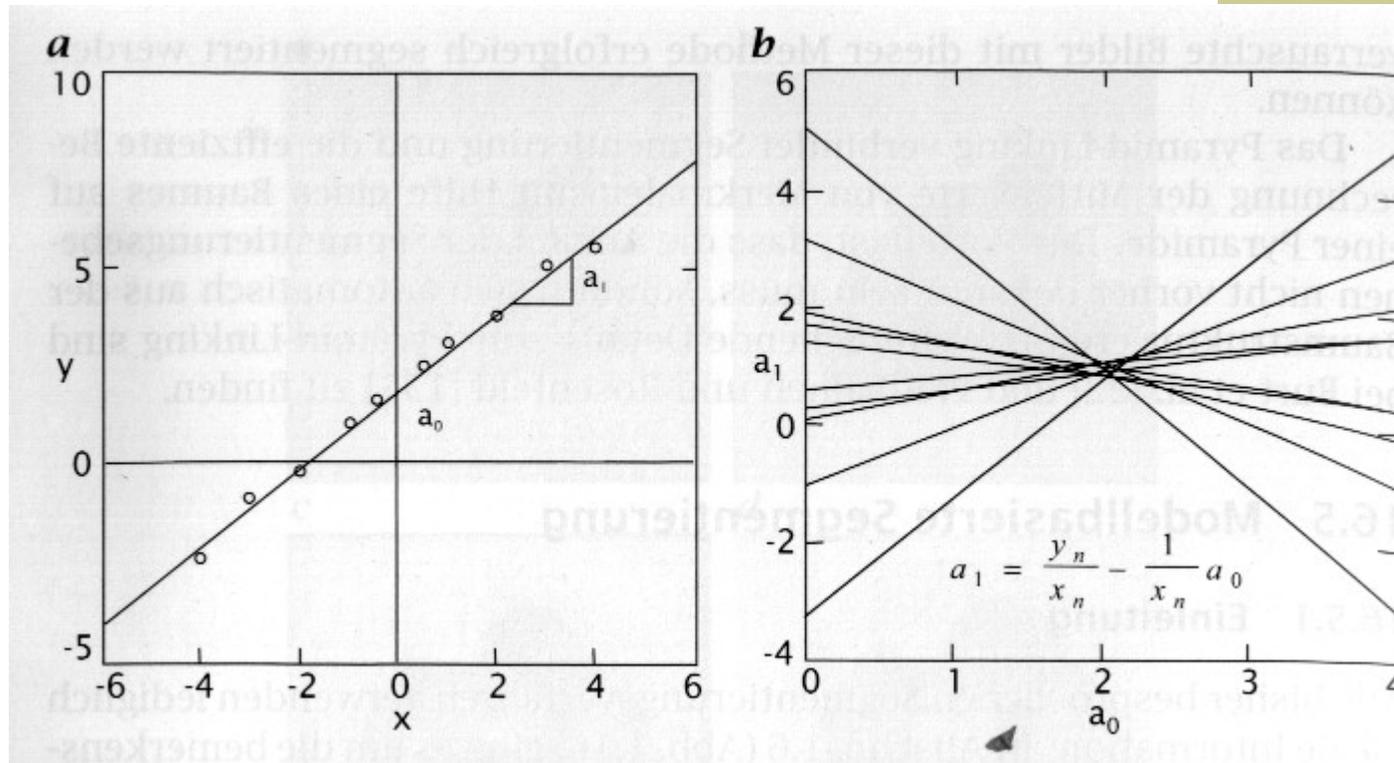
Für alle gefundenen Kantenpunkte  $[x_n, y_n]^T$   
muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$y_n = a_0 + a_1 x_n \quad (1)$$



$$a_1 = \frac{y_n}{x_n} - \frac{1}{x_n} a_0 \quad (2)$$

# 5. Modellbasierte Verfahren



# 5. Modellbasierte Verfahren

(2) ist eine Gerade in einem Vektorraum, der von  $a_0$  und  $a_1$  aufgespannt wird.

Diesen Vektorraum nennt man **model space**.

Jeder Kantenpunkt  $[x_n, y_n]^T$  wird als Gerade im **model space** dargestellt.

Ann.: alle Punkte  $[x_n, y_n]^T$  liegen auf einer Gerade

→ alle Geraden im **model space** schneiden sich in einem Punkt

# 5. Modellbasierte Verfahren

Dieser Schnittpunkt  $[a_0, a_1]^T$  ist unser gesuchtes  $a_0$  und  $a_1$  in der Geradengleichung (1).

Diese Transformation vom Vektorraum, der von  $x$  und  $y$  aufgespannt wird, in den model space nennt man **Hough-Transformation**.

**Aber in der Praxis:**

- verwendet man (1) nicht

Grund dafür:  $a_1$  unendlich werden kann  
( falls (1) eine Gerade parallel zur y-Achse ist)

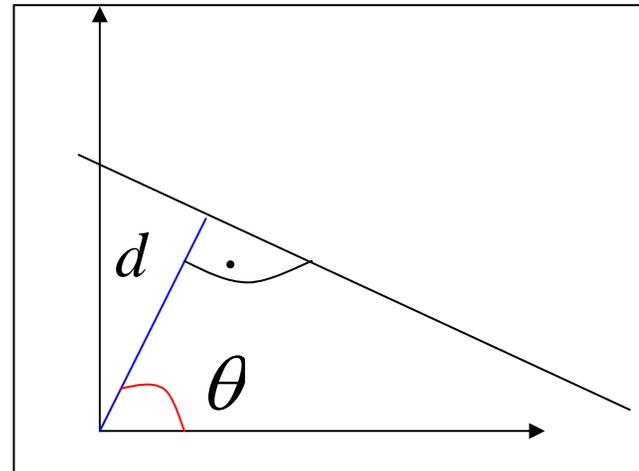
# 5. Modellbasierte Verfahren

Deshalb verwendet man die Normalenform einer Geraden:

$$x \cos(\theta) + y \sin(\theta) = d \quad \Leftrightarrow \quad \vec{n} \times \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = d$$

wobei  $\vec{n} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{pmatrix}$

mit  $\theta \in [0, \pi)$



# 5. Modellbasierte Verfahren

---

Unser model space wird hier von  $\theta$  und  $d$  aufgespannt.  
( $\theta$ ,  $d$  endlich)

## **Nachteil der Hough-Transformation:**

jeder einzelne Punkt muss in den model space transformiert werden

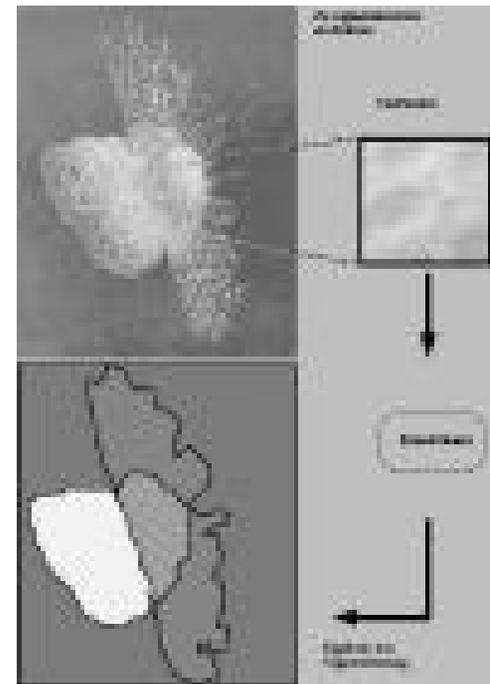
➡ hoher Aufwand

# 6. Texturorientierte Verfahren

Oftmals zeichnet sich ein Segment nicht durch einheitliche Farbe aus, sondern durch einheitliche Struktur

Texturorientierte Verfahren versuchen die Struktur als Homogenitätskriterium zu verwenden

Texturorientierte Verfahren werden meist zur Verbesserung und Unterstützung anderer Verfahren verwendet



# 6. Texturorientierte Verfahren

---

Definition einer Textur:

- Textur bedeutet das Bild, welches auf der Oberfläche eines virtuellen Körpers dargestellt wird
- Texturen können praktisch jede Eigenschaft einer Oberfläche gezielt verändern
  - Beispiel: Darstellung eines verrosteten Metalls nicht nur über der Struktur, sondern auch über die Steuerung des Glattheitsverhalten.

# 6. Texturorientierte Verfahren

---

Verfahren:

- Co-ocurrence–Matrizen
- Textureenergiemaße (Texture–Energy–Measure)
- Lauflängenmatrizen (Run–Length–Matrix)
- Signaltheoretische Konzepte (z.B.:Gaborfilterung)
- Markov–Zufallsfelder (MRF)

# 6. Texturorientierte Verfahren

- Es gibt verschiedene Formen von Markov-Zufallsfeldern:
  - Normalized Form
  - Canonical Form
  - Hierarchical Gibbs Random Field\*
  - Auto-Models:
    - Auto-logistic Model
    - Auto-normal Model
    - Auto-binomial Model (im folgenden etwas näher erläutert)
- Gibbs Random Field ist ein spezialisierter Fall eines MRF

Nachfolgende Erläuterungen nur Ergebnis aus [1], nähere und ausführlicher Herleitungen, bzw. Erklärungen sind in Literatur [4] zu finden.

# 6. Texturorientierte Verfahren

$\beta_{11}$	$\beta_7$	$\beta_6$	$\beta_8$	$\beta_{12}$
$\beta_9$	$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_4$	$\beta_{10}$
$\beta_5$	$\beta_1$	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_5$
$\beta_{10}$	$\beta_4$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_9$
$\beta_{12}$	$\beta_8$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_{11}$

Auto-Binomiales Modell:

- Wertung eines Punktes  $\mathbf{x}$  und seiner Nachbarn in Beziehung zu  $\mathbf{x}$
- Bei verschiedenen Ordnungen werden nur Teile der Nachbarn betrachtet
- Bei erster Ordnung: die vier direkten Nachbarn
- Bei zweiter Ordnung: Alle acht direkten Nachbarn
- usw.

# 6. Texturorientierte Verfahren

Markov–Zufallsfelder:

- Texturen in einem  $n \times n$  Grauwertbild werden mit den Werten  $\{0, \dots, N-1\}$  beschrieben
- Werte eines Bildpunktes  $B(\mathbf{x})$ , wobei  $\mathbf{x} = (x,y)$  korrelieren mit den Nachbarpunkten
- Ein Punkt  $\mathbf{y}$  heißt Nachbar von  $\mathbf{x}$ , wenn für eine passende Umgebung  $U$ , welche zu der Menge der Nachbarpunkte  $V$  gehört, für die Übergangswahrscheinlichkeit folgendes gilt:

$$p(B(\mathbf{x})|B(U)) > 0 \text{ für alle } \mathbf{x}, \mathbf{x} = (x,y)$$

$$p(B(\mathbf{x})|B(U)) = p(B(\mathbf{x})| B(S \setminus \{\mathbf{x}\}))$$

wobei  $B(U) = \{B(u) | u \in U \subset V\}$

und  $S$  die Menge aller Gitterpunkte,

also  $B(S \setminus \{\mathbf{x}\}) = \{B(s) | s \in S \setminus \{\mathbf{x}\}\}$

# 6. Texturorientierte Verfahren

Erfolgswahrscheinlichkeit vom Punkt  $\mathbf{x}$ :

$$\mathcal{G}(T) := \exp(T) / (1 + \exp(T))$$

wobei  $T := \alpha + \sum_{(x_i, y_i) \in U} \beta_i B((x_i, y_i))$

Algorithmus zur Erzeugung einer Textur ( auto-binomiales MRF):

- Wähle eine Ausgangsfärbung des Bildes  $B(\mathbf{x})$ , wobei  $\mathbf{x} = (x, y)$ , mit Grauwerten, gleichverteilt,  $n \times n$  Bildpunkt
- Bestimme die Ordnung und Konstanten  $\alpha, \beta_i$  usw. zur Festlegung der Übergangswahrscheinlichkeiten

$$p(B((x, y)) = k \mid B(U)) = \binom{N-1}{k} \mathcal{G}(T)^k (1 - \mathcal{G}(T))^{N-1-k}$$

# 6. Texturorientierte Verfahren

- Wiederhole die folgende Schleife, bis im Bild keine Änderung mehr auftritt:
  1. Wähle zwei Punkte  $(x_0, y_0)$  und  $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$  verschiedener Farbe  $B((x_0, y_0))$  und  $B((\tilde{x}_0, \tilde{y}_0))$ . Erzeuge nun eine Färbung  $B_{neu}((x, y))$ , die mit  $B((x, y))$  bis auf die vertauschten Werte der Punkte  $(x_0, y_0)$  und  $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$  übereinstimmt. Bestimme :

$$r := \prod_{x=0, y=0}^{n-1} \frac{p(B_{neu}((x, y)) | B(U))}{p(B((x, y)) | B(U))}$$

Bemerkung: Hier sind nur die direkten Nachbarn der Punkte  $(x_0, y_0)$  und  $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$  im Produkt zu berücksichtigen.

2. Wenn  $r \geq 1$ , dann ersetze die Grauwerte  $B((x, y))$  durch  $B_{neu}((x, y))$ ; anderenfalls erzeuge eine Realisierung einer Zufallszahl  $u \in [0, 1)$  gleichverteilt. Wenn  $r > u$ , dann ersetze  $B((x, y))$  durch  $B_{neu}((x, y))$
3. Nenne die neue Färbung wieder  $B(x, y)$

# Literatur

---

- [1] A. Janser, W. Luther, W. Otten „*Computergraphik und Bildverarbeitung*“, Vieweg
- [2] B. Jähne, „*Digital image processing*“, Springer, 2001
- [3] S.Z. Li, „*Markov Random Field Modeling in Computer Vision*“, Springer, 1995
- [4] Prof. Dr. Volker Schmidt, Markov-Ketten,  
(<http://www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik/lehre/ss03/markov/skript/skript.pdf>)