



# 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, ...

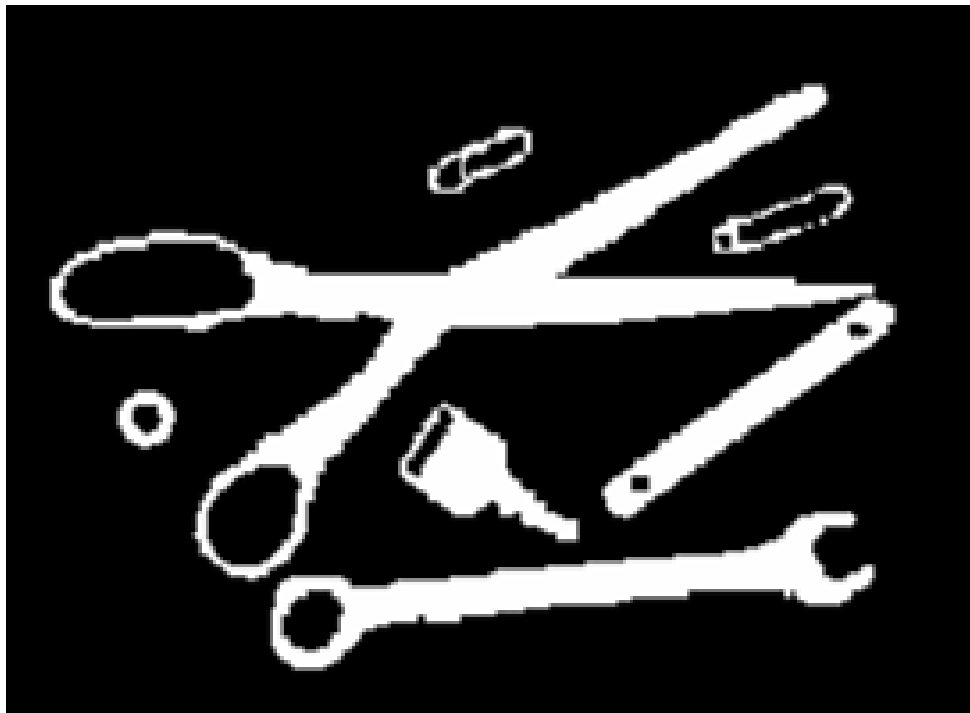
**Mustererkennungs-  
Paradigma**

# Merkmalsextraktion

- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
  - Was ist Farbe?
  - Farbmodelle
  - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

# Formmerkmale - Einführung

- ▶ Welche Kriterien beschreiben die Form einer Bildregion?



# Formmerkmale - Einführung

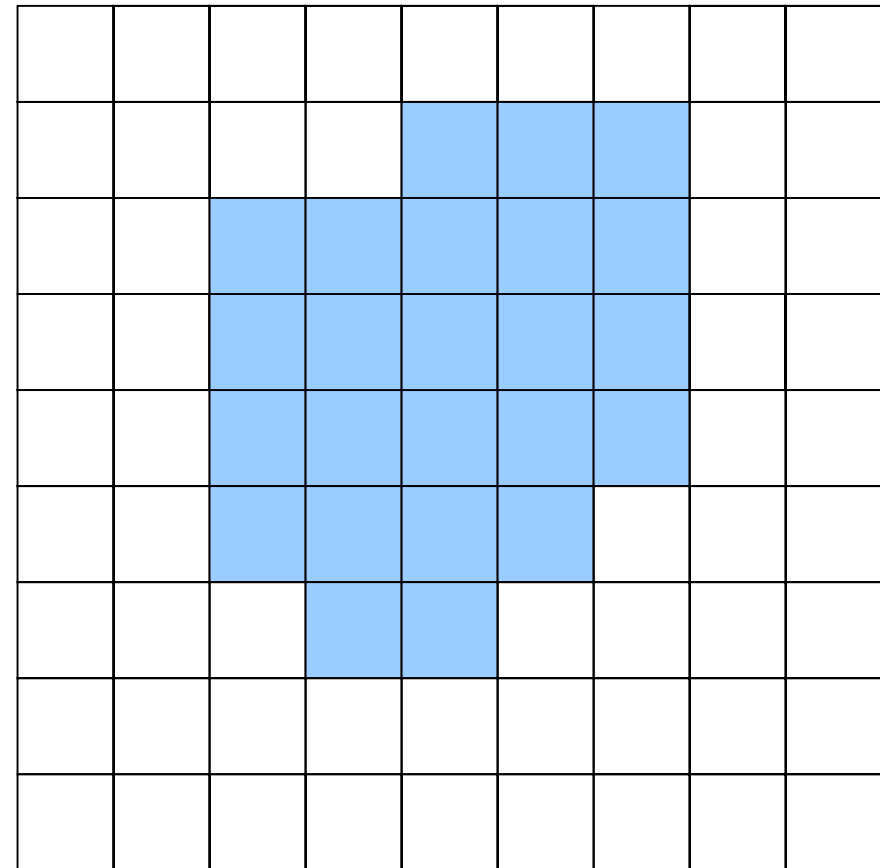
- ▶ Eigenschaften der Form einer Bildregion bzw. ihres Umrisses
- ▶ Oft binäre Kodierung der Bildregion
- ▶ Farbe, Grauwerte und Texturen innerhalb der Region werden nicht berücksichtigt
- ▶ Topologische Merkmale beschreiben den räumlichen Zusammenhang einer Region
  - Invariant gegenüber „Gummiblattverzerrung“
- ▶ Geometrische Merkmale und Momente beschreiben die Form
  - Einordnung von Merkmalen hinsichtlich Invarianz gegenüber affinen Transformationen Translation, Rotation und Skalierung
- ▶ Beschreibung der Kontur und ihrer Eigenschaften

# Formmerkmale

- ▶ Einfache geometrische Merkmale
- ▶ Momente
  - Diskrete geometrische Momente
  - Diskrete zentrale Momente
  - Normierte zentrale Momente
  - Hu Momente
- ▶ Topologische Merkmale
- ▶ Beschreibung von Konturen

# Geometrische Merkmale

- ▶ Größe bzw. Flächeninhalt
  - Fläche  $F$ : Anzahl der Bildpunkte der Region
  - $F = 24$
  - Berechnung durch Zählen der Punkte
  - Diskretes geometrisches Moment 0. Ordnung berechnet ebenfalls die Fläche

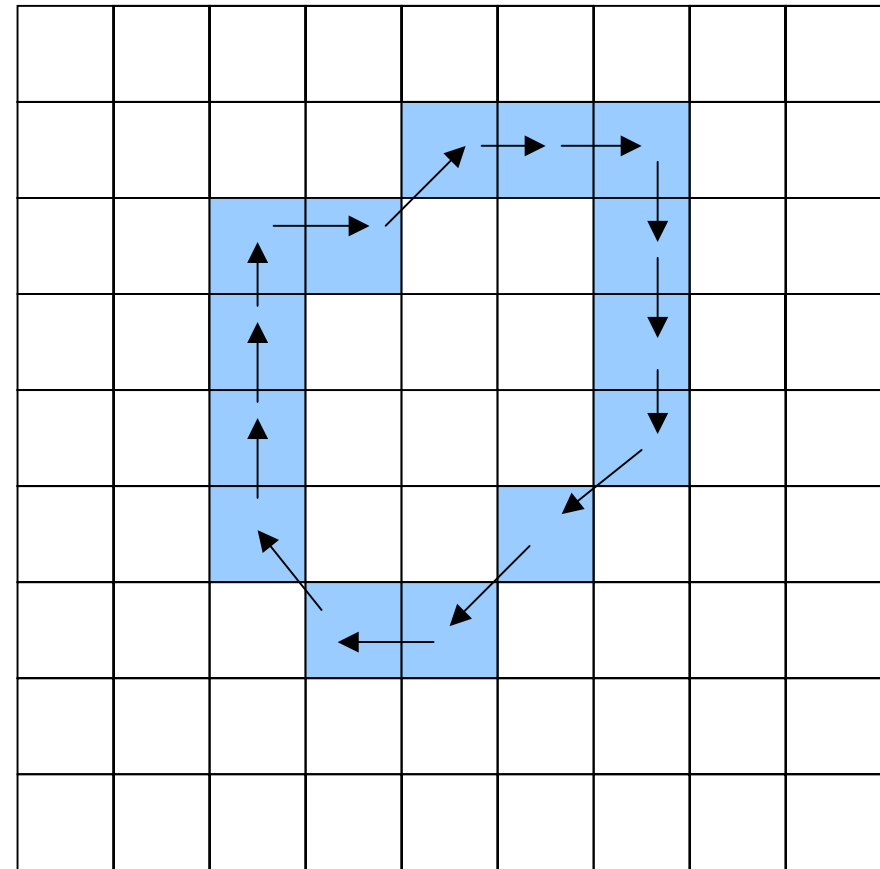


# Geometrische Merkmale

► Umfang  $U$ : Länge Kontur

- Einfachstes Verfahren:  
Punkte auf der Kontur der Region zählen
  - $U = 14$
- Genaueres Verfahren:  
Ablaufen der Kontur und  
Bewertung direkte  
benachbarter Punkte mit 1  
und diagonal benachbarter  
Punkte mit  $\sqrt{2}$

$$U = 10 + 4 \cdot \sqrt{2} \approx 15,66$$



# Geometrische Merkmale

## ► Kreisförmigkeit

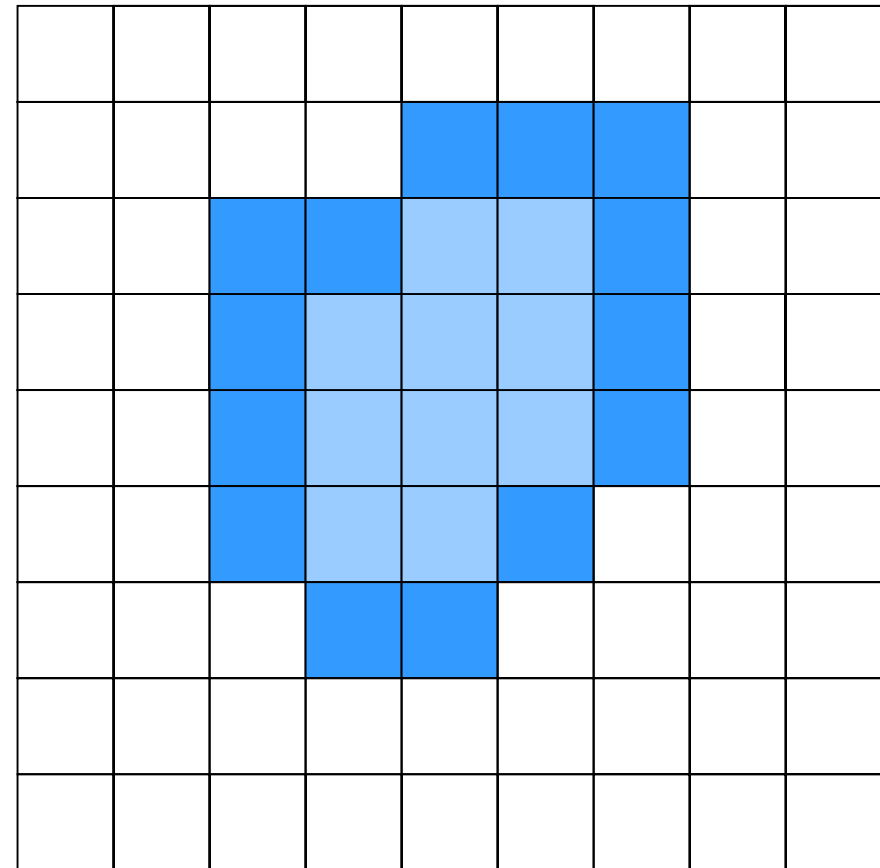
- Verhältnis von Flächeninhalt zu Umfang

$$C = \frac{4\pi F}{U^2}$$

- Kreisförmigkeit ist 1 für Kreise:

$$C = \frac{4\pi(\pi r^2)}{(2\pi r)^2} = 1$$

- Je zerklüfteter die Form, desto größer der Umfang und desto kleiner die Kreisförmigkeit



# Geometrische Merkmale

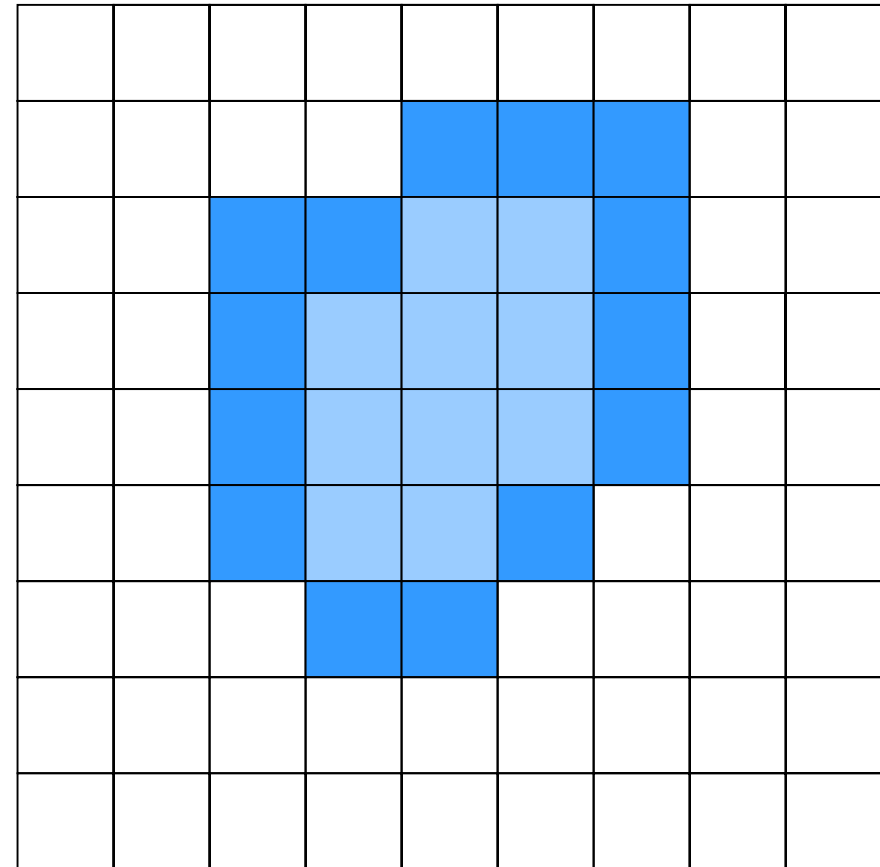
- ▶ Kreisförmigkeit : Verhältnis von Flächeninhalt zu Umfang

$$C = \frac{4\pi F}{U^2}$$

- ▶ Beispiel:

$$C = \frac{4\pi \cdot 24}{15,66^2} \approx 1,23$$

- ▶ Ungenaueres Ergebnis, da sehr kleine Region (Diskretisierung!)
- ▶ Größer als 1 da innere Kontur verwendet wurde



# Geometrische Merkmale

- ▶ Seitenverhältnis (Aspect ratio)
- ▶ Messung anhand eines die Region umschreibenden Rechtecks
  - Kleinstes umschreibendes achsenparalleles Rechteck (Blau)
    - Translations- und skalierungsinvariant

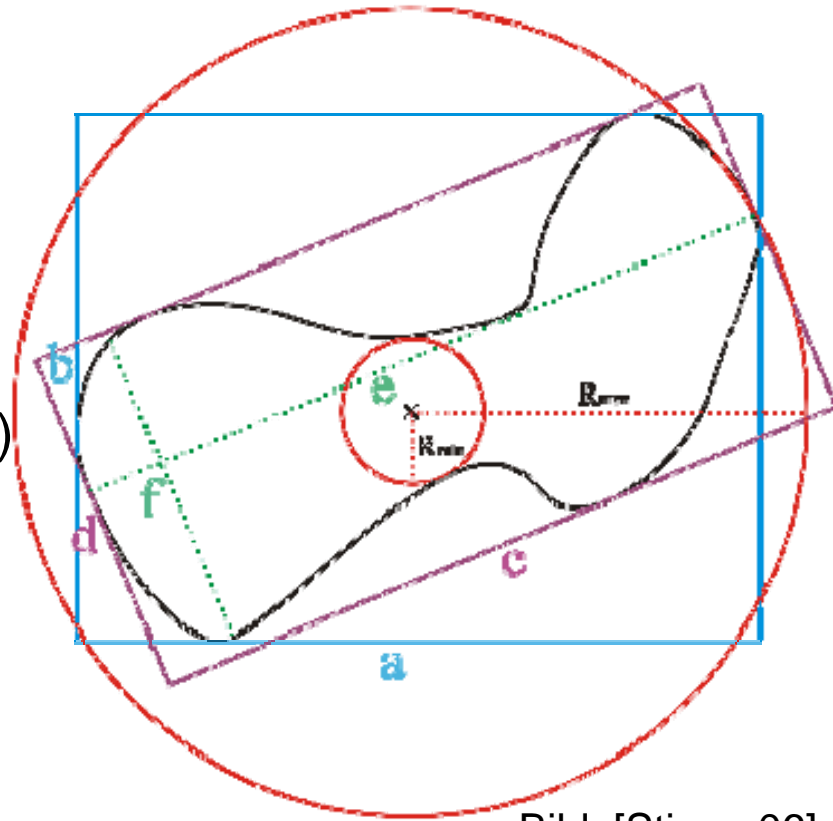


Bild: [Stiene 06]

# Geometrische Merkmale

- ▶ Seitenverhältnis (Aspect ratio)
- ▶ Messung anhand eines die Region umschreibenden Rechtecks
  - Umschreibendes Rechteck minimaler Fläche (Violett)
    - Achsenparallelität aufgehoben
    - Translations-, skalierung- und rotationsinvariant
    - Seitenverhältnis der längeren zur kürzeren Seite

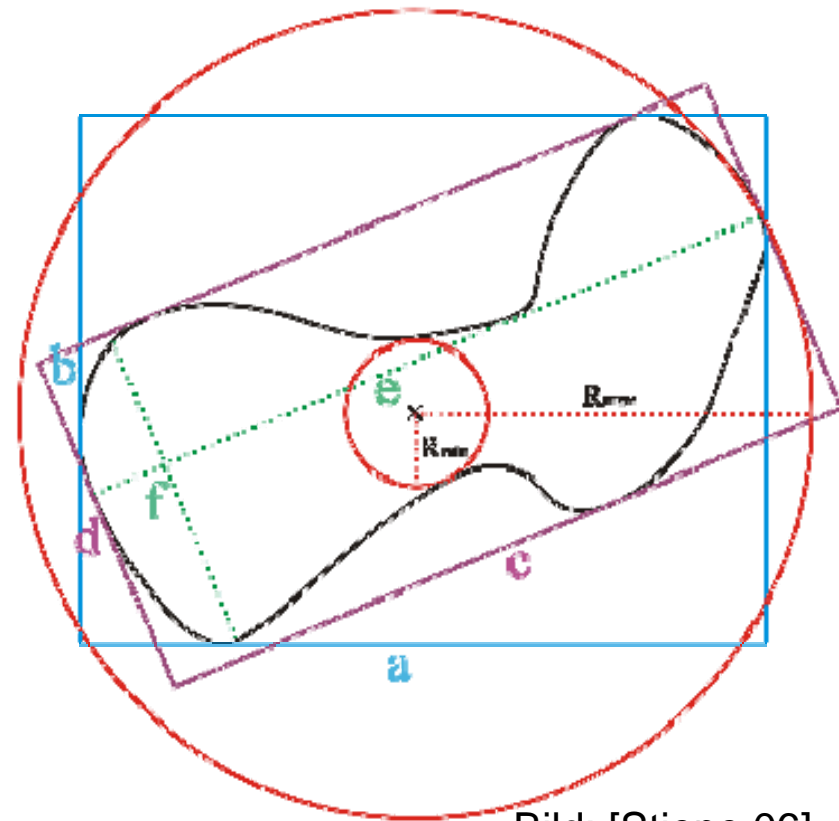


Bild: [Stiene 06]

# Geometrische Merkmale

## ► Füllungsgrad (fill factor)

- Größe der Fläche  $F$  einer Region in Relation zu einer Vergleichsfläche
- Vergleichsfläche ist häufig das umschreibende Rechteck minimaler Fläche
  - Translations-, skalierung- und rotationsinvariant

$$\text{Fillfactor} = \frac{F}{H \cdot B}$$

- $H, B$  Höhe und Breite des umschreibende Rechteck minimaler Fläche

# Geometrische Merkmale

## ► Geometrischer Schwerpunkt

- Berechnung der Koordinaten des geometrischen Schwerpunktes

$$\bar{x} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F y_i$$

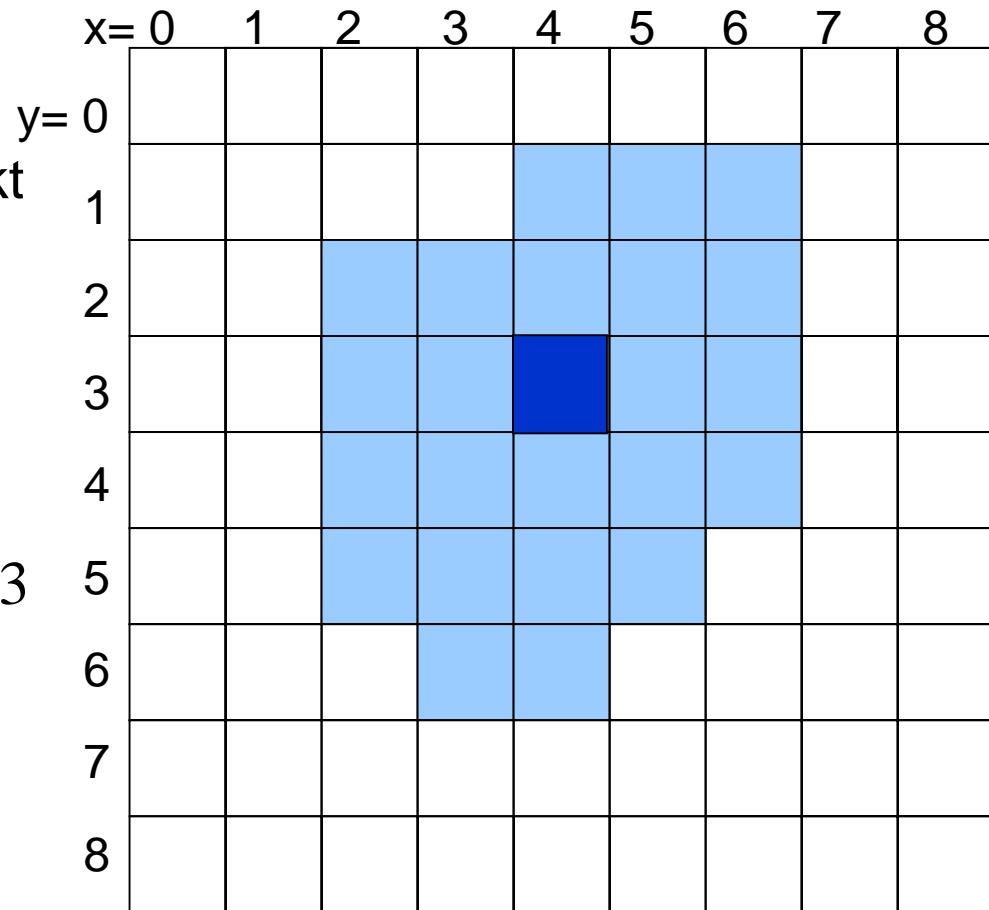
- Aufsummieren aller  $x$ - bzw.  $y$ -Koordinaten der Punkte, die zu der Region gehören und normieren mit der Größe der Fläche  $F$  der Region

# Geometrische Merkmale

- ▶ Beispiel: Berechnung geometrischer Schwerpunkt
- ▶  $F = 24$

$$\bar{x} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F x_i = \frac{1}{24} \cdot 96 = 4$$

$$\bar{y} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^F y_i = \frac{1}{24} \cdot 80 = 3,3 \approx 3$$

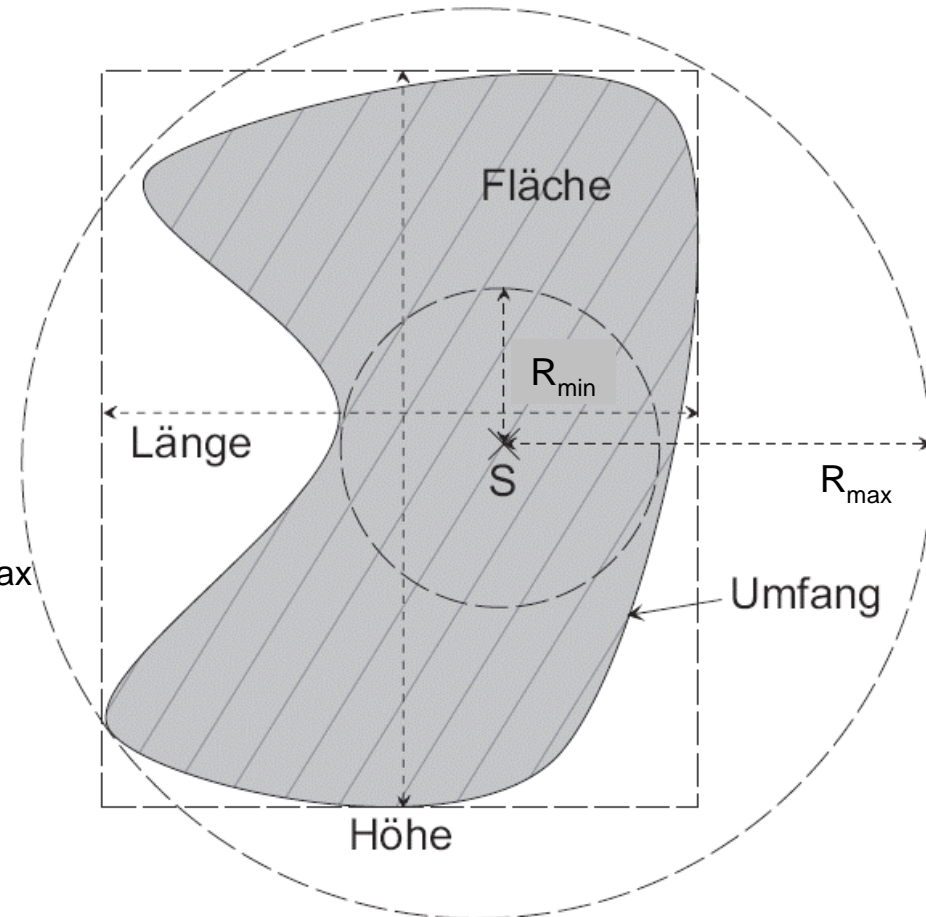


# Geometrische Merkmale

## ► Radienverhältnis

- Relation zwischen den Radien des maximalen innerhalb der Region liegenden Kreises  $R_{\min}$  und des minimalen die Region umschließenden Kreises  $R_{\max}$  um den geometrischen Schwerpunkt  $S$

$$V_{RAD} = \frac{R_{\max}}{R_{\min}}$$



nach [Lattner 00], S. 57

# Formmerkmale

- ▶ Einfache geometrische Merkmale
- ▶ Momente
  - Diskrete geometrische Momente
  - Diskrete zentrale Momente
  - Normierte zentrale Momente
  - Hu Momente
- ▶ Topologische Merkmale
- ▶ Beschreibung von Konturen

# Diskrete geometrische Momente

- ▶ Berechnung diskreter geometrischer Momente aus der zweidimensionalen Bildfunktion
- ▶ Berechnung für einzelne Regionen
  - Pixel, die nicht zu der zu der Region gehören, haben den Wert 0
  - Pixel der Region haben den Wert 1 bzw. 255 (Binärbild)
- ▶ Moment besitzt die Ordnung  $j=(p+q)$ , zu jeder Ordnung  $j$  gibt es  $j+1$  Momente

$$m_{p,q} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) x^p y^q$$

- ▶  $f(x,y)$  Bildfunktion, Bild mit  $M$  Spalten und  $N$  Zeilen

# Diskrete geometrische Momente

## ► Moment 0. Ordnung

- Summe der Intensitäten einer Region
- Bildoberfläche (*surface*)
- Entspricht für Binärbilder dem Flächeninhalt

$$m_{0,0} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) x^0 y^0 = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)$$

# Diskrete geometrische Momente

- ▶ Moment 1. Ordnung: Zeilen- und Spaltenmoment

$$m_{1,0} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot x \qquad m_{0,1} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot y$$

- ▶ Berechnung des Schwerpunktes der Region

$$\bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}} \qquad \bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$$

- ▶ Momente 1. und höherer Ordnung sind positionsabhängig

# Diskrete geometrische Momente

## ► Beispiel: Region „2“ an verschiedenen Positionen



$$\begin{aligned} m_{0,0} &= 1601,0 \\ m_{0,1} &= 113734,0 \\ m_{1,0} &= 108992,5 \\ m_{1,1} &= 7692730,5 \\ m_{2,0} &= 7642008,5 \\ m_{0,2} &= 8885054,0 \\ m_{1,2} &= 596806656,0 \\ m_{2,1} &= 536211552,0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} m_{0,0} &= 1601,0 \\ m_{0,1} &= 373096,0 \\ m_{1,0} &= 373157,5 \\ m_{1,1} &= 86910352,0 \\ m_{2,0} &= 87196760,0 \\ m_{0,2} &= 87751512,0 \\ m_{1,2} &= 20428650496,0 \\ m_{2,1} &= 20297095168,0 \end{aligned}$$

- Nur 0.Moment (Fläche) ist gleich, alle übrigen sind positionsabhängig

# Diskrete zentrale Momente

## ► Zentrale Momente

- Berechnung in Abhängigkeit vom Schwerpunkt

$$\mu_{p,q} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q$$

$$\text{mit } \bar{x} = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}} \quad \bar{y} = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}}$$

- $f(x, y)$  Bildfunktion, Bild mit  $M$  Spalten und  $N$  Zeilen
- Translationsinvariant (unabhängig von der Position der Region im Bild)

# Diskrete zentrale Momente

## ► Zentrale Momente

- Zentrales Moment 0. Ordnung berechnet den Flächeninhalt der binären Region
- Die beiden ersten zentralen Momente sind stets Null
- Zentrale Momente zweiter Ordnung messen die Abweichung der Bildpunkte vom Schwerpunkt und beschreiben die Varianz der Region
- Zentrale Momente dritter Ordnung messen die Asymmetrie der Bildpunkten bezüglich des Schwerpunktes und beschreiben die Schiefe einer Region

# Diskrete zentrale Momente

## ► Exzentrizität

- Verhältnis von Hauptachse (e) zu Nebenachse (f)
  - Hauptachse: Längste Sehne durch die Region
  - Nebenachse senkrecht dazu
- Berechnung aufgrund der zentralen Momente

$$exz = \frac{(\mu_{2,0} - \mu_{0,2})^2 + 4\mu_{1,1}^2}{(\mu_{2,0} + \mu_{0,2})^2}$$

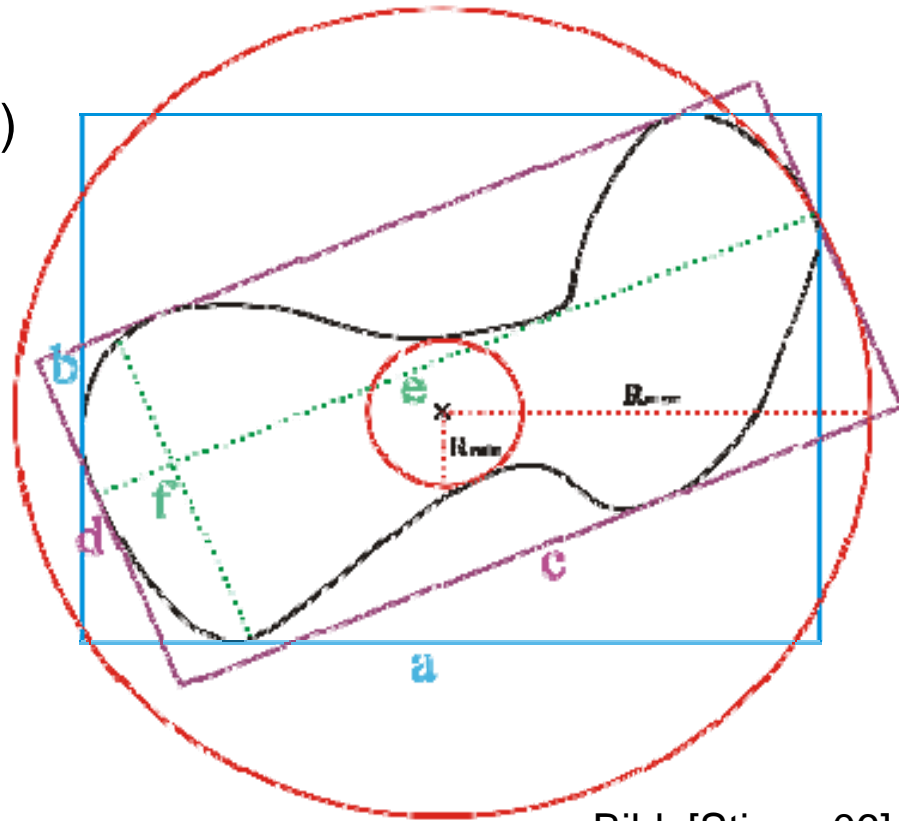


Bild: [Stiene 06]

# Diskrete zentrale Momente

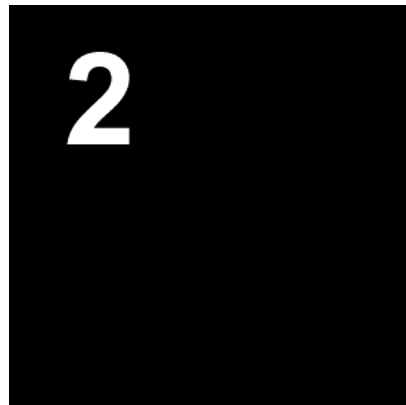
## ► Orientierung

- Hauptrichtung der Region
- Winkel zwischen Hauptachse und x-Achse
- Berechnung aufgrund der zentralen Momente
- Translations- und skalierungsinvariant

$$\Theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}}$$

# Diskrete zentrale Momente

- ▶ Beispiel: Region „2“ an verschiedenen Positionen



$$\begin{aligned}\mu_{0,0} &= 1601,0 \\ \mu_{0,2} &= 805465,0 \\ \mu_{1,1} &= -50025,8 \\ \mu_{1,2} &= -960379,6 \\ \mu_{2,0} &= 222042,7 \\ \mu_{2,1} &= 139539,3\end{aligned}$$

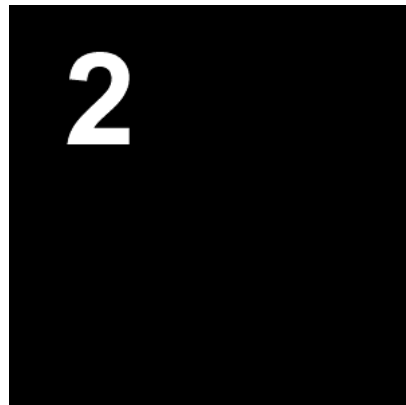


$$\begin{aligned}\mu_{0,0} &= 1601,0 \\ \mu_{0,2} &= 805465,0 \\ \mu_{1,1} &= -50025,8 \\ \mu_{1,2} &= -960379,6 \\ \mu_{2,0} &= 222042,7 \\ \mu_{2,1} &= 139539,3\end{aligned}$$

- Gleiche Ergebnisse für verschiedene Positionen
- Normiert hinsichtlich der Position (translationsinvariant)

# Diskrete zentrale Momente

- ▶ Beispiel: Region „2“ in verschiedenen Größen



$$\begin{aligned}\mu_{0,0} &= 1601,0 \\ \mu_{0,2} &= 805465,0 \\ \mu_{1,1} &= -50025,8 \\ \mu_{1,2} &= -960379,6 \\ \mu_{2,0} &= 222042,7 \\ \mu_{2,1} &= 139539,3\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\mu_{0,0} &= 5824,5 \\ \mu_{0,2} &= 10273220,0 \\ \mu_{1,1} &= -604849,1 \\ \mu_{1,2} &= -22835030,0 \\ \mu_{2,0} &= 2843674,5 \\ \mu_{2,1} &= 3699643,3\end{aligned}$$

- ▶ Translations- aber nicht skalierungsinvariant!

# Normierte zentrale Momente

- ▶ Normierung der zentralen Momente 2. und höherer Ordnung

$$\eta_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{[m_{0,0}]^\alpha}, \quad \alpha = \frac{p+q}{2} + 1, \quad p+q \geq 2$$

- ▶ Normierungsfaktor abhängig vom Flächeninhalt
- ▶ Normierte zentrale Momente sind invariant gegenüber
  - Translation (Position im Bild)
  - Skalierung (Größenänderung)

# Normierte zentrale Momente

- ▶ Beispiel: Region „2“ in verschiedenen Größen



$$\begin{aligned}\eta_{0,2} &= 0,314 \\ \eta_{1,1} &= -0,020 \\ \eta_{1,2} &= -0,009 \\ \eta_{2,0} &= 0,087 \\ \eta_{2,1} &= 0,001\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\eta_{0,2} &= 0,303 \\ \eta_{1,1} &= -0,018 \\ \eta_{1,2} &= -0,009 \\ \eta_{2,0} &= 0,084 \\ \eta_{2,1} &= 0,001\end{aligned}$$

- Translations- und skalierungsinvariant
- Summe der absoluten Differenzen= 0.017 (diskretisierungsbedingt)

# Normierte zentrale Momente

- ▶ Beispiel: Region „2“ in verschiedenen Orientierungen



$$\begin{aligned}\eta_{0,2} &= 0,303 \\ \eta_{1,1} &= -0,018 \\ \eta_{1,2} &= -0,009 \\ \eta_{2,0} &= 0,084 \\ \eta_{2,1} &= 0,001\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\eta_{0,2} &= 0,233 \\ \eta_{1,1} &= -0,104 \\ \eta_{1,2} &= 0,003 \\ \eta_{2,0} &= 0,155 \\ \eta_{2,1} &= 0,002\end{aligned}$$

- Translations- und skalierungsinvariant, aber nicht rotationsinvariant
- Summe der absoluten Differenzen= 0,24

# Normierte zentrale Momente

## ► Hu Momente [Hu 62]

- Zusätzliche Eigenschaft Rotationsinvarianz durch geeignete Kombination der normierten zentralen Momente
- Hu definiert sieben Momente  $h_1$  bis  $h_7$  auf Basis der normierten zentralen Momente
- Hu Momente sind invariant gegenüber
  - Translation (Position im Bild)
  - Skalierung (Größenänderung)
  - Rotation (Drehung)

# Hu Momente

## ► Hu Momente [Hu 62] (1)

$$h_1 = \eta_{2,0} + \eta_{0,2}$$

$$h_2 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})^2 + 4\eta_{1,1}^2$$

$$h_3 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})^2 + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})^2$$

$$h_4 = (\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 + (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2$$

$$h_5 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - 3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + \\ (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})[3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2]$$

# Hu Momente

► Hu Momente [Hu 62] (2)

$$h_6 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 + 4\eta_{1,1}(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})]$$

$$h_7 = (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - 3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + (3\eta_{1,2} - \eta_{3,0})(\eta_{0,3} + \eta_{2,1})[3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{0,3} + \eta_{2,1})^2]$$

► Werte für  $h_i$  sind sehr klein, daher wird häufig gearbeitet mit

$$h_i' = -\log(|h_i|)$$

# Hu Momente

- ▶ Beispiel: Originalbild und verschobenes, skaliertes und gedrehtes Bild liefert nahezu gleiche Hu Momente



$h'_1 = 0,914$   
 $h'_2 = 2,931$   
 $h'_3 = 7,07$   
 $h'_4 = 8,407$   
 $h'_5 = 17,856$   
 $h'_6 = 10,659$   
 $h'_7 = 16,163$



$h'_1 = 0,948$   
 $h'_2 = 3,002$   
 $h'_3 = 7,073$   
 $h'_4 = 8,271$   
 $h'_5 = 18,308$   
 $h'_6 = 11,329$   
 $h'_7 = 15,948$

- Summe der absoluten Differenzen= 1,58 (diskretisierungsbedingt)

# Hu Momente

- ▶ Beispiel: Originalbild und gespiegeltes Bild liefern gleiche Hu Momente



$$\begin{aligned} h'_1 &= 0,95 \\ h'_2 &= 3,011 \\ h'_3 &= 7,075 \\ h'_4 &= 8,277 \\ h'_5 &= 18,162 \\ h'_6 &= 11,387 \\ h'_7 &= 15,959 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} h'_1 &= 0,95 \\ h'_2 &= 3,011 \\ h'_3 &= 7,075 \\ h'_4 &= 8,277 \\ h'_5 &= 18,162 \\ h'_6 &= 11,387 \\ h'_7 &= 15,959 \end{aligned}$$

# Hu Momente

## ► Beispiel: Zwei verschiedene Regionen

- Abweichende Hu Momente



$$\begin{aligned} h'_1 &= 0,95 \\ h'_2 &= 3,011 \\ h'_3 &= 7,075 \\ h'_4 &= 8,277 \\ h'_5 &= 18,162 \\ h'_6 &= 11,387 \\ h'_7 &= 15,959 \end{aligned}$$



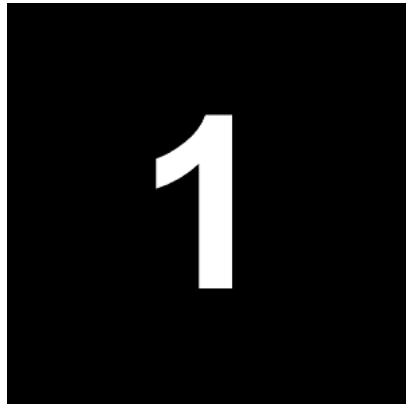
$$\begin{aligned} h'_1 &= 0,932 \\ h'_2 &= 2,999 \\ h'_3 &= 5,765 \\ h'_4 &= 6,993 \\ h'_5 &= 13,384 \\ h'_6 &= 8,504 \\ h'_7 &= 15,257 \end{aligned}$$

- Summe der absoluten Differenzen= 10,99

# Hu Momente

## ► Beispiel: Zwei verschiedene Regionen

- Abweichende Hu Momente



$$\begin{aligned} h'_1 &= 0,977 \\ h'_2 &= 2,465 \\ h'_3 &= 4,46 \\ h'_4 &= 5,719 \\ h'_5 &= 10,853 \\ h'_6 &= 6,952 \\ h'_7 &= 12,041 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} h'_1 &= 1,642 \\ h'_2 &= 4,673 \\ h'_3 &= 9,637 \\ h'_4 &= 11,775 \\ h'_5 &= 22,482 \\ h'_6 &= 14,112 \\ h'_7 &= 26,777 \end{aligned}$$

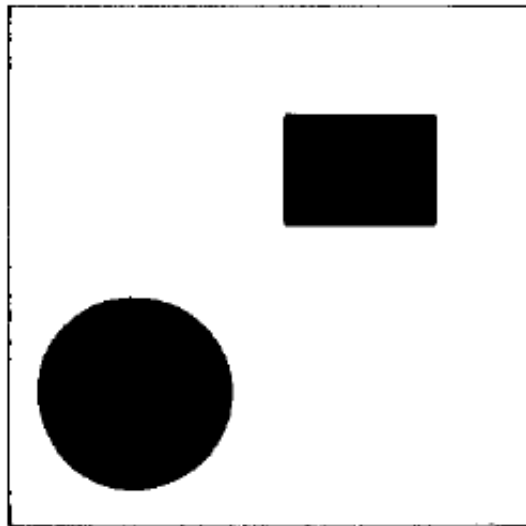
- Summe der absoluten Differenzen= 47,63

# Formmerkmale

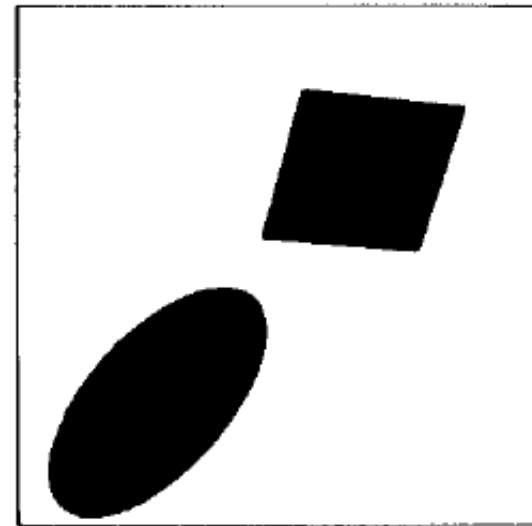
- ▶ Einfache geometrische Merkmale
- ▶ Momente
  - Diskrete geometrische Momente
  - Diskrete zentrale Momente
  - Normierte zentrale Momente
  - Hu Momente
- ▶ Topologische Merkmale
- ▶ Beschreibung von Konturen

# Topologische Merkmale

- ▶ Topologische Merkmale beschreiben den Zusammenhang von Regionen
- ▶ Invariant gegenüber der sogenannten Gummiblattverzerrung



Original



Nach Gummiblattverzerrung

[Pratt 01], S. 590

# Topologische Merkmale

- ▶ Topologische Merkmale
  - Konnektivität ( $C$ ): Anzahl der zusammenhängenden Regionen (wenn eine Region in mehrere Teilregionen zerfällt, z.B. durch teilweise Verdeckung)
  - Anzahl der Löcher ( $H$ )
  - Euler Zahl:  $E = C - H$



[Pratt 01], S. 590

# Topologische Merkmale

- ▶ Konvexe Hülle
- ▶ Konvexitätsdefekte
  - Löcher (Lakes)
  - Buchten (Bays)

[Pratt 01], S. 590



Region „R“



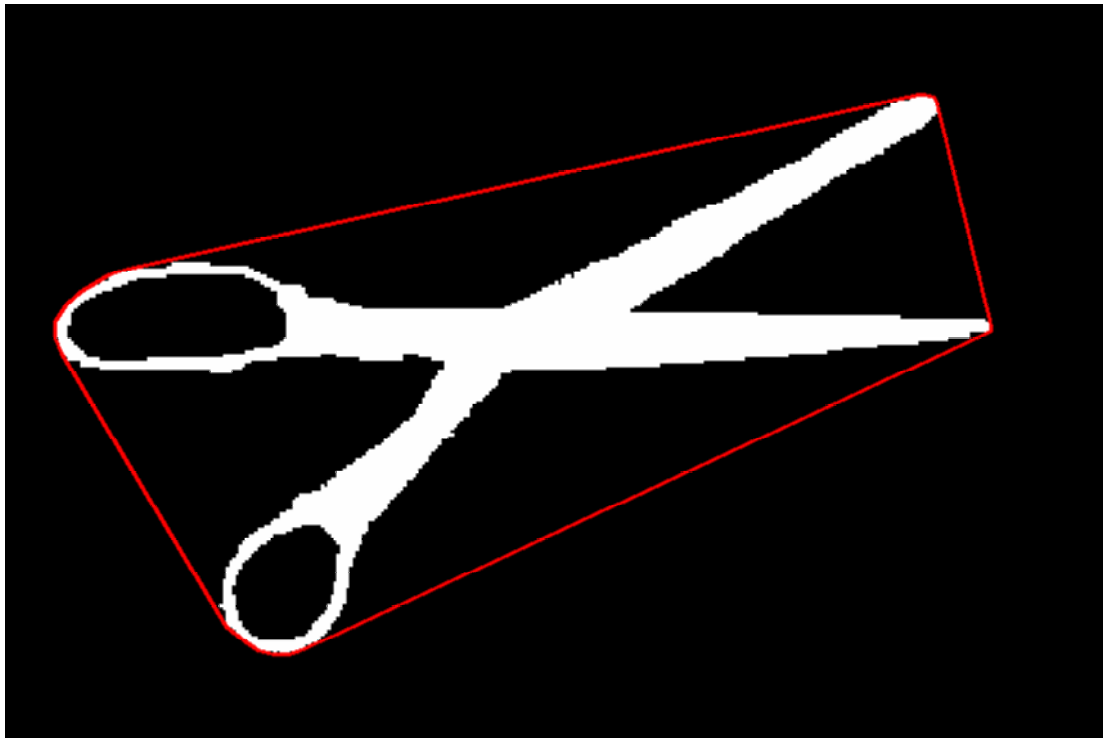
Konvexe Hülle



Löcher und Buchten

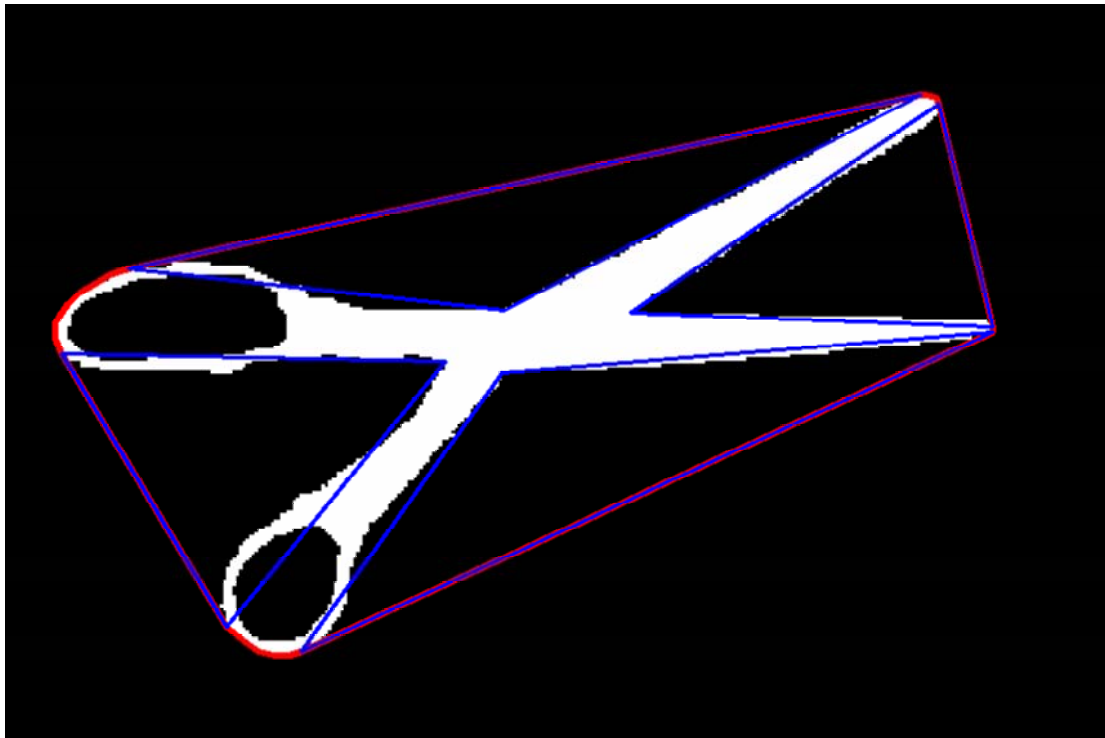
# Topologische Merkmale

- ▶ Konvexe Hülle – Beispiel (cvConvexHull2)



# Topologische Merkmale

- ▶ Beispiel Konvexitätsdefekte – Buchten (cvConvexityDefects)



# Formmerkmale

- ▶ Einfache geometrische Merkmale
- ▶ Momente
  - Diskrete geometrische Momente
  - Diskrete zentrale Momente
  - Normierte zentrale Momente
  - Hu Momente
- ▶ Topologische Merkmale
- ▶ Beschreibung von Konturen

# Konturrepräsentation

## ► Kettencode (Chain Code) [Freeman 74]

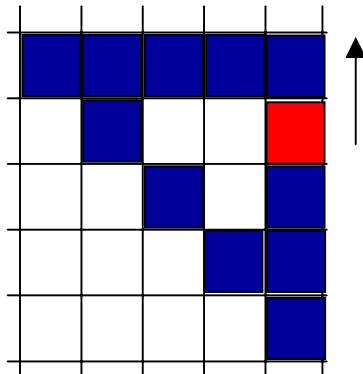
- Beschreibung des Konturverlaufs anhand einer Liste der Nachbarschaftsbeziehungen von aufeinander folgenden Pixeln
- Kodierung erfolgt typischerweise für eine Achternachbarschaft
- Positive Richtung der x-Achse wird mit 0 kodiert
- Kodierung der anderen Richtungen gegen den Uhrzeigersinn
- Falls eine Positionsinformation benötigt wird, können zusätzlich die Koordinaten des Startpunktes gespeichert werden
- Der Kettencode ist translationsinvariant

Kettencode für  
8er Nachbarschaft

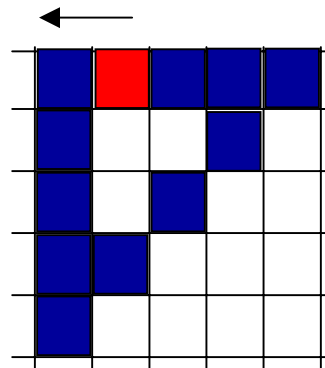
	3	2	1	
	4	x/y	0	
	5	6	7	

# Konturrepräsentation

- ▶ Beispiel: Beschreibung einer Kontur mit dem Kettencode



Dreieck=244447777222



Kettencode für  
8er Nachbarschaft

	3	2	1	
	4	x/y	0	
	5	6	7	

Drehung:  $90^\circ ::= +2$

Dreieck=466661111444

# Konturrepräsentation

## ► Polygonale Approximation

- Annäherung einer Kontur durch einen Polygonzug (Verkettung von Strecken)
- Variante 1: Merging-Verfahren
  - Beginne mit zwei aufeinander folgenden Punkten der Kontur und repräsentiere sie durch eine Strecke
  - Verschiebe den zweiten Punkt so lange entlang der Kontur, wie der Unterschied zwischen der Strecke und der Kontur unterhalb einer Schwelle bleibt
  - Beginne ein neues Stück bei Überschreitung der Schwelle

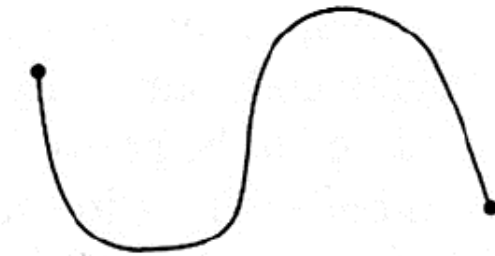
# Konturrepräsentation

## ► Polygonale Approximation

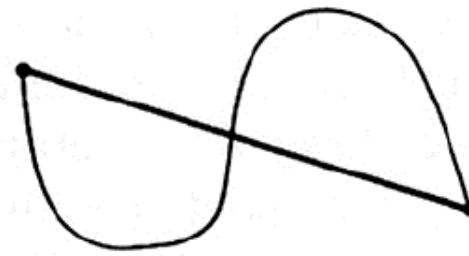
- Annäherung einer Kontur durch einen Polygonzug (Verkettung von Strecken)
- Variante 2: Splitting-Verfahren [Douglas-Peucker 73]
  - Verbinde Start- und Endpunkt der Kontur zu einer Strecke
  - Bestimme den Punkt auf der Kontur mit dem maximalen Abstand zu der Strecke
  - Falls der Abstand größer als eine erlaubte Toleranz ist, benutze den Punkt als Brechpunkt
  - Teile die Strecke in zwei Strecken vom Startpunkt zum Brechpunkt und vom Brechpunkt zum Endpunkt
  - Fahre rekursiv fort mit den beiden neuen Strecken, bis der Abstand aller Konturpunkte zu den approximierenden Strecken innerhalb der Toleranz liegt

# Konturrepräsentation

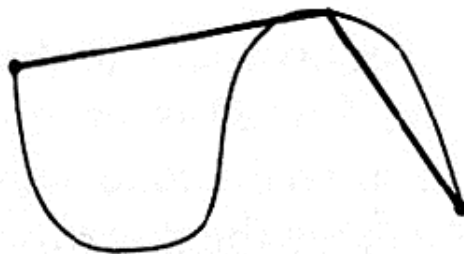
## ► Polygonale Approximation durch Splitting-Verfahren



(a)



(b)



(c)

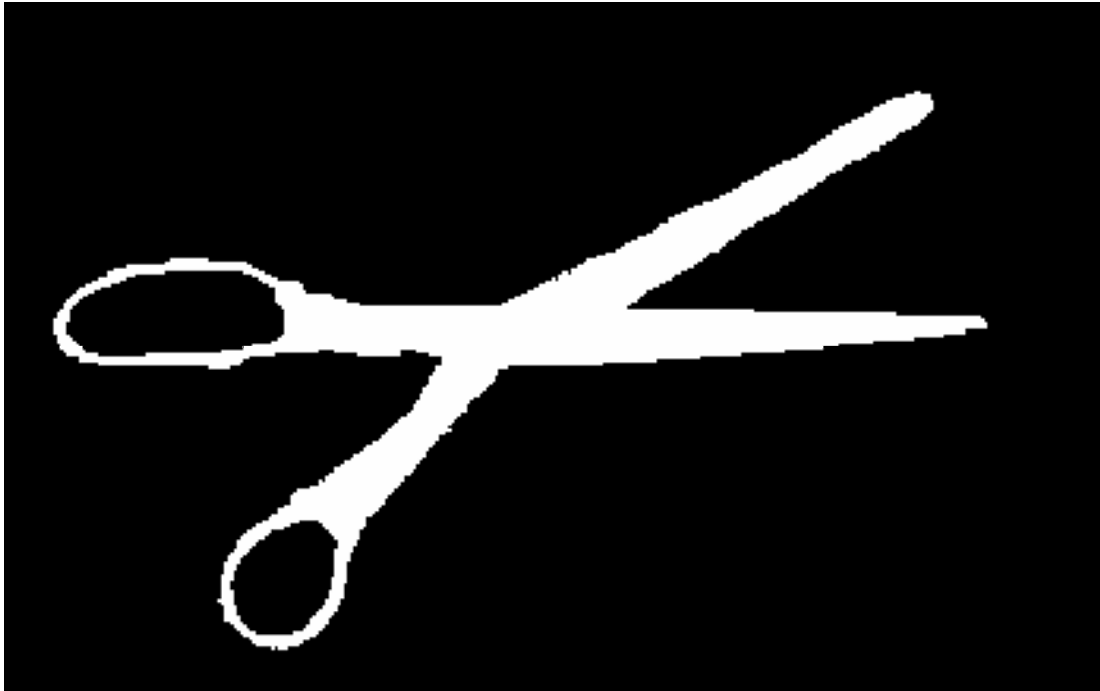


(d)

[Ballard 82], S. 235

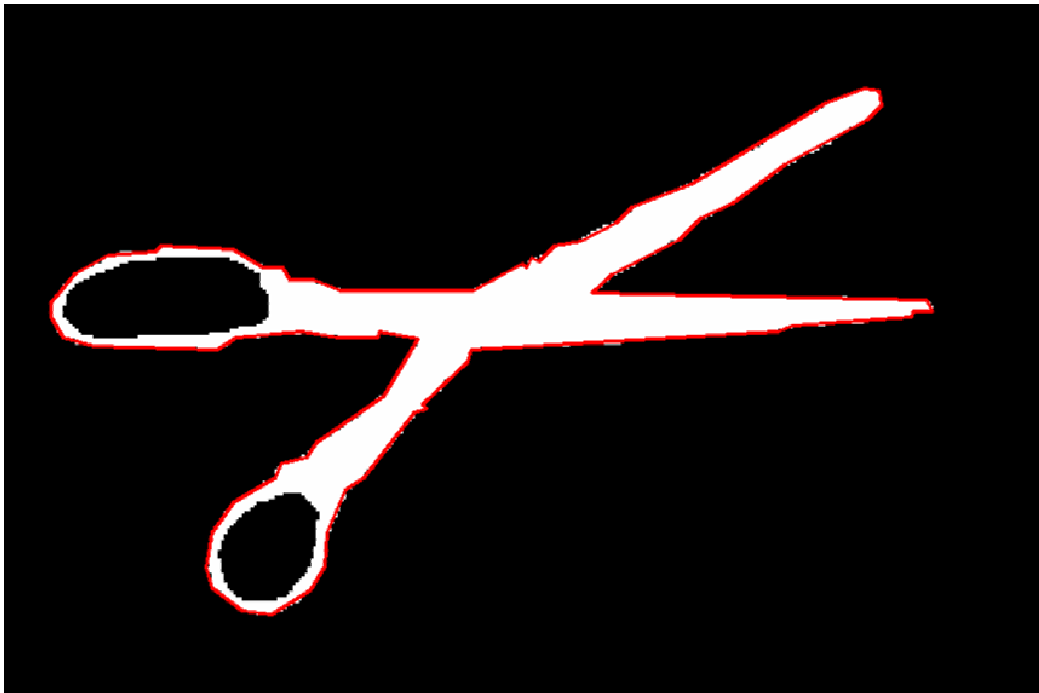
# Konturrepräsentation

- ▶ Polygonale Approximation durch Splitting-Verfahren - Beispiel



# Konturrepräsentation

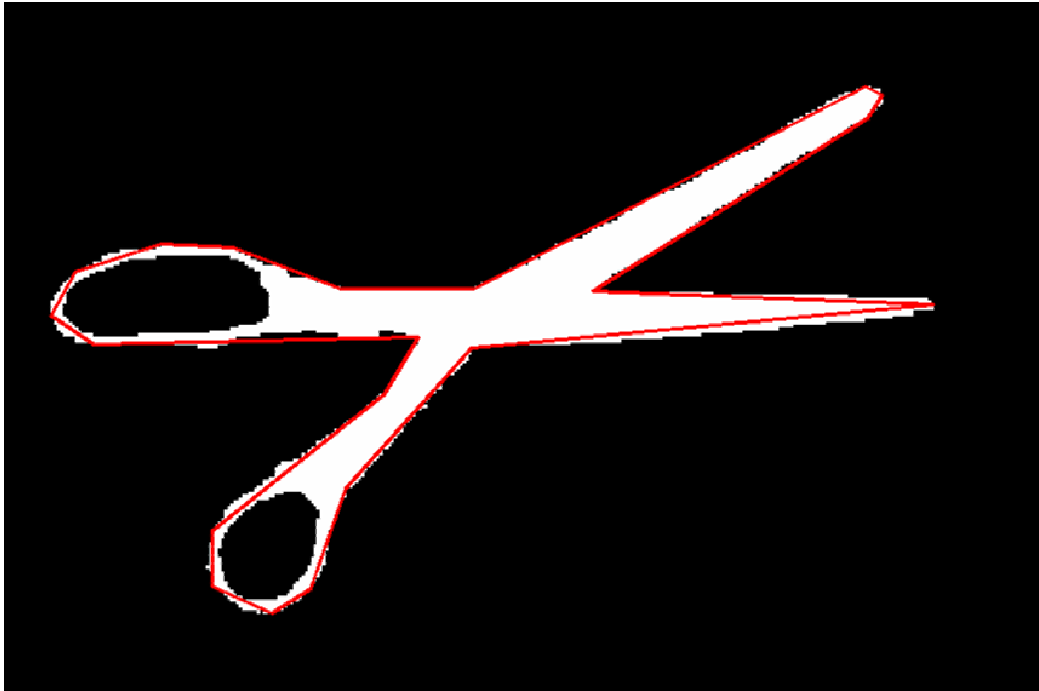
- ▶ Polygonale Approximation durch Splitting-Verfahren - Beispiel



cvApproxPoly,  
basierend auf  
Douglas-Peucker  
Algorithmus  
mit Genauigkeit 3,5

# Konturrepräsentation

- ▶ Polygonale Approximation durch Splitting-Verfahren - Beispiel



cvApproxPoly,  
basierend auf  
Douglas-Peucker  
Algorithmus  
mit Genauigkeit 10

# Formmerkmale

## ► Literatur

- [Douglas-Peucker 73] D.H. Douglas and T.K. Peucker. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *Canadian Cartographer*, 10(2):112-122, 1973.
- [Freeman 74] H. Freeman. Computer processing of line-drawing images. *Computing Surveys*, 6(1):57-97, March 1974.
- [Hu 62] M.K. Hu. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. *IRE Transactions on Information Theory*, IT-8:179 - 187, 1962.
- [Gonzalez&Woods 02] R.C. Gonzalez and R.E. Woods. *Digital Image Processing*. 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
- [Pratt 01] W. K. Pratt. *Digital Image Processing: PIKS Inside*. Wiley, 2001
- [Ballard 82] D.H. Ballard and C.M. Brown. *Computer Vision*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

# Formmerkmale

## ► Bildquellen

- [Stiene 06] S. Stiene. *Konturbasierte Objekterkennung aus Tiefenbildern eines 3D-Laserscanners*. Masterarbeit. Universität Osnabrück, Fachbereich Informatik, 2006. <http://www.informatik.uni-osnabrueck.de/sstiene/masterthesis/masterthesis.html>
- [Lattner 00] A. Lattner. *Kombination von Bildanalyseverfahren mit Methoden des Maschinellen Lernens zur Klassifikation von Objekten in Landschaftsbildern*. Diplomarbeit. Universität Bremen, Fachbereich Informatik, 2000.

# Merkmalsextraktion

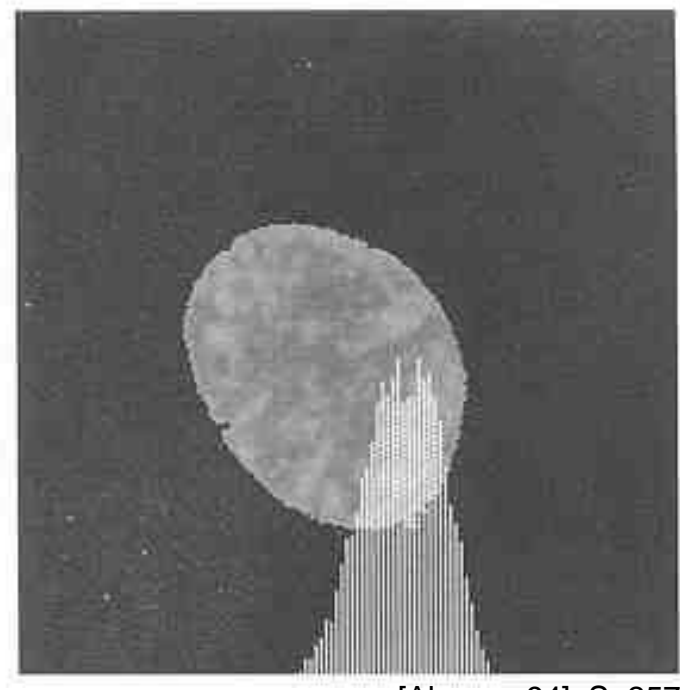
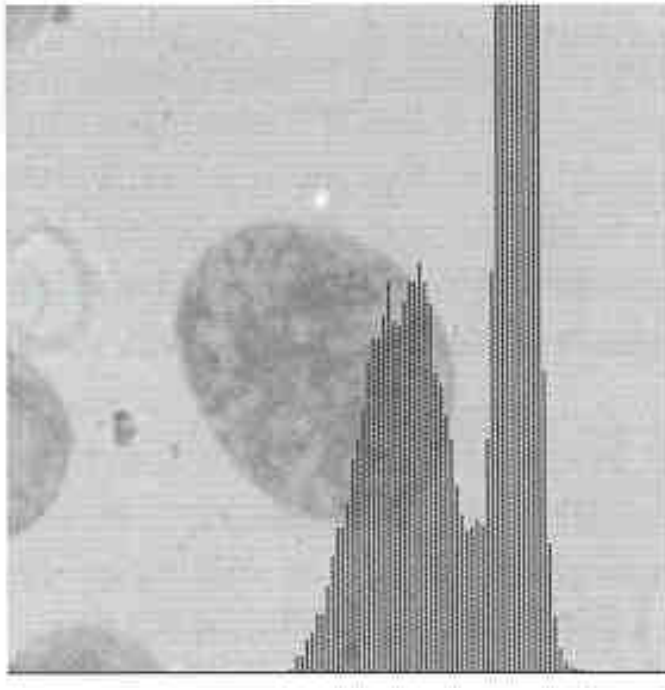
- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
  - Was ist Farbe?
  - Farbmodelle
  - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

# Densitometrische Merkmale

- ▶ Berechnung densitometrischer (=photometrischer) Merkmale aus der Grauwertverteilung (Histogramm)
  - Berechnung für das ganze Bild oder
  - Berechnung für eine einzelne Region
    - Nach Segmentierung Berechnung von Histogrammen für jede Region
    - Bildpunkte außerhalb der jeweiligen Regionen ignorieren durch Ausmaskieren
    - Ausmaskieren: Setzen eines speziellen Wertes, der sonst nicht in der Verteilung vorkommt

# Densitometrische Merkmale

- ▶ Histogramme für Gesamtbild und maskiertes Bild



[Abmayr 94], S. 257

# Densitometrische Merkmale

- ▶ Mittelwert  $M_1 = \mu = \sum_{x=0}^{G-1} x \cdot h(x)$  (zentrales Moment 1. Ordnung)

- ▶ Streuung (Varianz)  $M_2 = \sigma^2 = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^2 \cdot h(x)$

- ▶ Zentrale Momente  $n$ -ter Ordnung:

$$M_n = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^n \cdot h(x), n > 1$$

- ▶  $h(x)$  relatives Histogramm,  $G$ = Anzahl Grauwerte

# Densitometrische Merkmale

## ► Schiefe

$$M_3 = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^3 \cdot h(x)$$

- Grad der Asymmetrie einer Verteilung
- Abweichung von der Gaußschen Normalverteilung nach rechts (negative Schiefe) und nach links (positive Schiefe)

## ► $h(x)$ relatives Histogramm, $G$ = Anzahl Grauwerte

# Densitometrische Merkmale

## ► Exzess

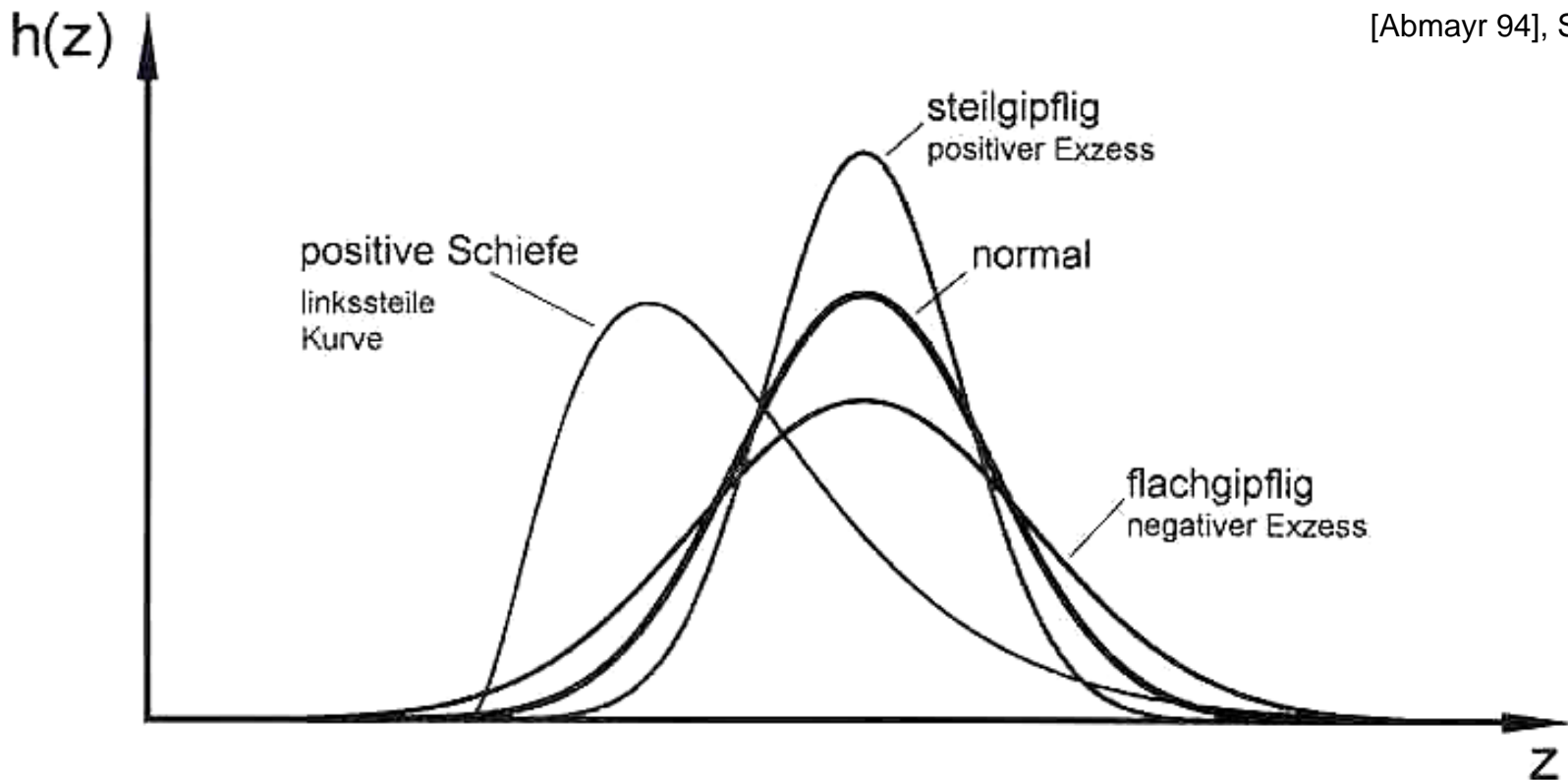
$$M_4 = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^4 \cdot h(x)$$

- Abweichung von der Gaußschen Normalverteilung nach oben (positiver Exzess) und nach unten (negativer Exzess)

## ► $h(x)$ relatives Histogramm, $G$ = Anzahl Grauwerte

# Densitometrische Merkmale

[Abmayr 94], S. 258



## ► Histogrammformen

# Densitometrische Merkmale

## ► Literatur

- [Abmayr 94] Abmayr, Wolfgang. *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. Teubner, 1994.