

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)
- ▶ Zusammenfassung

Segmentierung

- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien - Verfahren
 - Split and Merge
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Blob Coloring
 - Region Growing
 - Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing (Bereichswachstumsverfahren)
 - Wachstum beginnt an *Startpunkten* (auch Saatpunkte genannt)
 - Bewertung der Ähnlichkeit anhand eines *Abstandsmaßes*
 - *Schwellwert* T zur Entscheidung, ob hinreichend ähnlich
 - Abstand $< T$: Werte hinreichend ähnlich (Punkt zur Region hinzufügen bzw. Regionen verschmelzen)
 - Zahlreiche Varianten zum *Vergleich* von Regionen mit potentiellen neuen Punkten und zum Vergleich zweier ggf. zu verschmelzender Regionen
 - Varianten hinsichtlich der *Abarbeitungsreihenfolge*
 - Paralleles Erweitern der Regionen von allen Startpunkten gleichzeitig
 - Sequentielles Erweitern der Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Region Growing: Schwellwerte

- Berechneter Abstand wird mit einem Schwellwert verglichen
- Homogenitätskriterium erfüllt, wenn $\text{Abstand} < \text{Schwellwert}$
- Kleine Schwellwerte ergeben viele kleine Regionen, da der Schwellwert häufig überschritten wird
 - Gefahr der Übersegmentierung
 - Kann durch anschließendes Verschmelzen von Regionen reguliert werden
- Große Schwellwerte ergeben wenige große Regionen
 - Gefahr der Untersegmentierung
 - Auflösung nur durch erneute Segmentierung

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing Beispiel: Schwellwert 10, 21574 Regionen, übersegmentiert



Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing Beispiel: Schwellwert 20, 8353 Regionen



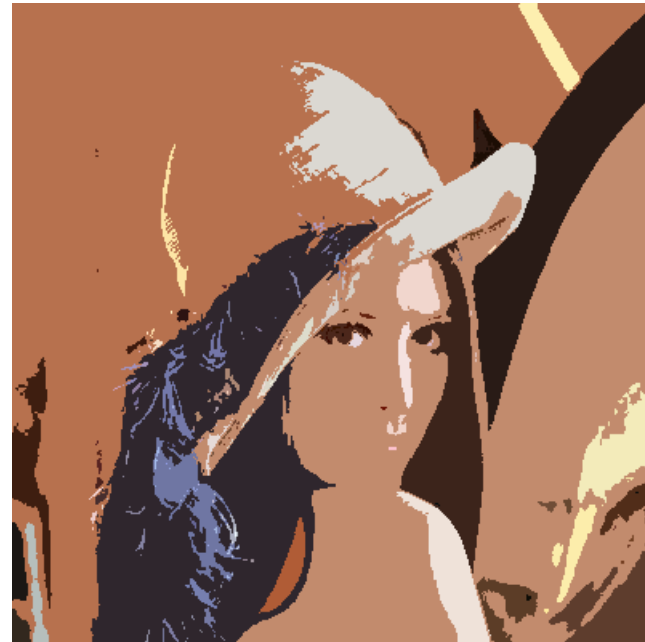
Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing Beispiel: Schwellwert 50, 1470 Regionen



Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing Beispiel: Schwellwert 100, 296 Regionen, untersegmentiert



Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing: Vergleich von Regionen mit potentiellen neuen Punkten
 - Vergleich neuer Punkte mit dem **Startpunkt** der Region
 - Besonders sensibel bezüglich der Wahl des Startpunktes
 - Vergleich neuer Punkte mit dem **Mittelwert** der Region (zentroides Bereichswachstum)
 - Vergleichswert passt sich stets an die wachsende Region an
 - Vergleich neuer Punkte mit **direkten Nachbarpunkten** am Regionenrand
 - Wahl des Startpunktes unkritisch
 - Graduelle Übergänge werden zu einer einzigen Region zusammengefasst

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing: Vergleich zweier benachbarter Regionen R_1, R_2 zwecks Verschmelzung
 - **Lokal:** Paarweiser Vergleich von Nachbarpunkten P_1, P_2 entlang der Regionengrenze, mit $P_1 \in R_1, P_2 \in R_2$, mit folgenden Varianten
 - Mindestens ein Punktepaar ist hinreichend ähnlich
 - Alle Punktepaare sind hinreichend ähnlich
 - Mittelwert der Ähnlichkeit aller Punktepaare ist hinreichend ähnlich
 - **Global:** Vergleich der Mittelwerte beider Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing: Abarbeitungsreihenfolge
 - **Paralleles** Regionenwachstum
 - Gleichzeitiges Bereichswachstum von mehreren Startpunkten aus
 - In jedem Iterationsschritt wird ein Ring aus Punkten um die Region auf Ähnlichkeit geprüft und ggf. hinzugefügt (Grassfire Algorithmus)
 - Ggf. Verschmelzen ähnlicher, zusammenwachsender Regionen
 - **Sequentielles** Regionenwachstum
 - Startpunkten muss eine Reihenfolge zugewiesen werden
 - Die Reihenfolge beeinflusst das Segmentierungsergebnis
 - Z.B. mit bestem Startpunkt beginnen und Bereichswachstum durchführen, dann neuen besten noch unsegmentierten Startpunkt wählen und fortfahren bis zur vollständigen Segmentierung

Homogenitätsbasierte Segmentierung

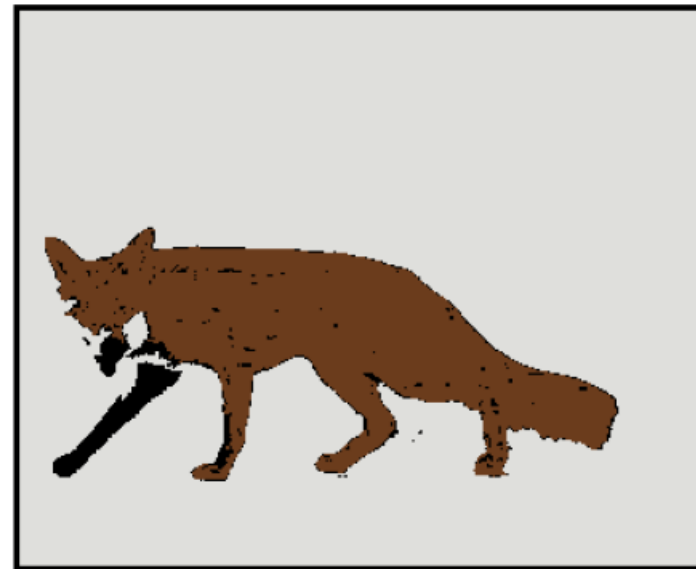
- ▶ Beispiel: Zentroides Region Growing [Melzer 02] (1)
 - Zentroider Vergleich neuer Punkte am Regionenrand mit dem Mittelwert der bereits segmentierten Punkte der Region
 - Startpunkte in homogenen Bereichen - zwei Kriterien:
 - Schwellwert bezüglich der maximalen Varianz
 - Größe der Umgebung
 - Sequentielle Abarbeitungsreihenfolge
 - Suche nach Startpunkten von links oben nach rechts unten
 - Bereichswachstum mit dem ersten gefundenen Startpunkt, bis die Region nicht mehr wächst
 - Bereichswachstum mit dem nächsten noch unsegmentierten Startpunkt, bis die Startpunktsuche die rechte untere Ecke erreicht hat

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Beispiel: Zentroides Bereichswachstum [Melzer 02] (2)
 - Verarbeitung wahlweise im RGB, HLS, Cie-Lab oder CIE-Luv Farbmodell
 - Individuelle Schwellen für alle drei Farbkanäle
 - Optionaler Nachbearbeitungsschritt zur Vermeidung kleiner Regionen
 - Regionen unterhalb einer Mindestgröße werden mit der ähnlichsten benachbarten Region verschmolzen
 - Bildpunkte bleiben unsegmentiert, wenn sie
 - Das Kriterium für Startpunkte nicht erfüllen
 - Aufgrund der Schwelle für das Ähnlichkeitskriterium keiner der benachbarten Regionen zugeordnet werden können

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Zentroides Bereichswachstum [Melzer 02]
 - 11x11 Nachbarschaft und große Schwelle
 - Schwarze Punkte im Ergebnisbild sind unsegmentiert geblieben



Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Literatur

- [Ballard 82] D.H. Ballard and C.M. Brown. *Computer Vision*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- [Melzer 02] Björn Melzer. *Bewegungsanalyse in Bildfolgen auf Basis von Farbregionen*. Diplomarbeit. Universität Bremen, April 2002.

Segmentierung

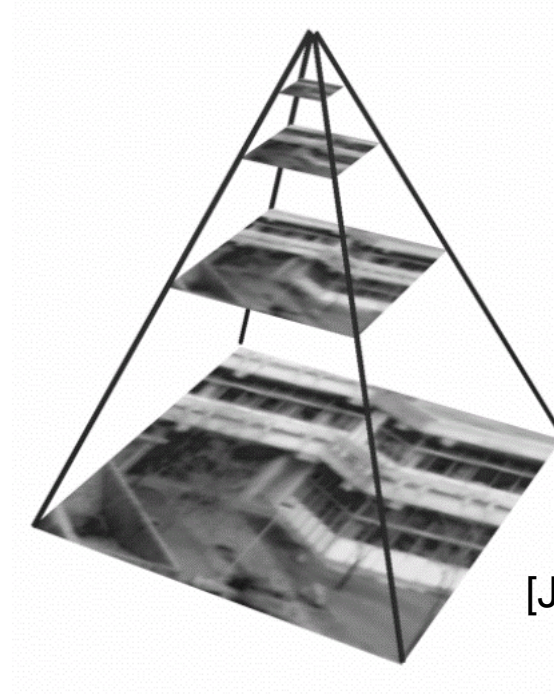
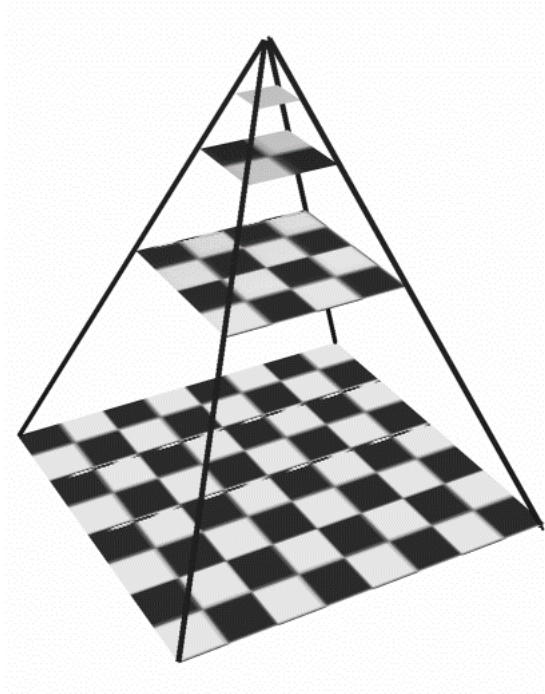
- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien - Verfahren
 - Split and Merge
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Blob Coloring
 - Region Growing
 - Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)
- ▶ Schritt 1: Berechnung einer Bildpyramide
 - Bildserie, bei der sich Höhe und Breite auf jeder Ebene halbieren
 - Berechnung der nächst höheren Ebene
 - Je 4x4 Punkte werden durch (ggf. gewichtete) Mittelwertbildung zu einem Punkt zusammengefasst
 - Die 4x4 Nachbarschaften überlappen in beide Richtungen um je 2 Punkte
 - An den Bildrändern werden 3x3, 3x4 und 4x3 Punkte zusammengefasst

Homogenitätsbasierte Segmentierung

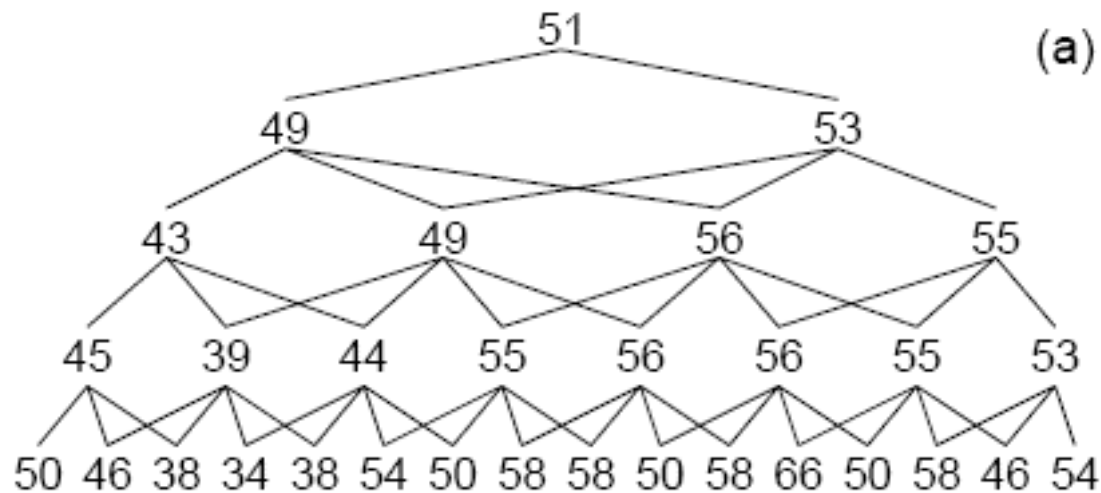
- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



[Jähne 05], S. 138

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

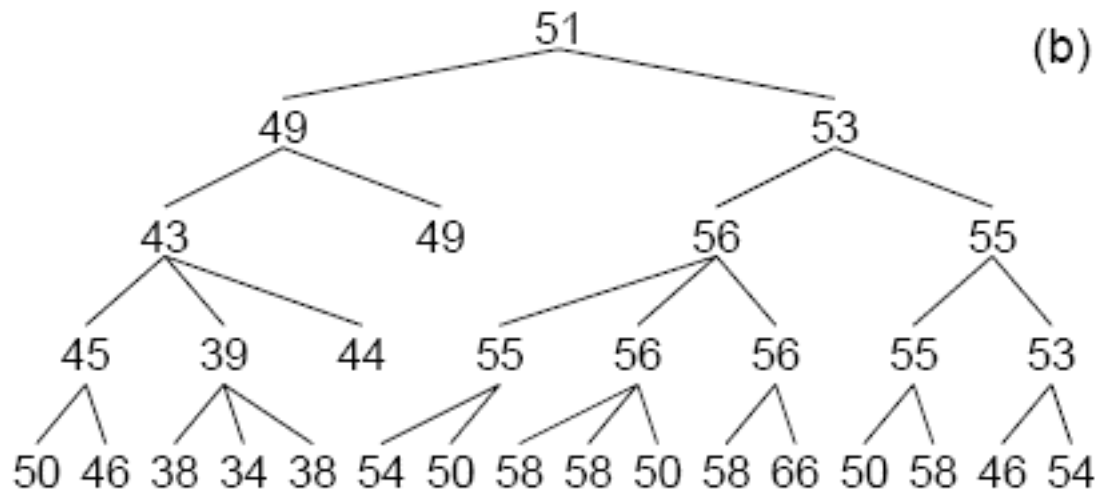
- Pyramide für eine Bildzeile mit Stufenkante

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)
- ▶ Schritt 2: Neue Verlinkung
 - Jeder Punkt (Sohn) hat zum Mittelwert von vier (am Rande drei) Punkten (Väter) auf der nächsthöheren Ebene beigetragen (eindimensionaler Fall, Bildzeile)
 - Neue Verlinkung der Knoten: Zuordnung jedes Sohn-Knotens der i -ten Ebene zu demjenigen Vaterknoten auf der Ebene $i+1$ mit dem ähnlichsten Grauwert
 - Es entsteht eine Baumstruktur

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

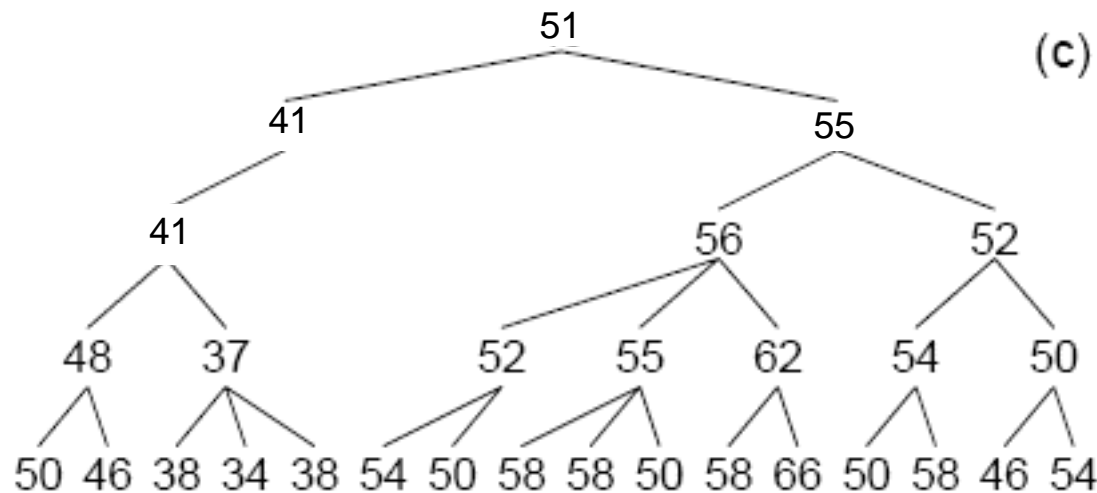
- Neue Verlinkung

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)
- ▶ Schritt 3: Neue Mittelwerte berechnen
 - Eliminieren von Vaterknoten ohne Kinder
 - Neuberechnung der Werte der Vaterknoten auf allen Ebenen aus dem Mittelwert der nach der neuen Verlinkung zugeordneten Söhne
 - Gewichtung der Werte nach der Größe der Region, die ein Wert repräsentiert (Anzahl der Blätter des Astes)
- ▶ Iteration von Schritt 2 und 3 bis keine Änderung mehr stattfindet oder vorgegebene maximale Anzahl von Iterationen erreicht ist

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

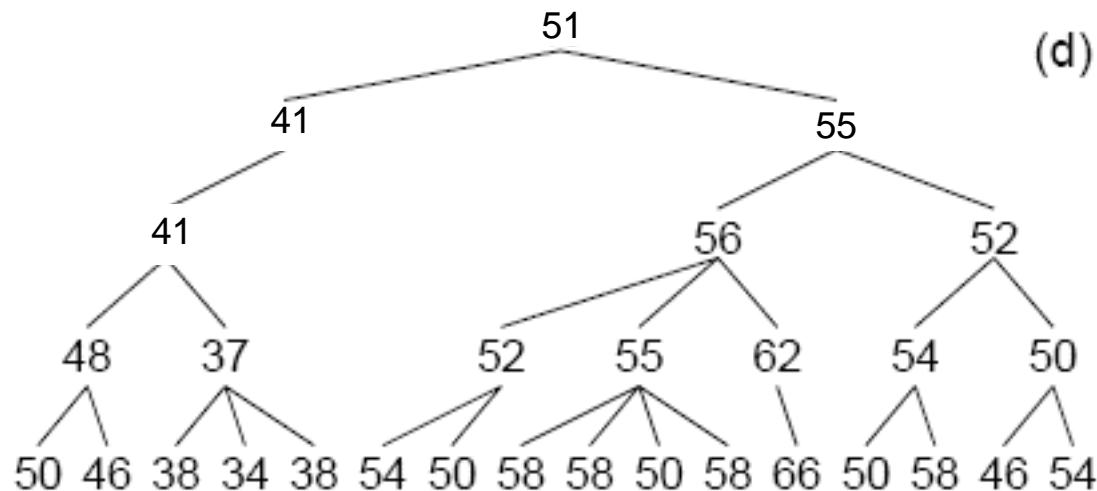


[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

- Neue Mittelwerte

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

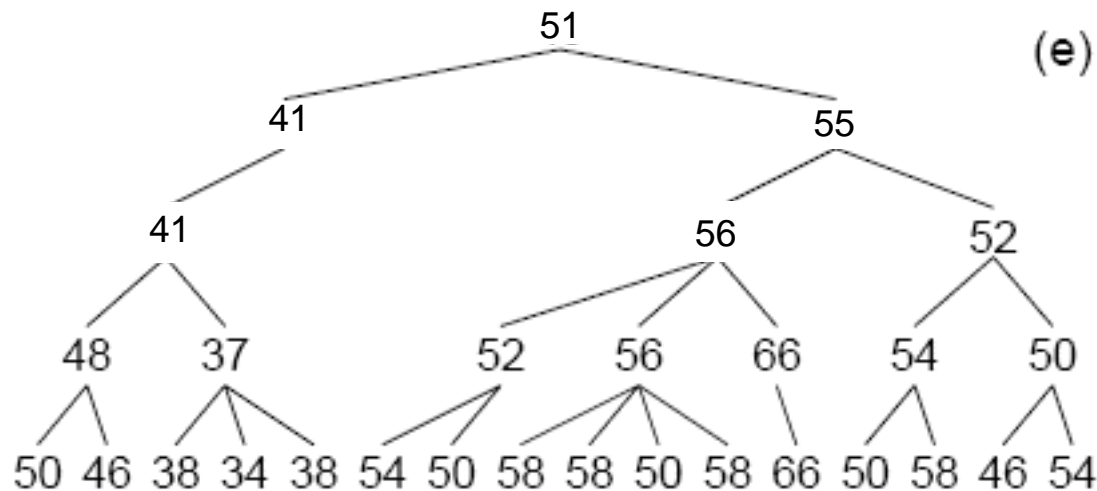


[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

- Neue Verlinkung (2. Iteration)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



(e)

[Lehmann 97], S. 381

[Jähne 05], S. 434

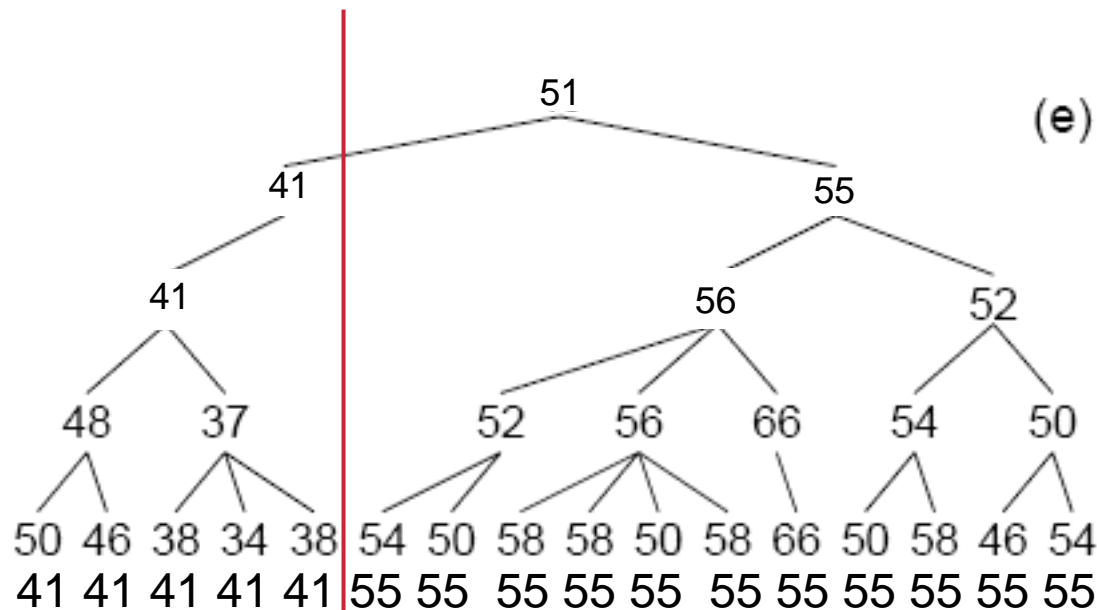
- Neue Mittelwerte (2. Iteration), stabiler Zustand erreicht

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)
- ▶ Schritt 4: Segmentierung
 - Auswahl einer Ebene, aufgrund derer die Segmentierung stattfinden soll
 - Projektion der Werte der Vaterknoten der gewählten Ebene auf alle Söhne bis zur Blattebene
 - Je höher die gewählte Ebene, desto weniger und damit größere Regionen entstehen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



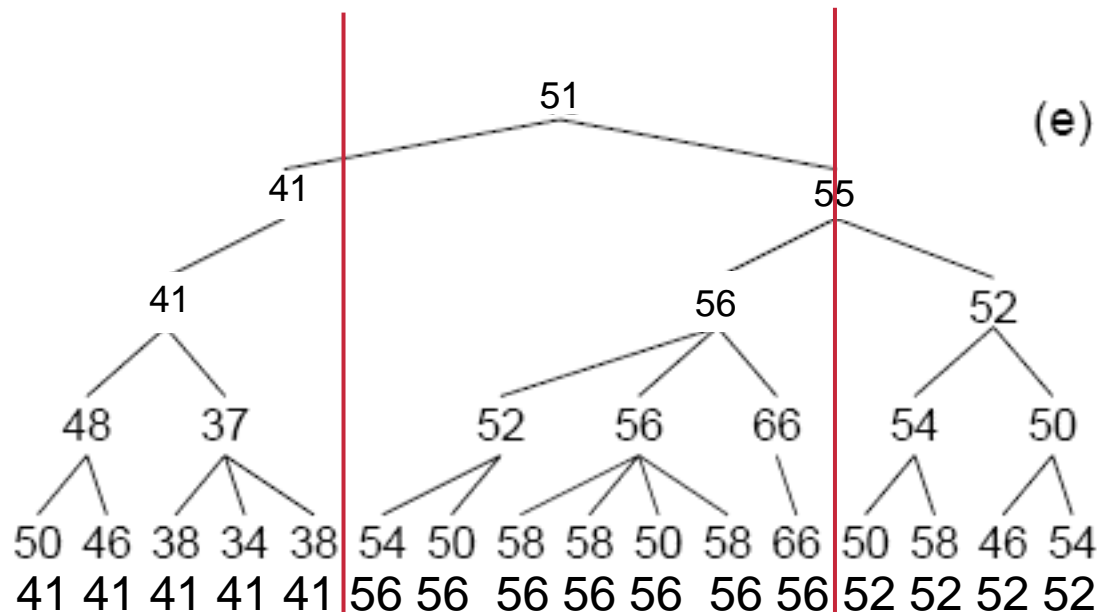
[Lehmann 97], S. 381

[Jähne 05], S. 434

- Segmentierung auf Ebene 3: 2 Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

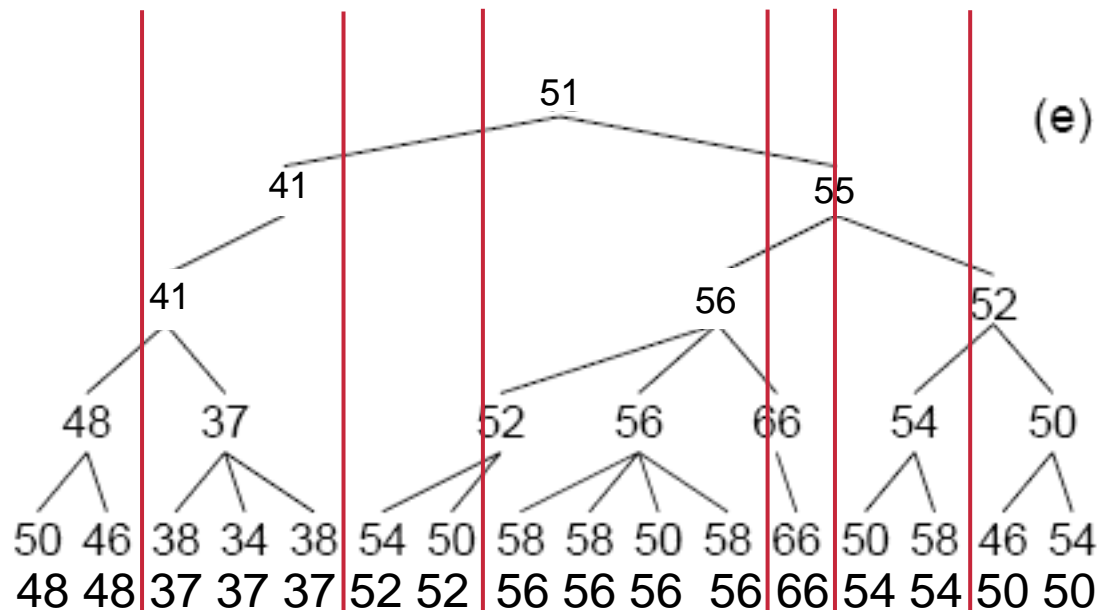


[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

- Segmentierung auf Ebene 2: 3 Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

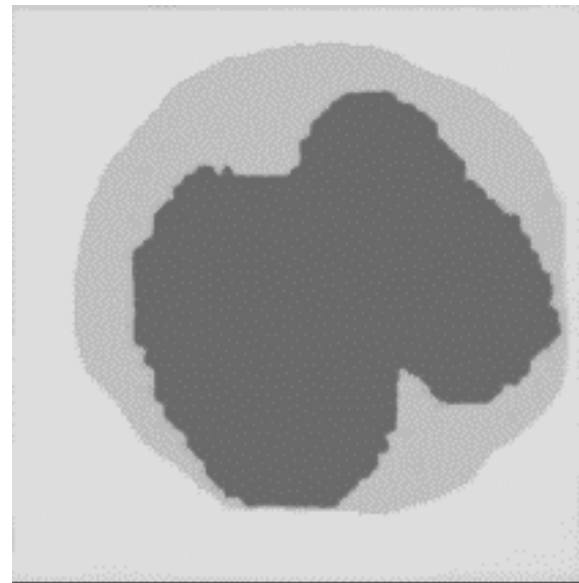
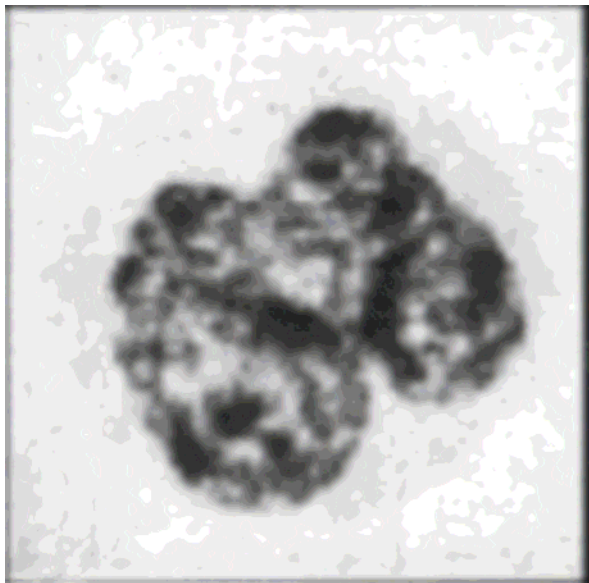


[Lehmann 97], S. 381
[Jähne 05], S. 434

- Segmentierung auf Ebene 1: 7 Regionen (übersegmentiert)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)



[Jähne 05], S. 435
nach [Burt 84]

- ▶ Beispiel: Segmentierung einer Zelle (3 Regionen)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Pyramid linking – Literatur

- [Burt 84] P. J. Burt. The pyramid as a structure for efficient computation. In: A. Rosenfeld, ed., *Multiresolution image processing and analysis*, vol. 12 of *Springer Series in Information Sciences*, pp. 6–35. Springer, New York, 1984.
- [Jähne 05] Bernd Jähne: *Digitale Bildverarbeitung*. Springer-Verlag, 2005.
- [Lehmann 97] Lehmann, T., Oberschelp, W., Pelikan, E. und Repges, R.: *Bildverarbeitung für die Medizin. Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen*. Springer, 1997.

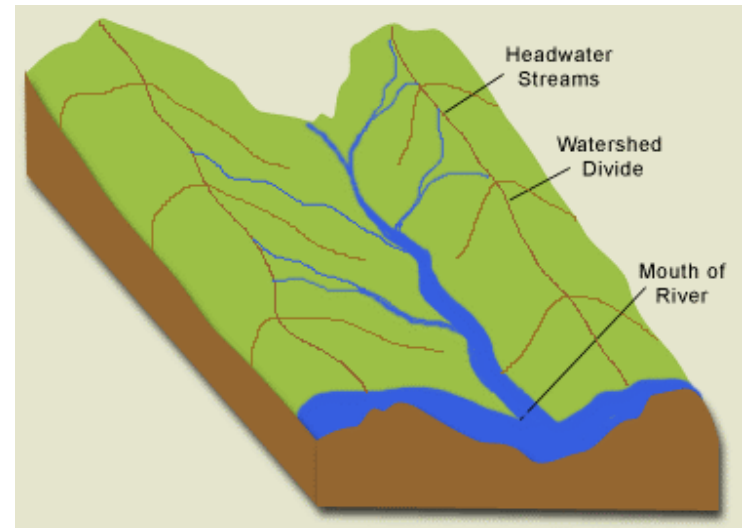
Segmentierung

- ▶ 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)
- ▶ Zusammenfassung

Hybride Segmentierungsverfahren

► Wasserscheidentransformation

- Regionenorientierte Segmentierung mit kantenorientierten Aspekten
- Quellen in lokalen Minima des Bildes
- Wasserstand steigen lassen (regionenorientiert)
- Segmentierung entlang der Wasserscheiden (kantenorientiert)
- Anwendung häufig in der medizinischen BV

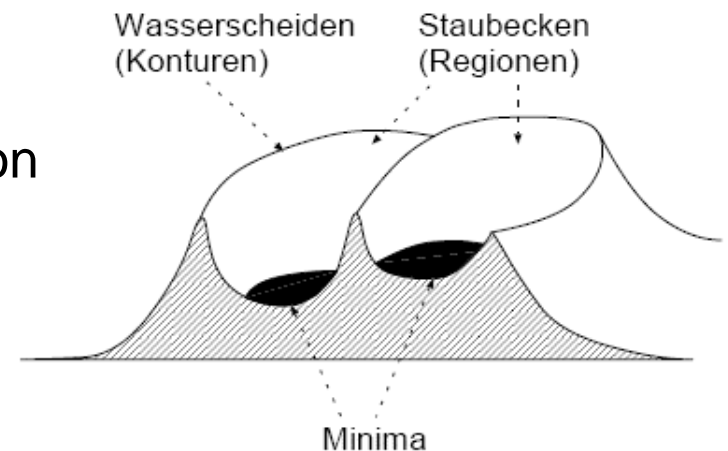


<http://www.thewatershed.org/images/uploads/watersheddiagram.gif>

Hybride Segmentierungsverfahren

► Wasserscheidentransformation

- Grundlage ist ein Gradientenbild, gewonnen durch Anwendung eines Kantenoperators
- Grauwerte des Gradientenbildes als Höhenrelief aufgefasst
- Sukzessive Flutung ausgehend von Quellen in den lokalen Minima
- Staubecken rund um die Minima bilden Regionen

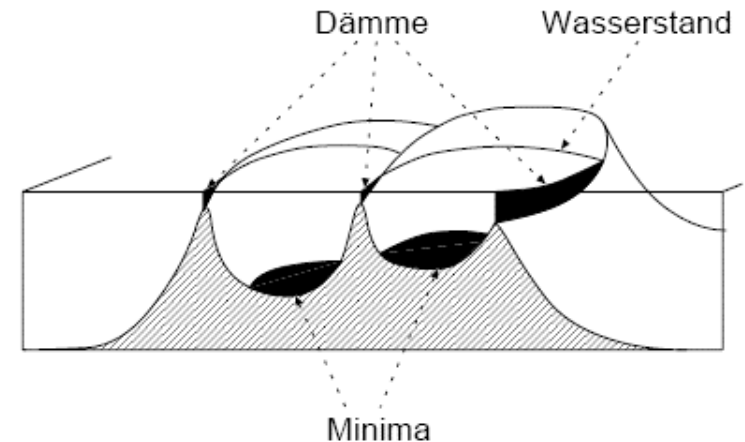


[Lehmann 97], S. 373

Hybride Segmentierungsverfahren

► Wasserscheidentransformation

- Wasserscheiden trennen aneinander stoßenden Staubecken
- Zunächst Übersegmentierung
- Durch weiter steigenden Wasserstand können Becken (Regionen) zusammenfließen
- (Manuell gesetzte) Dämme können das Zusammenfließen verhindern



[Lehmann 97], S. 373

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)
- ▶ Zusammenfassung

Zusammenfassung Segmentierung

- ▶ Ziel: Zerlegung des Bildes in Segmente bzw. Regionen
- ▶ Punktorientierte Verfahren (einfach)
 - Schwellwertverfahren
- ▶ Nachbarschaftsorientierte Verfahren (komplex)
 - Diskontinuitätsbasiert: Suchen von Grenzen
 - Z.B. Kantenbasierte Segmentierung, Canny, Hough Transformation
 - Homogenitätsbasiert: Zusammenfassen von Bereichen
 - Z.B. Blob Coloring, Region Growing
 - Hybride Verfahren
 - Z.B. Wasserscheidentransformation
- ▶ Regionen bilden die Basis für die Merkmalsextraktion

Themengebiete der Bildverarbeitung

Grundlagen

Anwendungen

► Bildverarbeitung vom Pixel bis zum erkannten Objekt

- Bildgebung
- Vorverarbeitung
- Segmentierung
- Merkmalsextraktion
- Klassifikation

Binärbild-
verarbeitung

Menschliches
vs. Maschinelles
Sehen

Farbbild-
verarbeitung

Textur-
analyse

Binärbildverarbeitung

- ▶ Einführung
- ▶ Mengenoperationen
- ▶ Morphologische Basisoperationen Dilatation und Erosion
- ▶ Komplexe morphologische Operationen
 - Öffnen und Schließen
 - Hit or Miss
 - Skelettierung
 - Konturextraktion
 - Segmentierung mit dem Grassfire Algorithmus
- ▶ Morphologie für Grauwertbilder
- ▶ Zusammenfassung

Binärbildverarbeitung - Grundlagen

- ▶ Binärbild besteht nur aus schwarzen (nicht gesetzten) und weißen (gesetzten) Punkten
- ▶ Werte 0 und 1 (oft auch 0 und 255)
- ▶ Binärbild wird üblicherweise gewonnen durch Schwellwertbinarisierung eines Grauwertbildes
- ▶ Mengenoperationen erlauben die Verknüpfung von Bildern
- ▶ Morphologische Operationen dienen einer Nachbearbeitung der Form der segmentierten Regionen
 - Basisoperationen Erosion und Dilatation
 - Komplexe morphologische Operationen durch Verknüpfung mehrerer Basisoperationen

Binärbildverarbeitung

- ▶ Einführung
- ▶ Mengenoperationen
- ▶ Morphologische Basisoperationen Dilatation und Erosion
- ▶ Komplexe morphologische Operationen
 - Öffnen und Schließen
 - Hit or Miss
 - Skelettierung
 - Konturextraktion
 - Segmentierung mit dem Grassfire Algorithmus
- ▶ Morphologie für Grauwertbilder
- ▶ Zusammenfassung

Mengenoperationen

- ▶ Komplement
- ▶ Umkehr der Menge der gesetzten Punkte von Bild E

$$A = \overline{E}$$

- ▶ Entspricht Invertierung

Mengenoperationen

► Vereinigungsmenge

- Mengen gesetzter Punkte von Bild E_1 und Bild E_2 werden vereinigt

$$A = E_1 \cup E_2$$

- Entspricht logischem „OR“
- Auch: „union“

Mengenoperationen

► Schnittmenge

- Mengen gesetzter Punkte von Bild E_1 und Bild E_2 werden geschnitten

$$A = E_1 \cap E_2$$

- Entspricht logischem „AND“
- Auch: „intersection“

Mengenoperationen

► Mengendifferenz

- Punkte aus Bild E_1 vermindert um die Punkte aus Bild E_2

$$A = (E_1 \setminus E_2)$$

- Punkte, die in E_1 aber nicht in E_2 enthalten sind

Mengenoperationen

- ▶ Symmetrische Mengendifferenz
 - Punkte, in denen sich Bild E_1 und Bild E_2 unterscheiden

$$A = (E_1 \setminus E_2) \cup (E_2 \setminus E_1)$$

- Punkte, die entweder in Bild E_1 oder Bild E_2 gesetzt sind (exklusiv oder)
- Entspricht logischem „XOR“

Binärbildverarbeitung

- ▶ Einführung
- ▶ Mengenoperationen
- ▶ Morphologische Basisoperationen Dilatation und Erosion
- ▶ Komplexe morphologische Operationen
 - Öffnen und Schließen
 - Hit or Miss
 - Skelettierung
 - Konturextraktion
 - Segmentierung mit dem Grassfire Algorithmus
- ▶ Morphologie für Grauwertbilder
- ▶ Zusammenfassung

Morphologie im Binärbild

- ▶ Morphologische Operatoren bearbeiten die Form von Bildregionen
 - Füllen von Löchern
 - Entfernen von isolierten Punkten und kleinen Strukturen
 - Auffüllen von konkaven Randbereichen
 - Abtragen von konvexen Randbereichen
- ▶ Lokale Nachbarschaftsoperationen unter Verwendung eines *strukturierenden Elements*, bestehend aus
 - Nachbarschaft
 - Bezugspunkt

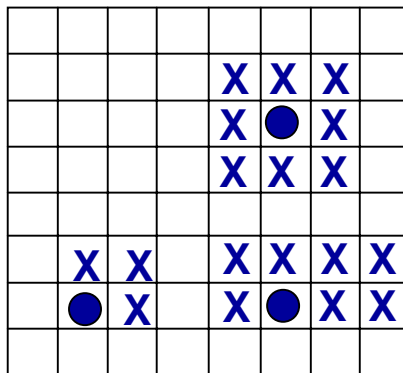
Morphologie: Strukturierende Elemente

- ▶ Strukturierende Elemente im Rechteckraster
 - Grundformen Rechteck, Kreuz und Ellipse
 - Beliebige frei definierte Formen sind ebenfalls möglich
 - Beliebige Position des Bezugspunktes
- ▶ Wahl des passenden strukturierenden Elementes
 - Struktur und Form der erwünschten Regionen sollte erhalten bleiben
 - Nicht erwünschte Regionen sollten entfernt werden

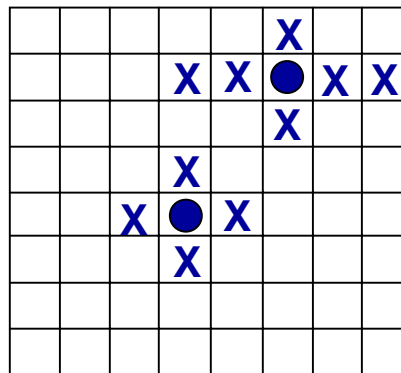
Morphologie: Strukturierende Elemente

- ▶ Elementare strukturierende Elemente im Rechteckraster

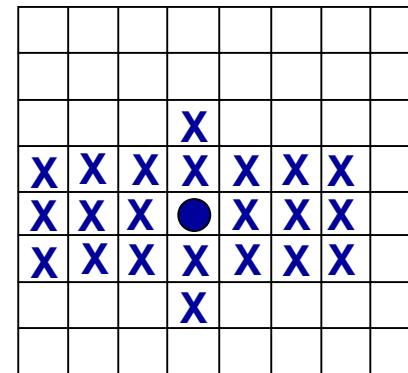
Rechtecke



Kreuze

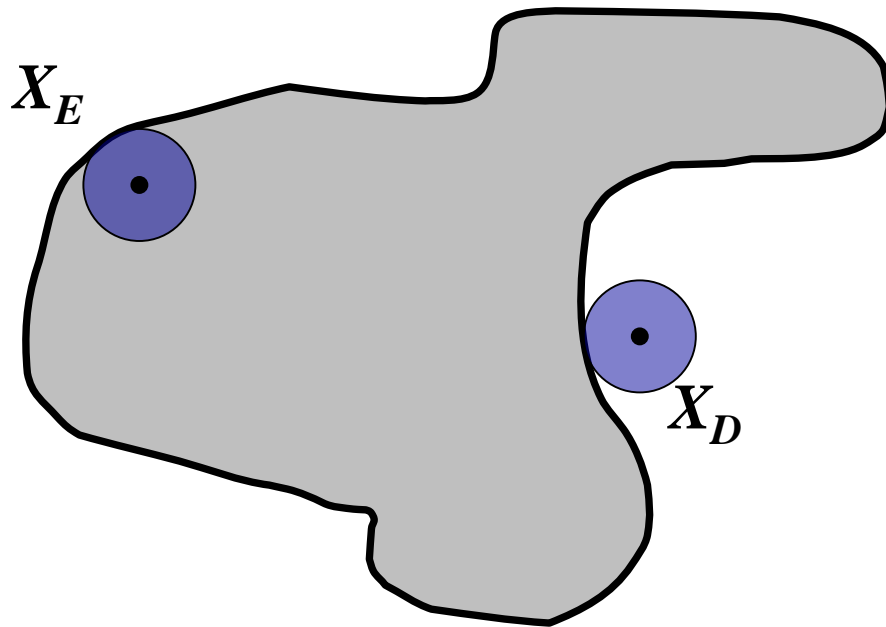


OpenCV Ellipse (7x5)



● = Bezugspunkt

Morphologie: Basisoperationen



► Dilatation und Erosion

- Dilatation: Setze Bezugspunkt, wenn mindestens ein Punkt in X_D gesetzt ist. Auftragen von Punkten entlang der Kontur der Region gemäß der Form von X_D
- Erosion: Setze Bezugspunkt, wenn alle Punkte in X_E gesetzt sind. Abtragen von Punkten entlang der Kontur gemäß der Form von X_E

Morphologie: Basisoperationen

► Dilatation

- Hinzufügen von Punkten am Rande von weißen (gesetzten) Regionen gemäß des strukturierenden Elementes X

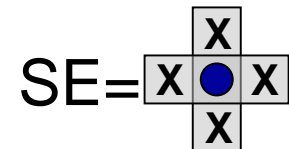
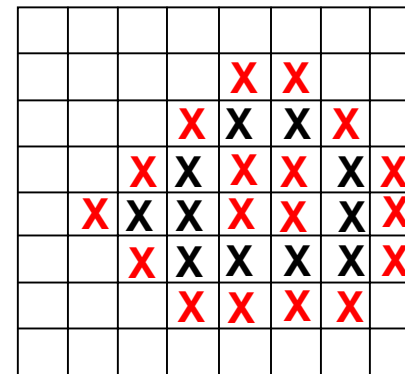
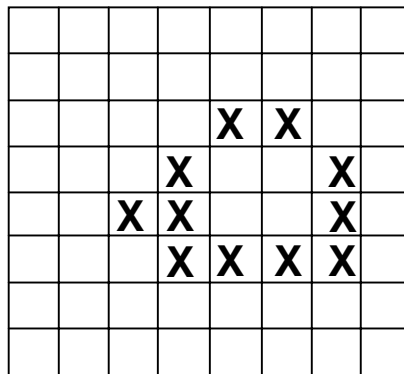
$$A = E \langle + \rangle X$$

- A entsteht durch Dilatation von E mit dem strukturierenden Element X
- Bezugspunkt wird gesetzt, wenn mindestens ein Punkt des strukturierenden Elementes X gesetzt ist

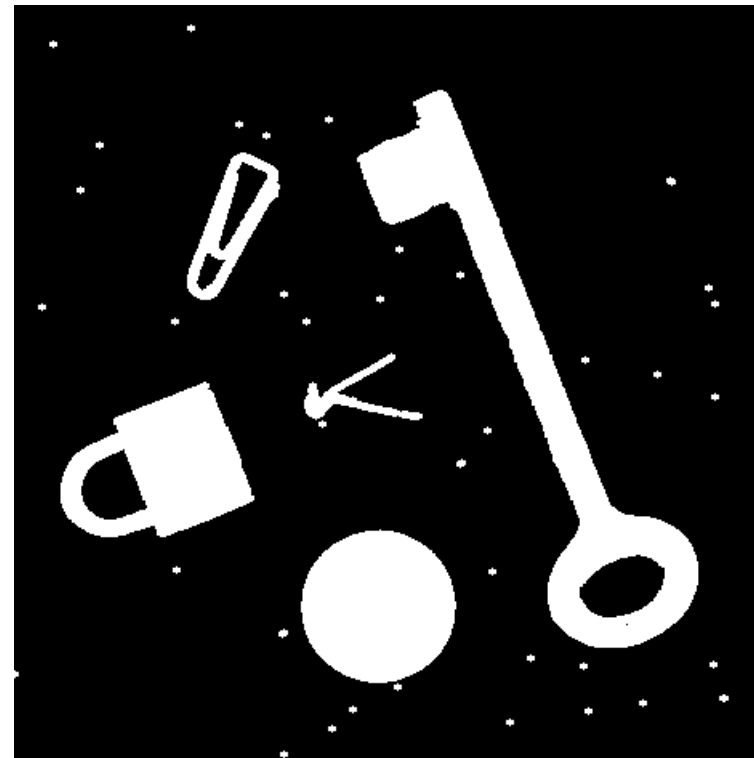
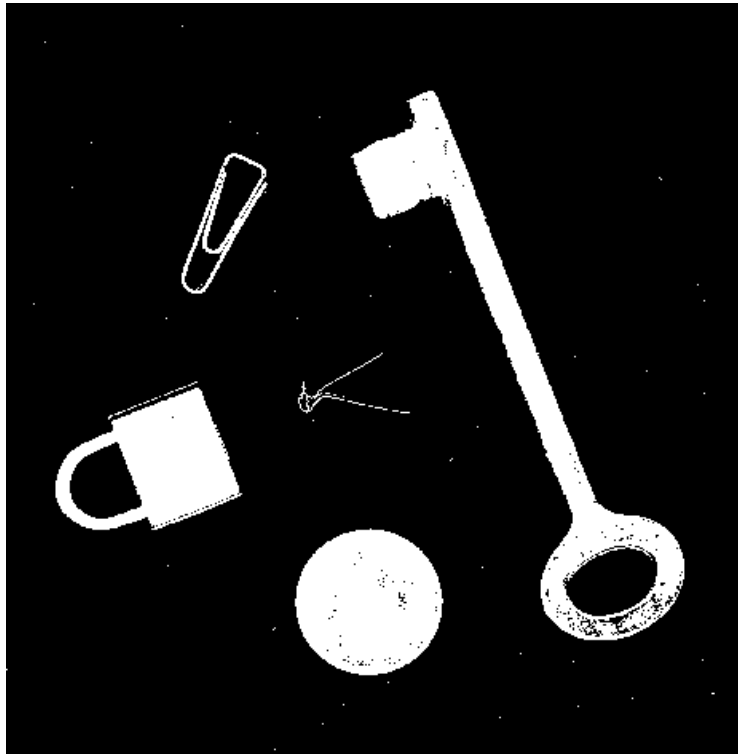
Morphologie: Basisoperationen

► Dilatation

- Bezugspunkt setzen, wenn mindestens ein Punkt des strukturierenden Elementes SE gesetzt ist
- Löcher werden aufgefüllt
- Konkave Randbereiche werden aufgefüllt
- Keine Rücktransformation möglich



Morphologie: Basisoperationen



- Dilatation mit strukturierendem Element Ellipse der Größe 5x5

Morphologie: Basisoperationen

► Erosion

- Abtragen von Punkten am Rande von weißen (gesetzten) Regionen gemäß des strukturierenden Elementes

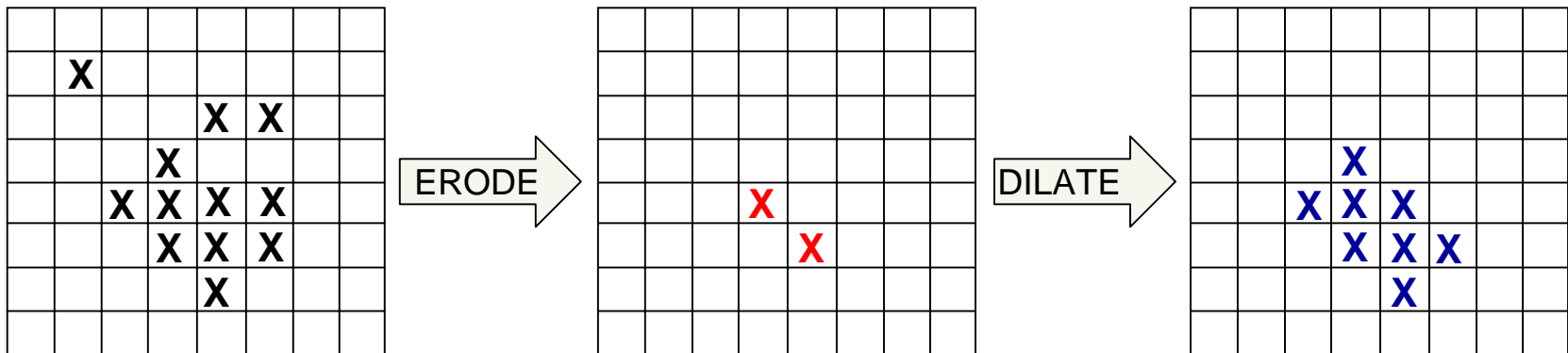
$$A = E \langle - \rangle X$$

- A entsteht durch Erosion von E mit dem strukturierenden Element X
- Bezugspunkt wird gesetzt, wenn alle Punkte des strukturierenden Elementes X gesetzt sind

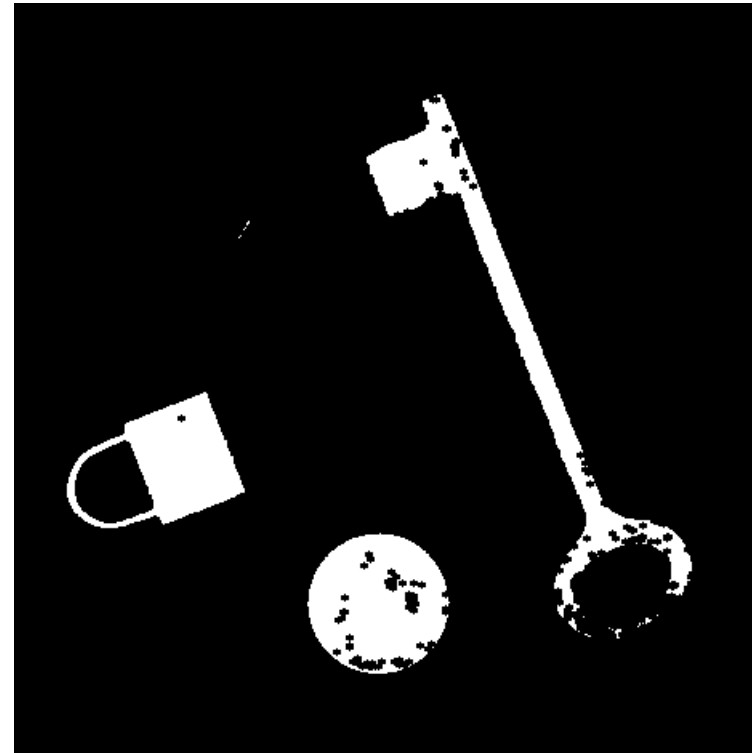
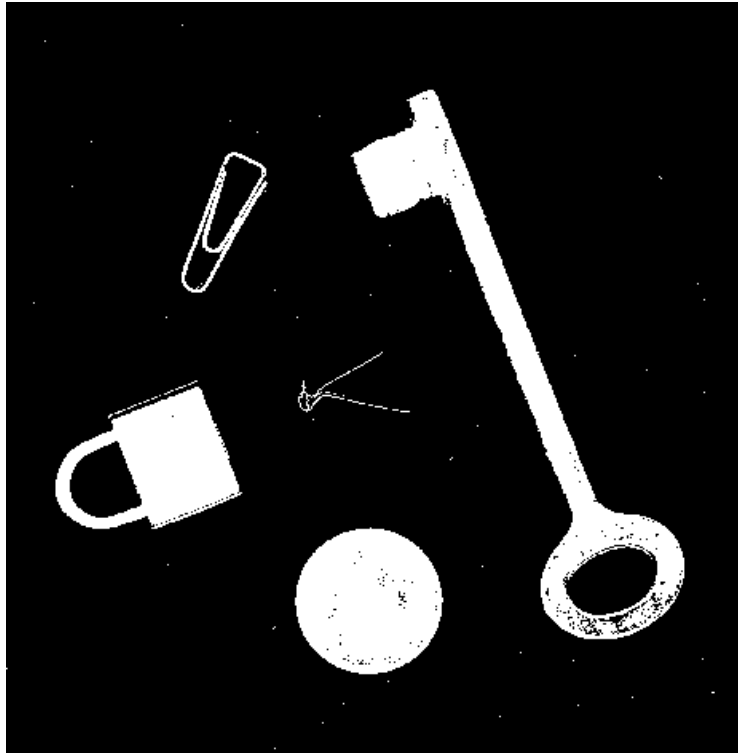
Morphologie: Basisoperationen

- ▶ Durch Erosion können vorhandene Objekte verschwinden
 - Bezugspunkt setzen, wenn alle Punkte des strukturierenden Elementes SE gesetzt sind
 - Konvexe Randbereiche werden abgetragen
 - Objektteile werden abgetragen
 - Ebenfalls keine Rücktransformation möglich

$$SE = \begin{array}{c} \text{X} \\ \text{X} \bullet \text{X} \\ \text{X} \end{array}$$



Morphologie: Basisoperationen



- ▶ Erosion mit strukturierendem Element Ellipse der Größe 5x5

Morphologie: Basisoperationen

► Eigenschaften von Dilatation und Erosion

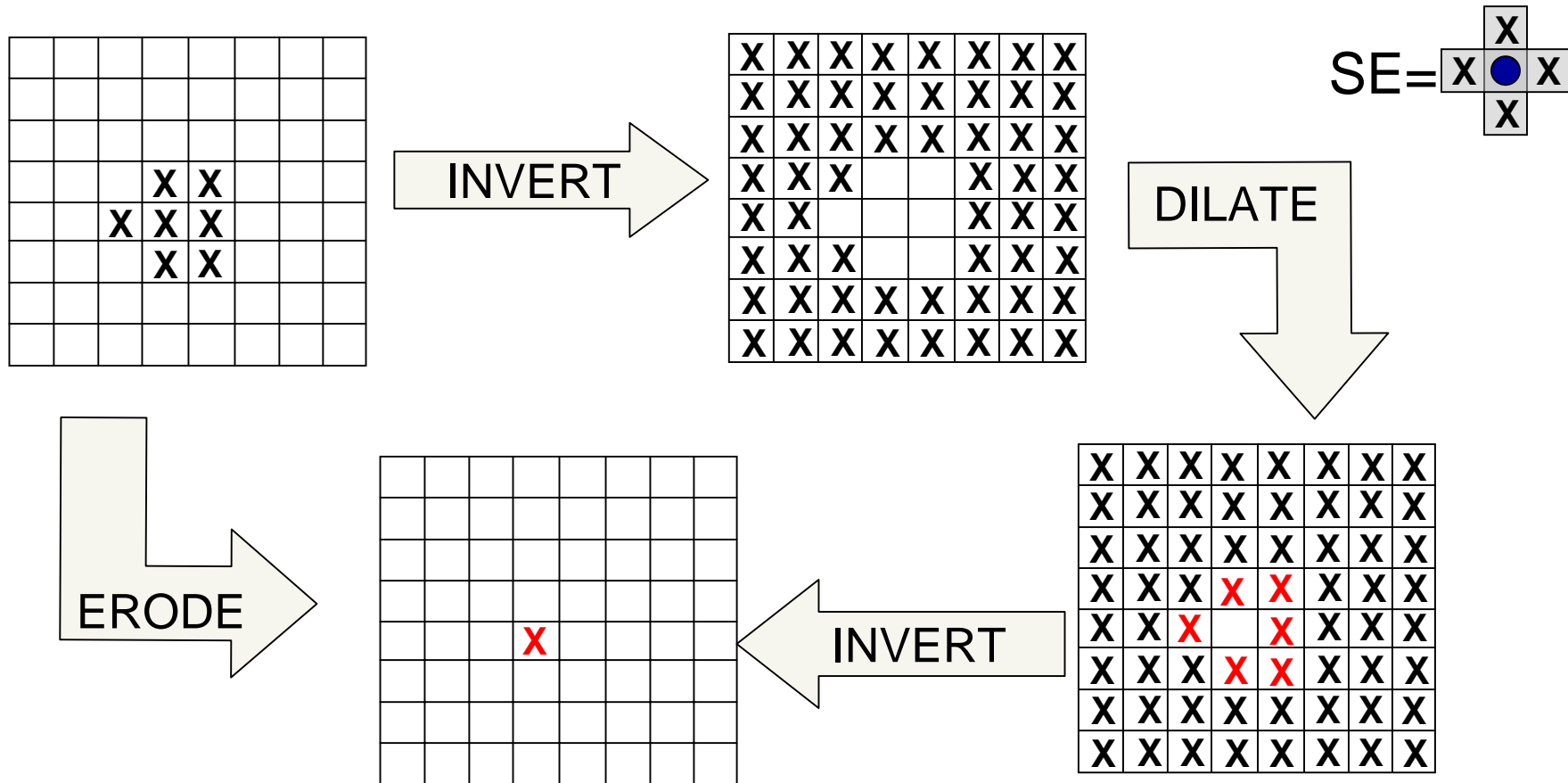
- Dilatation des Komplementbildes = Komplementbild des erodierten Bildes

$$\overline{E\langle + \rangle X} = \overline{E\langle - \rangle X}$$

- Originalbild ist im dilatierten Bild enthalten und erodiertes Bild ist im Originalbild enthalten

$$E\langle - \rangle X \subseteq E \subseteq E\langle + \rangle X$$

Morphologie: Dilatation und Erosion



Binärbildverarbeitung

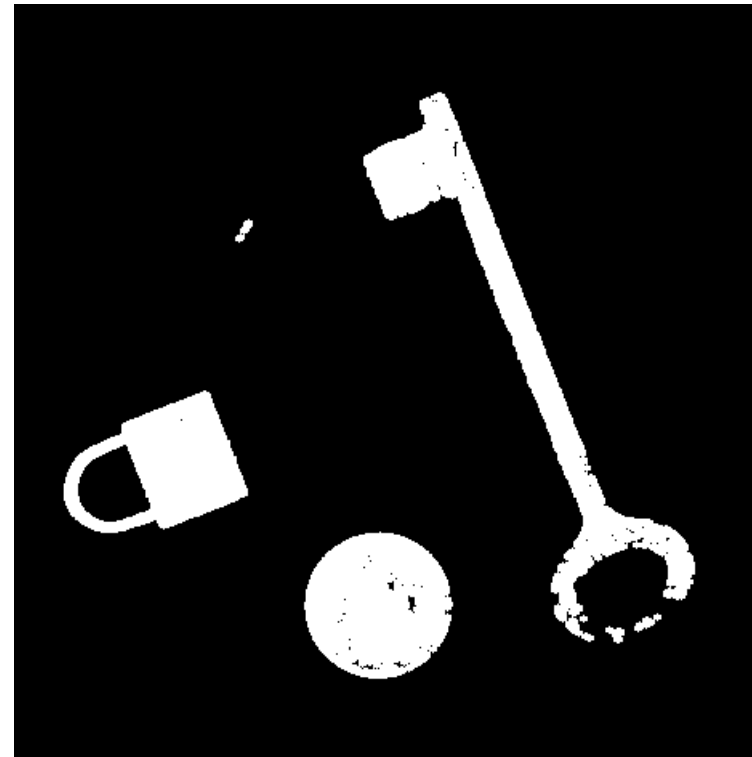
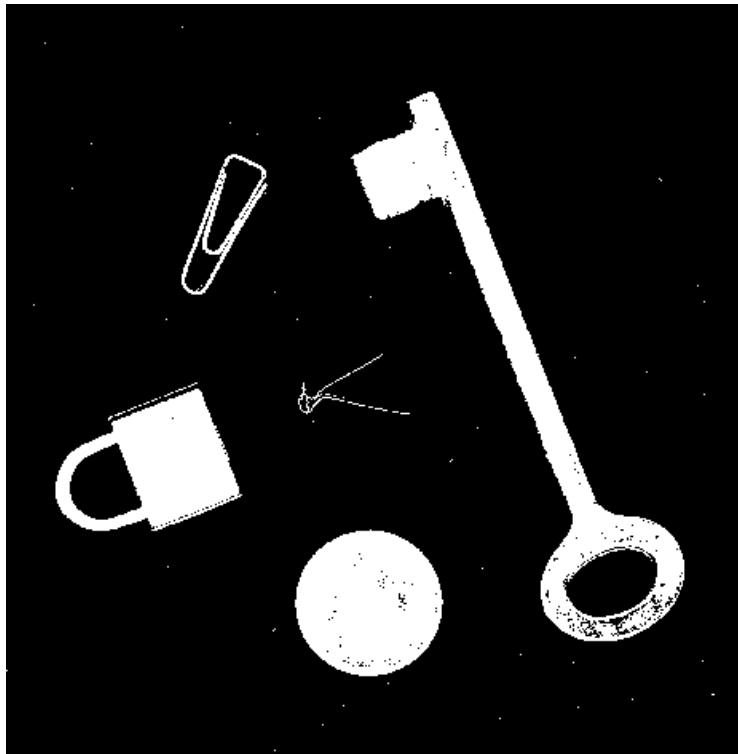
- ▶ Einführung
- ▶ Mengenoperationen
- ▶ Morphologische Basisoperationen Dilatation und Erosion
- ▶ Komplexe morphologische Operationen
 - Öffnen und Schließen
 - Hit or Miss
 - Skelettierung
 - Konturextraktion
 - Segmentierung mit dem Grassfire Algorithmus
- ▶ Morphologie für Grauwertbilder
- ▶ Zusammenfassung

Komplexe Morphologie: Öffnen

- ▶ Erosion gefolgt von einer Dilatation
- ▶ Gleiches strukturierendes Element X
- ▶ Anzahl der Erosionsschritte gleich Anzahl der Dilatationsschritte
- ▶ Kleine Objekte verschwinden vollständig
- ▶ Konvexe Objektränder werden abgetragen

$$A = \left(E \langle - \rangle X \right) \langle + \rangle X$$

Komplexe Morphologie: Öffnen



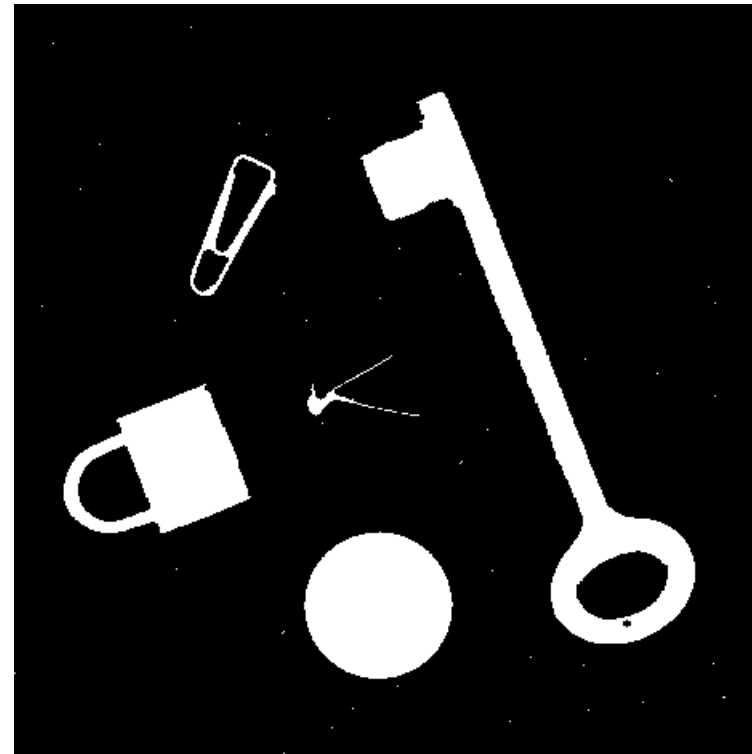
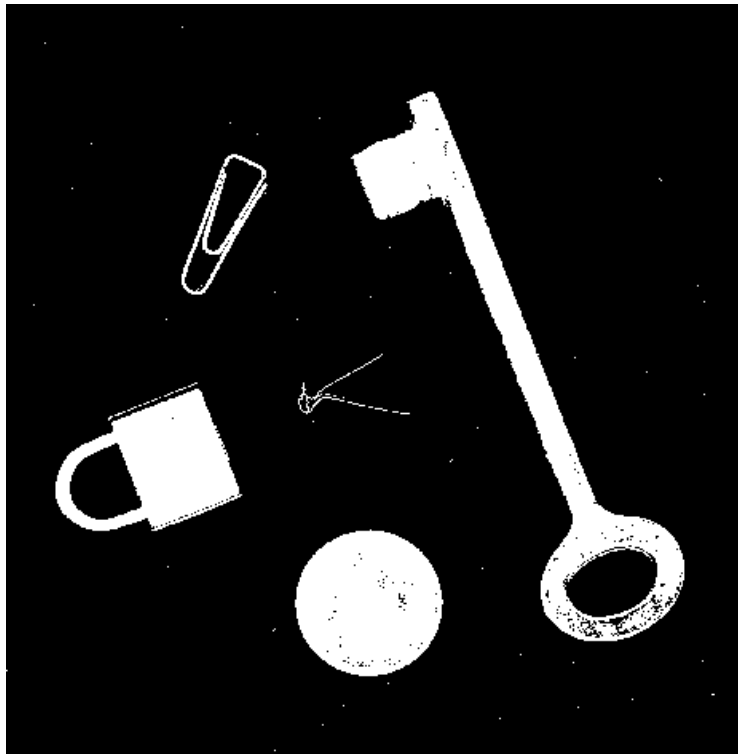
- Öffnen mit strukturierendem Element Ellipse der Größe 5x5

Komplexe Morphologie: Schließen

- ▶ Dilatation gefolgt von einer Erosion
- ▶ Gleiches strukturierendes Element X
- ▶ Anzahl der Erosionsschritte gleich Anzahl der Dilatationsschritte
- ▶ Eng aneinanderliegende Objekte werden verbunden
- ▶ Löcher in Objekten werden geschlossen

$$A = \left(E \langle + \rangle X \right) \langle - \rangle X$$

Komplexe Morphologie: Schließen



- ▶ Schließen mit strukturierendem Element Ellipse der Größe 5x5

Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Finden von Objekten mit einer bestimmten Form
- ▶ Kombination zweier morphologischer Operatoren
- ▶ Schritt 1: Erosion des Bildes E mit einem strukturierenden Element M_1 , das die gesuchte Form darstellt
 - Entfernt alle zu kleinen Objekte
 - Liefert ein Zwischenbild Z_1 , in dem alle Positionen (Bezugspunkte) markiert sind, an der sich die gesuchte Form befinden kann (ggf. innerhalb einer größeren Region)

$$Z_1 = E \langle - \rangle M_1$$

Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Erosion des Hintergrundes (= invertiertes Originalbild) mit einem strukturierenden Element M_2 , das den Hintergrund im Umriss der gesuchten Form darstellt (Negativmaske der gesuchten Form)
 - Entfernt alle zu großen Objekte
 - Liefert ein Zwischenbild Z_2 , in dem alle Positionen (Bezugspunkte) markiert sind, an der sich die gesuchte Form oder in ihr enthaltene Formen befinden können

$$Z_2 = \overline{E} \langle - \rangle M_2$$

- ▶ Schnittmenge der beiden Zwischenbilder Z_1 und Z_2 liefert die Bezugspunkte, an denen sich die gesuchte Form im Bild befindet

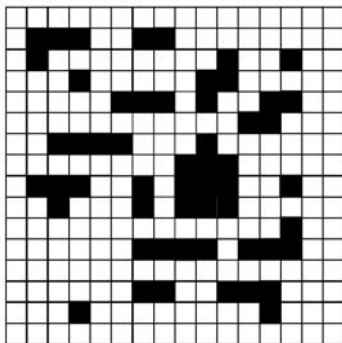
Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Beispiel: Finden von 3 Pixel langen waagerechten Linien ([Jähne 2005], S. 489)

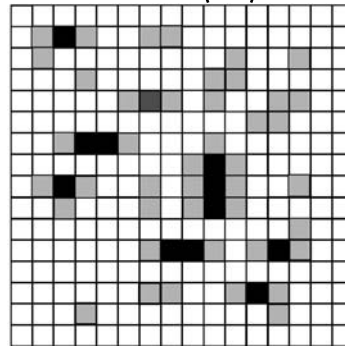
$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

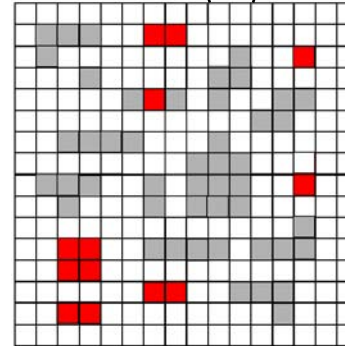
E



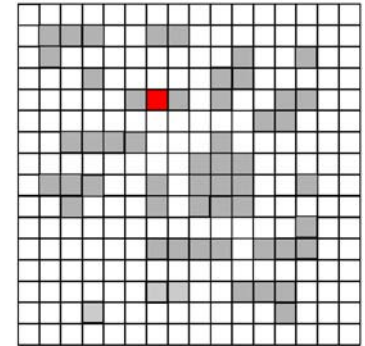
$$Z_1 = E \langle - \rangle M_1$$



$$Z_2 = \overline{E} \langle - \rangle M_2$$



$$A = Z_1 \cap Z_2$$



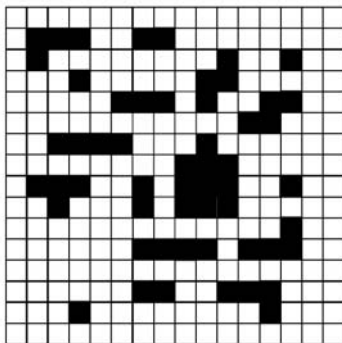
Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Beispiel: Finden von 3 bis 5 Pixel langen waagerechten Linien ([Jähne 2005], S. 489)

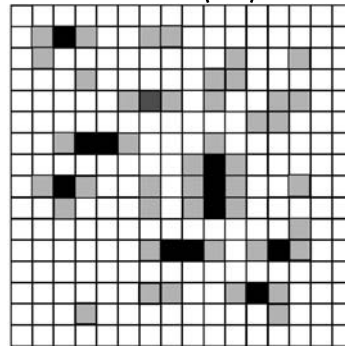
$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

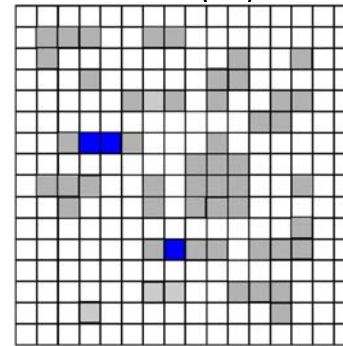
E



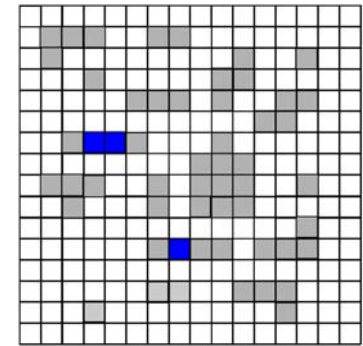
$$Z_1 = E \langle - \rangle M_1$$



$$Z_2 = \overline{E} \langle - \rangle M_2$$



$$A = Z_1 \cap Z_2$$



Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Sei A das Ergebnis von Hit or Miss des Bildes E mit M_1 und M_2 , dann gilt

$$A = (E \langle - \rangle M_1) \cap (\bar{E} \langle - \rangle M_2) = (E \langle - \rangle M_1) \cap \overline{(E \langle + \rangle M_2)}$$

mit $M_1 \cap M_2 = \emptyset$

- ▶ Da M_1 und M_2 disjunkt sein müssen, können die Masken zusammengefasst werden

Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Da M_1 und M_2 disjunkt sein müssen, können die Masken zusammengefasst werden. Beispiel:

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 1 & 1 & 1 & b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, b = \text{beliebig}$$

Komplexe Morphologie: Hit or Miss

► Eigenschaften von Hit or Miss Masken

- Zur Erkennung von Formen muss die Miss-Maske die Hit-Maske umschließen (Rand um die Form mit Nullen belegt)
- Masken ohne „beliebig“-Pixel finden genau die durch die Einsen dargestellte Form
- Masken mit „beliebig“-Pixeln finden minimal die durch die Einsen dargestellte Form und maximal Formen, die sich aus der Erweiterung um die „beliebig“-Pixel ergeben
- Erkennung von Formen am Rand von Objekten, wenn die Hit-Maske den Rand berührt

Komplexe Morphologie: Hit or Miss

- ▶ Anwendungsbeispiel Hit or Miss: Erkennung von Formen am Rand von Objekten

$$M_C = \begin{bmatrix} b & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- ▶ M_C erkennt rechte untere Ecken von Objekten
- ▶ Anwendung z.B. zur Skelettierung von Objekten

Komplexe Morphologie: Skelettierung

- ▶ Erosion von Rand bis zur Mitte des Objektes (Skelettlinie)
- ▶ Erosion mit Bedingungen an Skelettlinie
 - 1 Pixel breit
 - Muss in der Mitte des Objektes verlaufen
 - Skelettlinie darf sich nicht weiter verändern
- ▶ Realisierung mit Hit-or-Miss Masken, die diejenigen Punkte am Rande eines Objekts abtragen, die *keine* Skelettpunkte sind

Komplexe Morphologie: Skelettierung

► Acht strukturierende Elemente [Abmayr 94]

- Suchen spezieller Bitmuster typisch für Skelettlinien, b= beliebig (0 oder 1)
- Reihenfolge z.B. $SE_0, SE_4, SE_2, SE_6, SE_1, SE_5, SE_3, SE_7$
- Iterieren, bis keine Punkte mehr entfernt werden können

$$SE_0 = \begin{bmatrix} 1 & b & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ b & b & 0 \end{bmatrix}$$

$$SE_1 = \begin{bmatrix} b & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ b & 1 & b \end{bmatrix}$$

$$SE_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ b & 1 & b \\ 1 & 1 & b \end{bmatrix}$$

$$SE_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & b \\ 0 & 1 & 1 \\ b & 1 & b \end{bmatrix}$$

$$SE_4 = \begin{bmatrix} 0 & b & b \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & b & 1 \end{bmatrix}$$

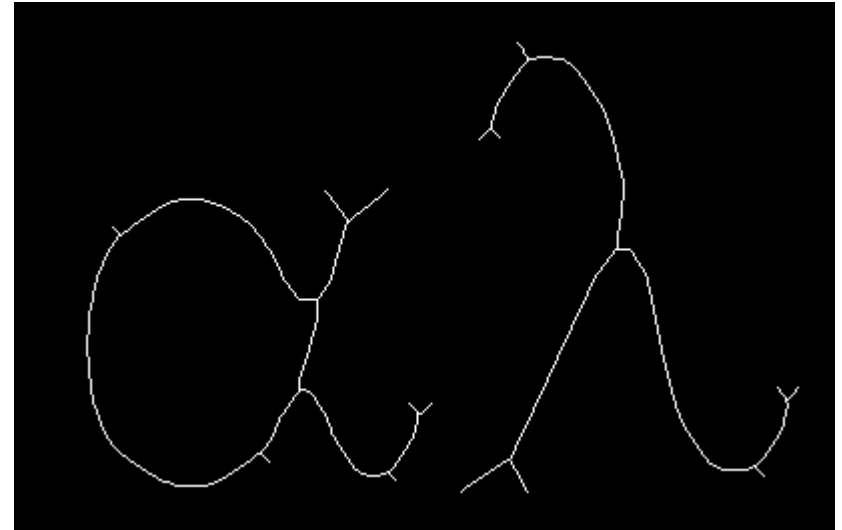
$$SE_5 = \begin{bmatrix} b & 1 & b \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & b \end{bmatrix}$$

$$SE_6 = \begin{bmatrix} b & 1 & 1 \\ b & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$SE_7 = \begin{bmatrix} b & 1 & b \\ 1 & 1 & 0 \\ b & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Komplexe Morphologie: Skelettierung

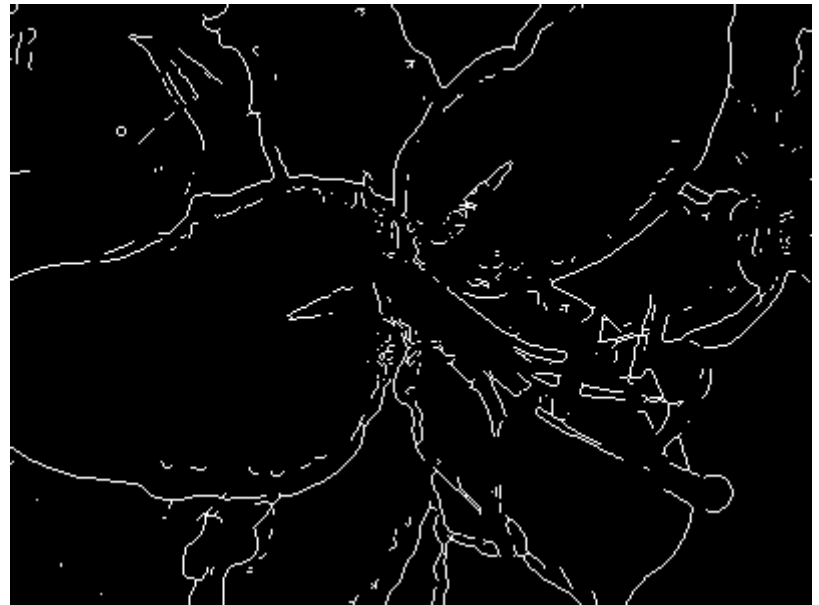
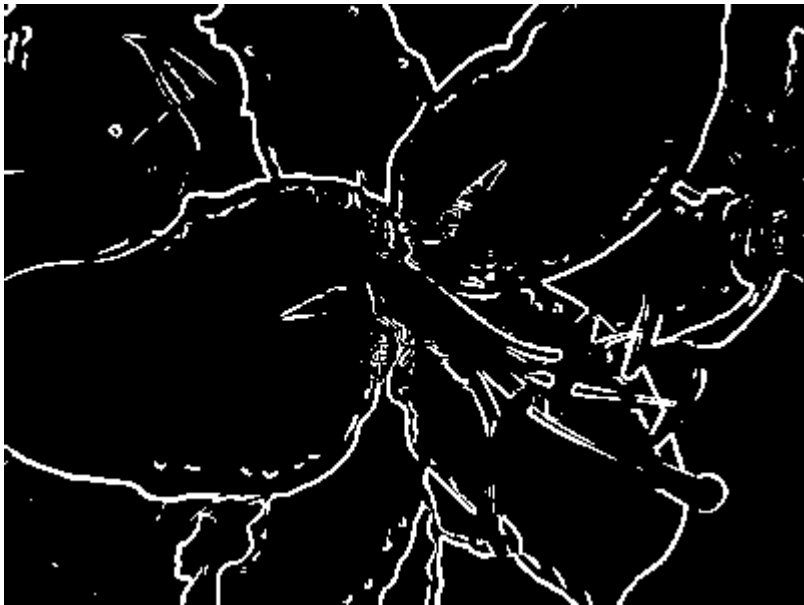
- ▶ Beispiel: Verdünnung von Zeichen



- ▶ Ggf. Nachbearbeitung: Abtragen von Linienendpunkten

Komplexe Morphologie: Skelettierung

- ▶ Beispiel: Aufbereitung eines binarisierten Kantenbildes
 - Operatorantwort Kirsch mit Schwellwert 128 binarisiert (links) und skelettiert (rechts)



Binärbildverarbeitung

► Literatur

- [Abmayr 94] Wolfgang Abmayr. *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. B.G. Teubner, 1994.
- [Jähne 05] Bernd Jähne: *Digitale Bildverarbeitung*. Springer-Verlag, 2005.
- [Serra 82] J. Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press, 1982.
- [Soille 04] P. Soille. *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*. Springer, 2004.