

## Gliederung

- Bildabtastung und Digitalisierung
- Technische Komponenten
- Grauwertstatistik
- Punktoperatoren
- Lokale Operatoren
- Globale Operatoren
- **Merkmalsextraktion**
- Klassifikation
- Codierung

## Gliederung zum Themenkomplex Merkmalsextraktion

1. Vorbemerkungen
2. Beispiele für Merkmale
3. Beispiele zur Mustererkennung
4. Geometrische und topologische Merkmale (Auswahl)
5. Ausgewählte Formparameter

# 1. Vorbemerkungen

## ***Vorbemerkungen:***

### **Bisher: Bildbearbeitung**

### **Ziel: Bildverbesserung**

Punktoperatoren: --> Helligkeitsoptimierung, Kontrastoptimierung, etc.

Lokale Operatoren: --> Bildglätten, Bildschärfen, Rauschunterdrückung, Konturerkennung, etc.

Globale Operatoren: --> optimale Bildfilterung (HP, TP, BP, BS, FP, FS)  
Bildcodierung, Bildkompression etc.

**Grundprinzip: Bild (Original) → Bild´**  
(verändertes Bild, ikonisches Bild)

## Vorbemerkungen

### Jetzt: Bildanalyse, Bilderkennung als Teildisziplin der Bildverarbeitung

#### Ziel:

#### 1. Bilderkennung

(Objekte und Szenen im Bild erkennen)

#### 2. Datenreduktion mit dem Ziel der Zuordnung der Objekte zu Klassen (Produkte, Gegenstände, Eigenschaften, Bestandteile von Substanzen ...)

- Merkmale generieren
- Merkmale bestimmten Klassen zuordnen
- Klassifizieren von Objekten und Szenen
- Aussage: Zuordnung zu einer Klasse ist möglich / nicht möglich  
z.B.: gut / schlecht; gesund / krank; 1 / 0 → Extremfall: 1 Bit

**Grundprinzip: Bild (Original) → Datensatz mit wenigen aussagekräftigen und relevanten Daten**

## *Vorbemerkungen*

### **Motivation und Zweck zur bzw. der Bestimmung von Merkmalen in der Bildverarbeitung:**

- **Notwendigkeit der präzisen Beschreibung teilweise komplizierter Objekte in der Bildverarbeitung (Ermöglichung prägnanter quantitativer und qualitativer Aussagen über Bildinhalte)**
- **Einordnung von Objekten in Kategorien bzw. Klassen**
- **Die Erkennung von Klassen von Formen ist bei vielen Anwendungen von hoher Wichtigkeit (die Klassifikation beruht auf Merkmalen der untersuchten Formen)**
- **Merkmale = komprimierte Form von Bildinformation**

## Vorbemerkungen

### Grundsätzlicher Ablauf von Bildverarbeitungsprozessen zur Objekt- bzw. Mustererkennung:

1. ggf. Bildvorverarbeitung (Punkt-, lokale, globale Operatoren usw.)
2. Festlegen von einem oder mehreren interessierenden Bildbereichen (AOI / ROI – Region / Area of interest) entweder interaktiv oder automatisch (AOI – automatical optical inspection) mittels Referenzmerkmalen (Kanten, Marken usw.)
3. Suche nach Objekten innerhalb dieser Bildbereiche (z.B. durch Konturerkennung mittels Hochpass- bzw. Kantenfiltern)
- 4. Ermittlung von bestimmten (einem oder mehreren) Merkmalen dieser Objekte (geometrisch/quantitativ, qualitativ) → Merkmalsextraktion**
5. Klassifizierung der Objekte anhand dieser Merkmale (z.B. Werkstück gut oder schlecht, Zelle gesund oder krank usw.)
6. Ergebnisausgabe

## Vorbemerkungen

### Mögliche Einteilungen der Merkmale von Objekten in Bildern:

- Kontur-, Regionen- Merkmale
- Art des Merkmals (Skala: nominal, ordinal, metrisch)
- lokale / globale Merkmale
- topologische / metrische Merkmale
- Techniken der Merkmalsbeschreibung (-extraktion): mathematische / heuristische
- Rekonstruktionsfähigkeit des Objekts aus den Merkmalen
- Fähigkeit, auch unvollständig dargestellte Objekte korrekt zu beschreiben
- statistische / syntaktische Merkmale
- Robustheit in Bezug auf Transformationen des Bildes
- geometrische Merkmale
- densitometrische (photometr.) Merkmale (aus Grauwert histogramm)
- Texturmerkmale
- Farbmerkmale

## 2. Merkmale / Beispiele

## Merkmale / Beispiele für einfache geometrische Merkmale und Generierung von Objektmerkmalen aus Primärmerkmalen

**Fläche (Primärmerkmal):** Anzahl der Bildpunkte, die zum Objekt gehören

**Umfang (Primärmerkmal):** Anzahl der Umfangspunkte

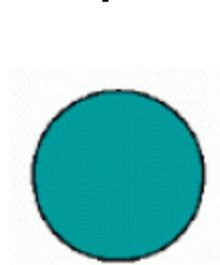
Gewinnung der Umfangspunkte durch

- Ermittlung der Randpixel (Kantenübergänge),
- morphologische Operation Operation  $(DB(X)\setminus X) \rightarrow$  Morphologie: Formenlehre
- durch Konturerkennung,
- aus dem Kettencode: direkte Nachbarn mit Faktor 1, die restlichen mit Faktor Wurzel(2)

**Formfaktor (Objektmerkmal):** Verhältnis von Umfangsquadrat zur Fläche; ist beim Kreis = 1, größer bei zerklüfteten Objekten; wird manchmal auch Kompaktheit genannt

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

kompakt



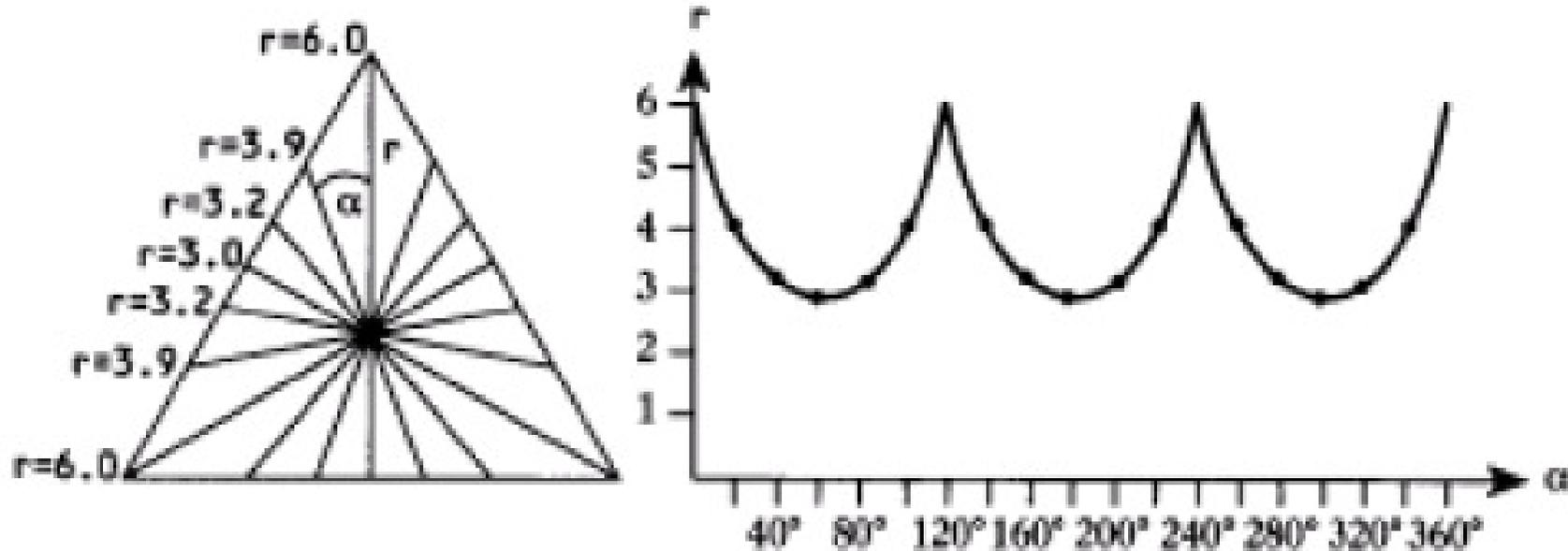
nicht kompakt



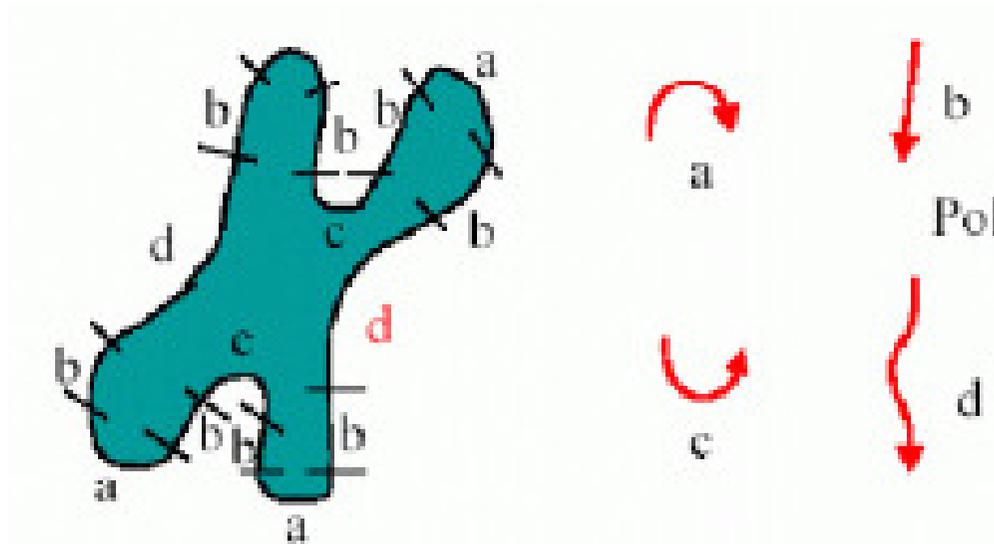
## Merkmale / Beispiele: Polarer Abstand

Abstand des Bereichsrandes vom Schwerpunkt.

Darstellung als Kurve: aussagekräftig für die Form



## Merkmale / Beispiele: Strukturelle Beschreibung



Polygone 2. Ordnung

d,b,a,b,c,b,a,b,d,b,a,b,c,b,a,b  
Chromosomenbeschreibung

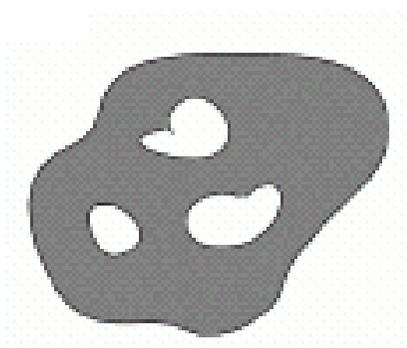
## Merkmale / Beispiele: die Eulerzahl E

Topologischer Deskriptor (Topologie: Teilgebiet der Mathematik):

$$E = N_Z - N_L$$

$N_Z$  Anzahl der zusammenhängenden Komponenten

$N_L$  Anzahl der „Löcher“



Festlegung hier: dunkel  $\rightarrow$  Komponente, hell  $\rightarrow$  „Loch“

Beispiel: „Schweizer Käse“  $E=1-3 = -2$

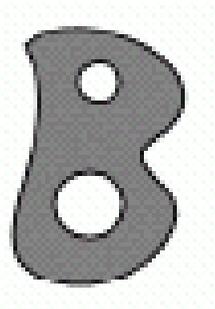
## Merkmale / weitere Beispiele zur Eulerzahl



$$E = 3 - 0 = 3$$



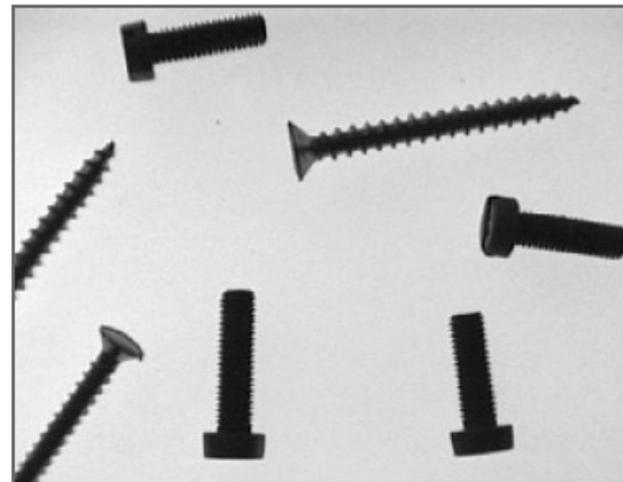
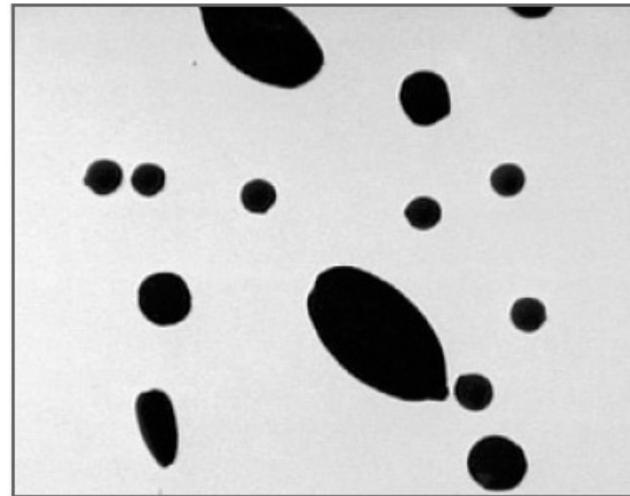
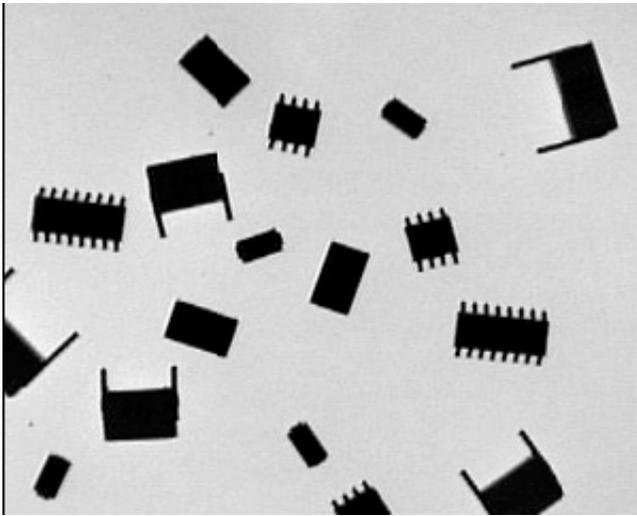
$$E = 1 - 1 = 0$$



$$E = 1 - 2 = -1$$

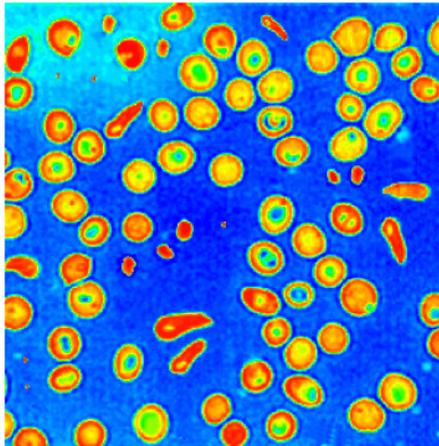
## 3. Beispiele zur Mustererkennung

## Anwendungsbeispiele zur Klassifikation / Mustererkennung

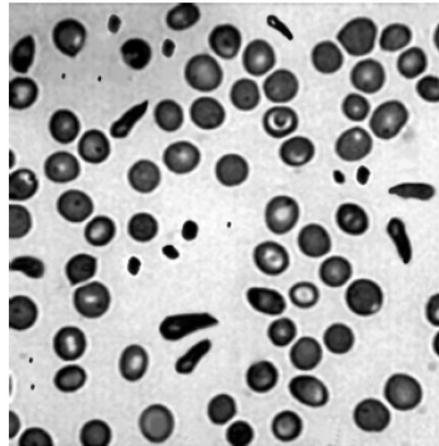


## Beispiele zur Mustererkennung: Schritte bei der Analyse einer Blutprobe

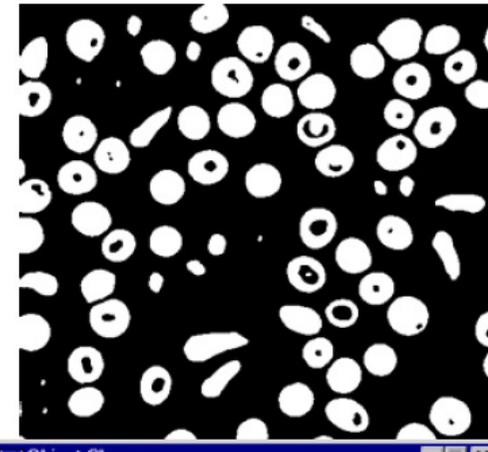
1. Originalbild RGB



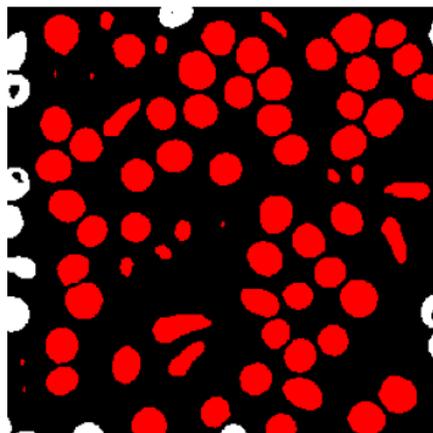
2. RGB → Grauwertbild



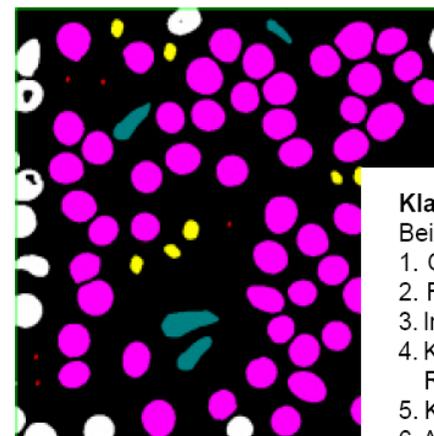
3. Invertierung / Binarisierung



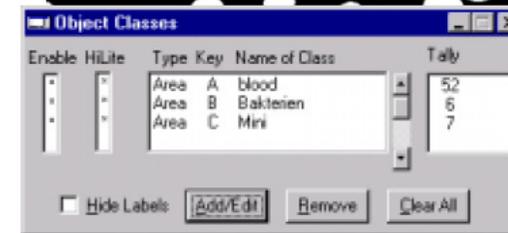
4. Merkmalsextr. /  
Randobjektextraktion



5. Klassifikation



Klasse  
 Beisp  
 1. Or  
 2. RC  
 3. Inv  
 4. Ko  
 Ra  
 5. Kla  
 6. Au

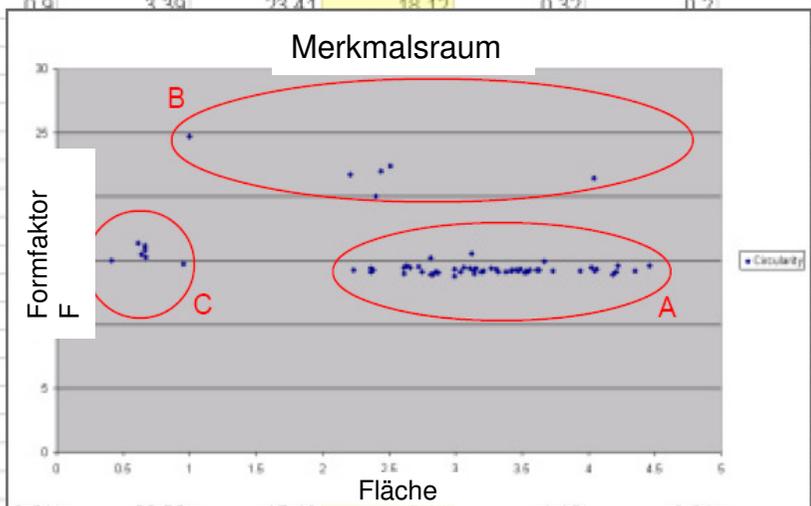


zu 5 und 6. siehe nächste Folie

## Beispiele zur Mustererkennung: Schritte bei der Analyse einer Blutprobe

### 5. Klassifikation im Merkmalsraum Fläche / Formfaktor

Count	Area	Perimeter	X - Position	Y - Position	Circularity	Longest Axis	Width	Mean Gray	Std. Dev. Gra
70	0,87	3,19	8,62	26,73	15,3	1,16	0,83	255	0
	1	4,96	17,23	26,53	24,71	2,1	0,7	251,55	29,48
	4,46	8,07	22,22	25,94	14,6	2,59	2,36	255	0
	4,02	7,61	3,78	25,89	14,44	2,52	2,2	245,69	47,84
	2,63	6,19	24,58	25,87	14,57	2,14	1,65	255	0
	3,43	6,99	13,73	25,64	14,25	2,25	2,08	249,68	36,45
	2,99	6,56	8,03	24,87	14,35	2,07	1,9	255	0
	0,64	3,15	10,08	25,2	15,5	1,12	0,84	255	0
	3,53	7,07	15,85	24,58	14,17	2,29	2,07	230,14	
	3,04	6,54	20,23	24,6	14,09	2,05	2	255	
	2,72	6,29	25,66	24,26	14,53	2,03	1,82	234,22	
	4,35	7,85	12,33	23,62	14,18	2,48	2,29	241,5	
	3,54	7,07	22,85	23,41	14,11	2,16	2,16	235,81	
	3,49	7,07	17,27	22,77	14,33	2,22	2,04	255	
	0,05	0,9	3,39	23,41	18,17	0,32	0,2	255	
	2,38							255	
	0,05							255	
	2,85							255	
	2,23							255	
	3,42							255	
	2,83							255	
	2,51							255	
	4,22							255	
	3,38							255	
	3,27							255	
	3,63							255	
	3,31							255	
	3,11							255	
	3,56							255	
	3,46							255	
	3,19							255	
	3,14							255	
	0,66	3,24	22,52	17,13	15,81	1,16	0,84	255	0
	0,41	2,46	20,98	17,02	14,98	0,94	0,63	255	0
	2,21	6,93	25,68	16,13	21,75	2,85	1,12	255	0
	3,52	7,04	4,12	15,17	14,08	2,32	2,03	255	0



### 6. Auswertung (z.B.):

$$V = \frac{A}{B} \begin{cases} 1 \text{ für } V \geq 26 (\text{gesund}) \\ 0 \text{ für } V < 26 (\text{krank}) \end{cases}$$

**Weitere Informationen zur Klassifikation / Auswertung siehe Vorlesungskomplex 9**

## 4. Geometrische und topologische Merkmale (Auswahl)

## Übersicht über geometrische und topologische Merkmale (Auswahl)

<u>Merkm</u>	<u>Berechnung / Bemerkungen</u>	<u>Invarianz</u>		
		<u>Transl.</u>	<u>Rot.</u>	<u>Größe</u>
Fläche	Anzahl der Pixel eines Objektes, siehe Formel	x	x	
Masse	Summe der Grauwerte eines Objektes	x	x	
Umfang	z.B. Anzahl der Randpixel eines Objektes oder Kettencode (siehe S. 10)	x x	x	
Schwerpunkt	siehe Formeln auf nächster Seite	x	bei Rotat. um den SP	
Zentrale Momente bzw. Kombination von zentralen Momenten	Berechnung siehe <u>Vorl.-Komplex</u> Grauwertstatistik Aus den Kombinationen lassen sich sehr aussagekräftige Merkmalsvektoren bilden **)	*)	*)	*)
Länge (bei länglichen, fadenförmigen Objekten)				
Maxima, Minima im Zeilenprofil	Anzahl und Breite von Maxima und Minima im Zeilenprofil			

\*) abhängig vom Moment bzw. der Kombination

\*\*) weitere Informationen siehe Literatur, z.B.

Erhardt, A.: Einführung in die digitale Bildverarbeitung, Vieweg und Teubner, Wiesbaden 2008 Kap. 10: Objekterkennung 20 von 27

## geometrische und topologische Merkmale: Formeln

**Fläche: Umlaufintegral diskret** 
$$A = \sum_{i=0}^{n-1} (x_i \cdot \Delta y_i - y_i \cdot \Delta x_i)$$
  $\Delta x_i, \Delta y_i = \in (-1, 0, 1)$   
n – Anz.  
Konturpunkte

oder „Auszählen“ der zum Objekt gehörenden Pixel

**Schwerpunkt (s.a.  
Vorlesungskomplex  
„Grauwertstatistik“):**

$$x_s = \frac{1}{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M g(x, y)} \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M x \cdot g(x, y)$$

$$y_s = \frac{1}{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M g(x, y)} \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M y \cdot g(x, y)$$

## Übersicht über geometrische und topologische Merkmale (Auswahl) / Forts.

<u>Merkm</u>	<u>Berechnung</u>	<u>Invarianz</u>		
		<u>Transl.</u>	<u>Rot.</u>	<u>Größe</u>
<u>Feret xy</u>	<u>Feret X</u> : horizontale Ausdehnung eines Objektes <u>Feret Y</u> : vertikale Ausdehnung eines Objektes	x		
Angrenzende Kreise	Maximaler Umkreis, maximaler <u>Inkreis</u> , mittlerer Kreis	x	x	
<u>Kreis- oder Ellipsenanpassung</u>	Methode der Fehlerquadratminimierung	x	x	
Anzahl Löcher	Anzahl von Löchern in einem Objekt	x	x	x
<u>mittlere RGB-Werte eines Objektes</u>	mittlere <u>RGB-Werte</u> eines Objektes	x	x	x

## 5. Formparameter

- Randcodierung nach Freeman
- Differenzialcode
- Fourierdescriptoren

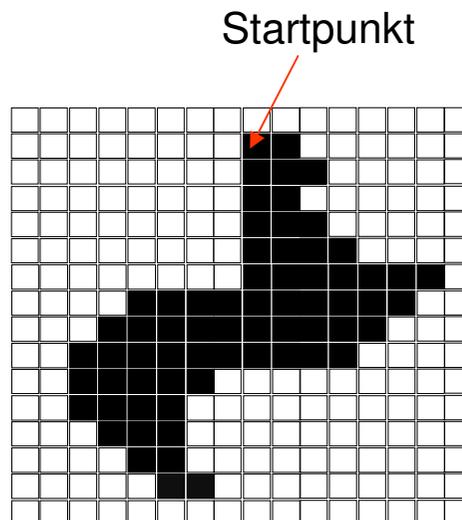
## Formparameter: Randcodierung nach Freeman

Verwendung eines Richtungscodes:

Anm.: in der Lit. teilweise auch hierzu horizontal gespiegelt

3	2	1
4	x	0
5	6	7

**Algorithmus: Entwickeln eines Zahlencodes durch Verfolgen der Kontur mit Hilfe des Richtungscodes**



**Beispiel:**

$C_{\text{rand}} = 0757770055544445566743332211000122222$

## Formparameter: Differentialcode

**Algorithmus: (diskrete) Ableitung des Richtungscode durch Zählen der Schritte zwischen zwei Feldern im positiven Umlaufsinn (kürzester Weg), negatives Vorzeichen durch Richtungsumkehr**

3	2	1
4	x	0
5	6	7

Freeman-Code

**Beispiele (Umlauf vom linken zum rechten Index im positiven Umlaufsinn):**

$$\Delta C_{5-4} = 1$$

$$\Delta C_{2-4} = -2$$

$$\Delta C_{6-3} = 3$$

$$\Delta C_{3-6} = -3$$

## Formparameter: Differentialcode

### Beispiel von Folie 22:

3	2	1
4	x	0
5	6	7

Freeman-Code

$$C_{\text{rand}} = 0757770055544445566743332211000122222$$

$$\Delta C_{\text{rand}} = 12(-2)00(-1)03001000(-1)0(-1)0(-1)31001010100(-1)(-1)00002$$

### Weiterer Parameter:

Betrag und relativer Abstand der Maxima des Differentialcodes

$$C_{\text{max}} = \text{xxxxxxxx3xxxxxxxxxxxx3xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx}$$

## Formparameter: Fourierdescriptoren

### Fourierreihe des (periodisch wiederholten) Randcodes

→ translations-, rotations und -größeninvariant