

## Gliederung

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

## Gliederung zum Themenkomplex Merkmalsextraktion

1. Vorbemerkungen
2. Mögliche Einteilungen der Merkmale von Objekten in Bildern
3. Merkmale / Beispiele
4. Beispiel zur Mustererkennung
5. Geometrische und topologische Merkmale
6. Formparameter
7. Kombination zentraler Momente
8. Bildinterpretationen / Fragen

# 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

#### Ziel:

#### 1. Bilderkennung

(Objekte im Bild erkennen, Szene erkennen und auswerten)

#### 2. Datenreduktion

- Merkmale generieren
- Merkmale bestimmten Klassen zuordnen
- Klassifizieren von Objekten und Szenen
- Aussage: erkannt / nicht erkannt,

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:**

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

## 2. 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 unvollst. dargestellte Objekte korrekt zu beschreiben
- statistische / syntaktische Merkmale
- Robustheit in Bezug auf Transformationen des Bildes
- geometrische Merkmale
- densitometrische (photometr.) Merkmale (aus Grauerthistogramm)
- Texturmerkmale
- Farbmerkmale

## 3. Merkmale / Beispiele

## Einfache geometrische Merkmale

**Fläche:** Anzahl der Bildpunkte, die zum Objekt gehören

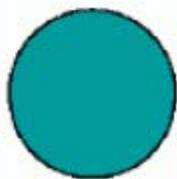
**Umfang:** Anzahl der Umfangspunkte

Gewinnung der Umfangspunkte durch morphologische Operation  $(DB(X)\backslash X)$  oder durch Konturerkennung,

Umfang genauer aus dem Kettencode:

direkte Nachbarn mit Faktor 1, die restlichen mit Faktor Wurzel(2)

**Formfaktor:** Verhältnis von Umfangsquadrat zur Fläche  
ist beim Kreis = 1, größer bei zerklüfteten Objekten  
wird manchmal auch Kompaktheit genannt  
kompakt nicht kompakt



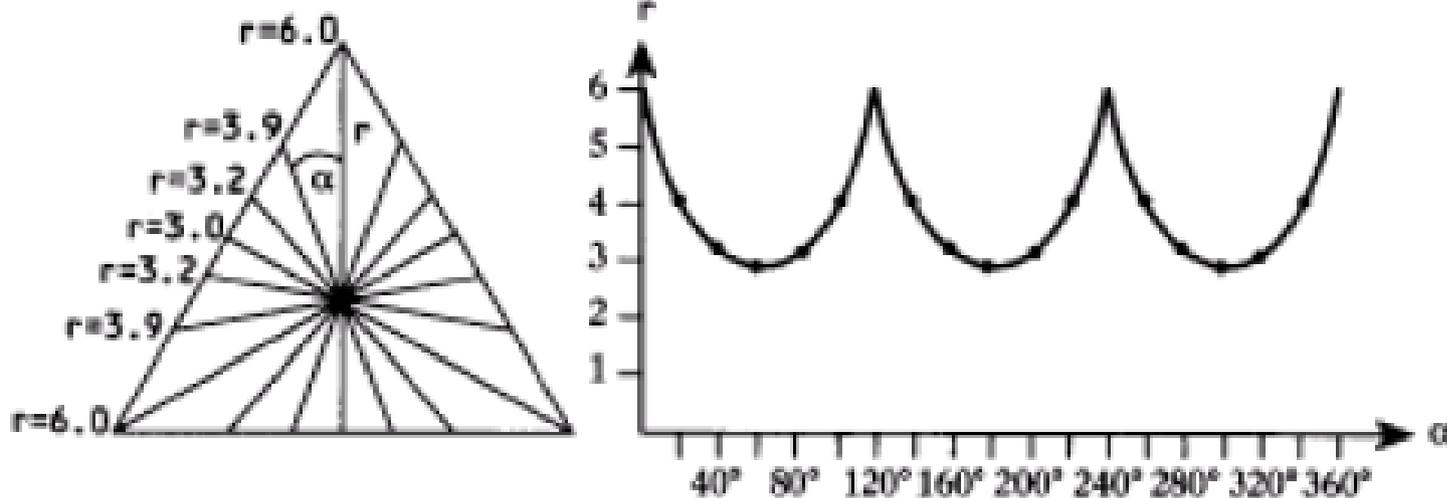
nic

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

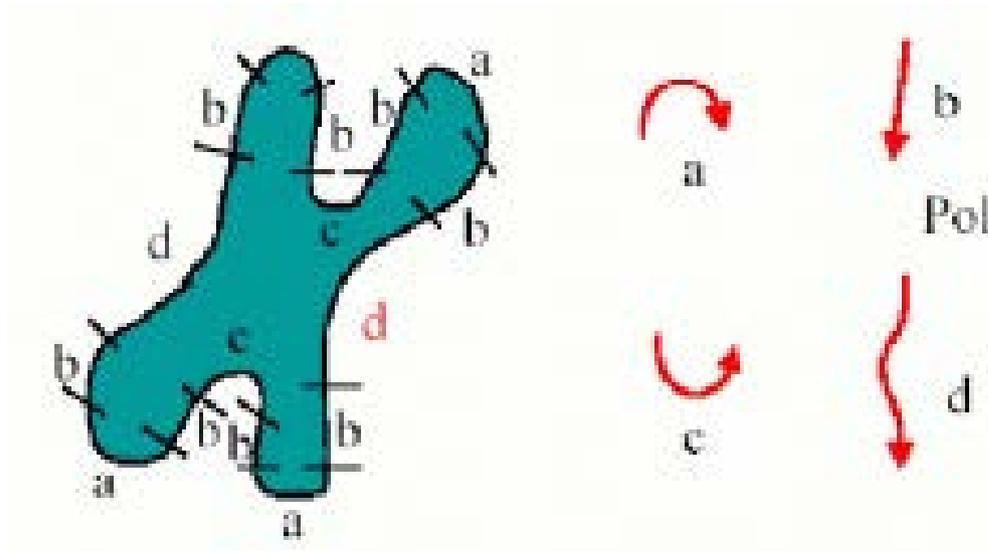
## Polarer Abstand:

Abstand des Bereichsrandes vom Schwerpunkt.

Darstellung als Kurve: aussagekräftig für die Form



## Strukturelle Beschreibung:



Polygone 2. Ordnung

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

## Die Eulerzahl E

Topologischer Deskriptor:  $E = N_Z - N_L$

$N_Z$  Anzahl der zusammenhängenden Komponenten

$N_L$  Anzahl der Löcher

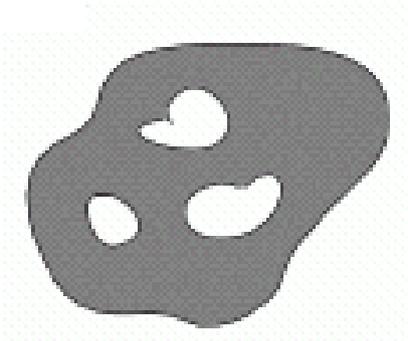
## Beispiele:

Topologischer Deskriptor:  $E = N_Z - N_L$

$N_Z$  Anzahl der zusammenhängenden Komponenten

$N_L$  Anzahl der Löcher

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



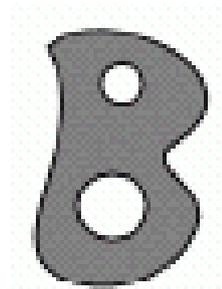
a) „Schweizer Käse“  $E = 1 - 3 = -2$



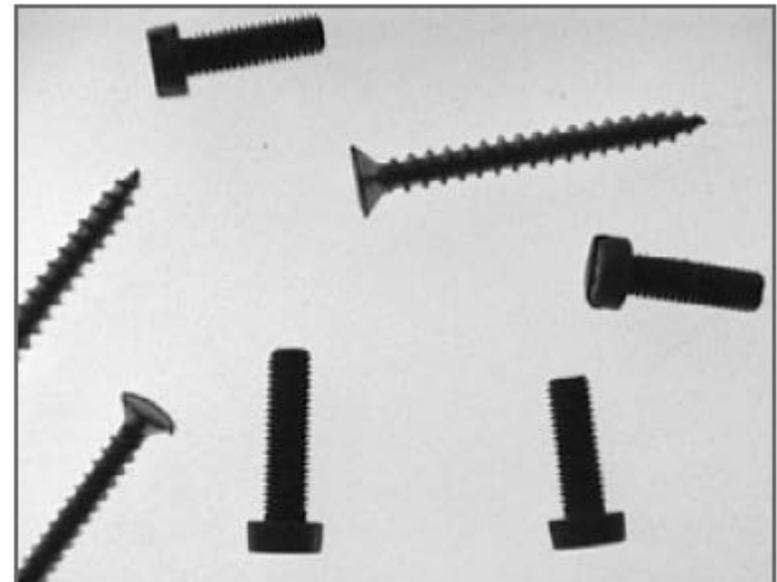
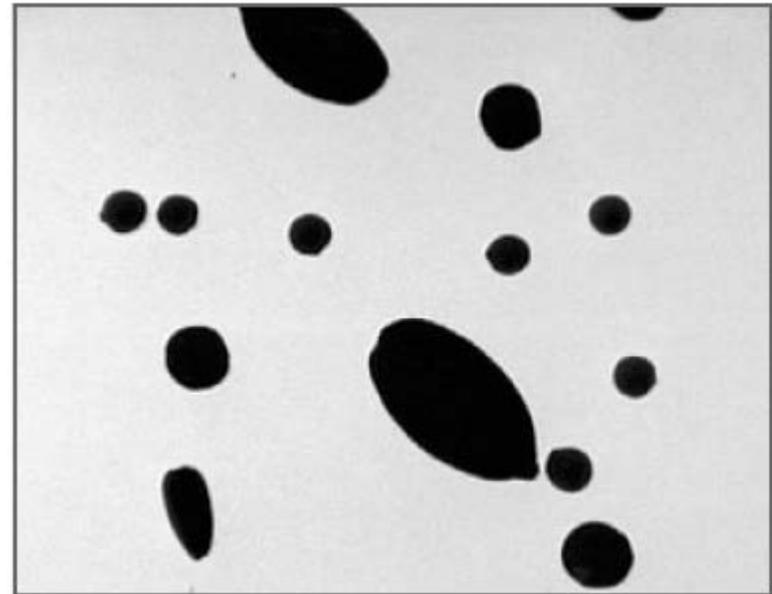
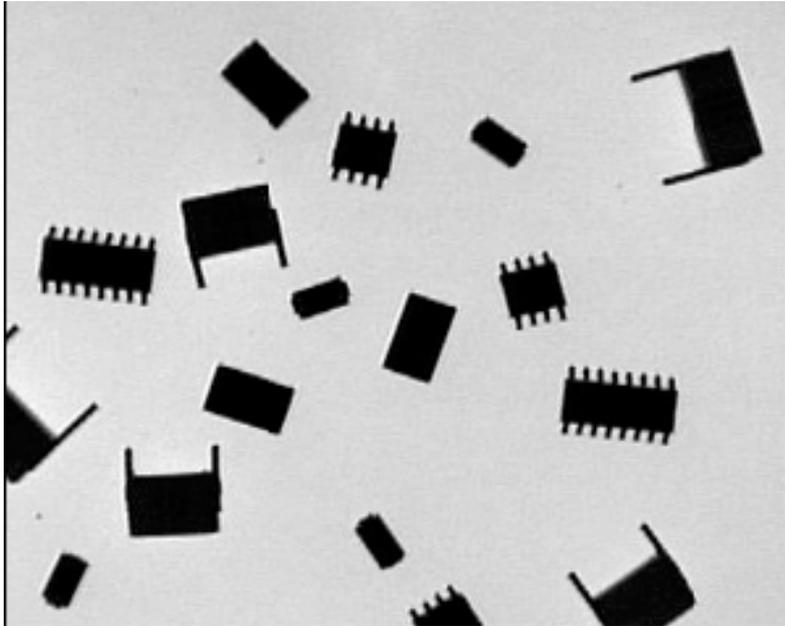
b)  $E = 3 - 0 = 3$



c)  $E = 1 - 1 = 0$

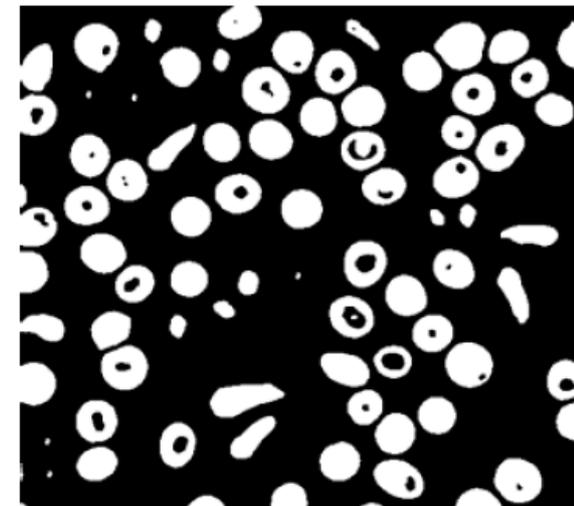
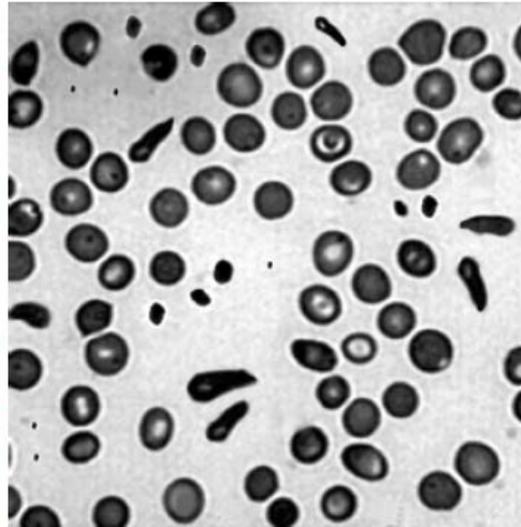
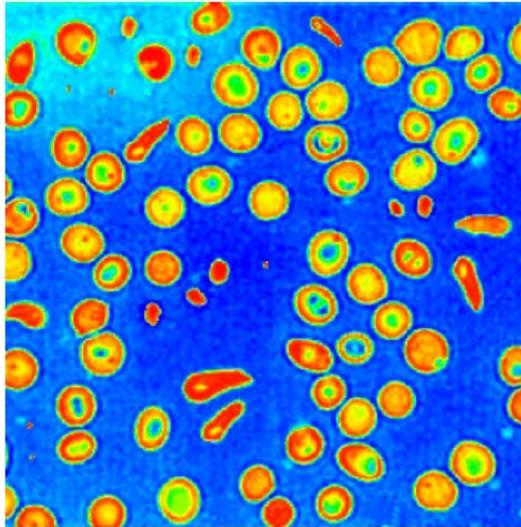


d)  $E = 1 - 2 = -1$



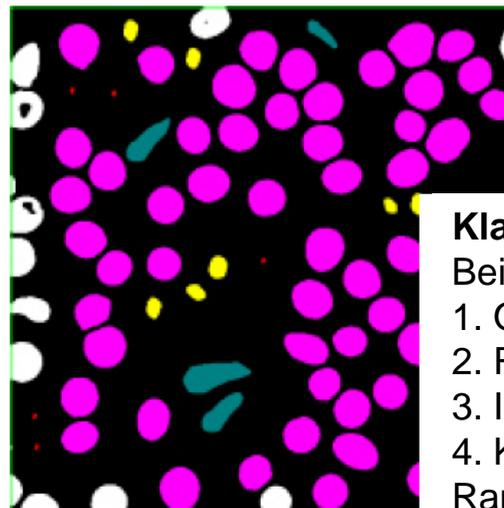
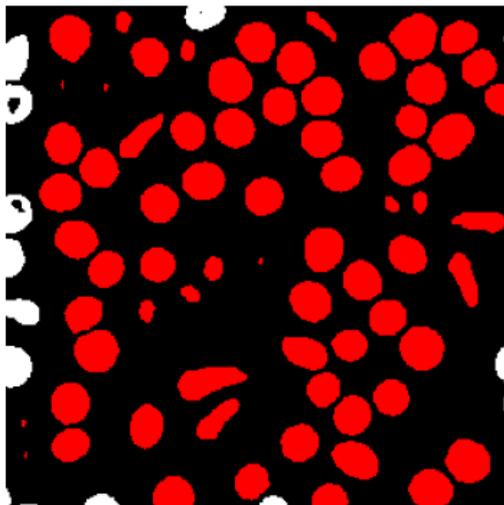
Beispiele für Objekterkennung,  
Klassifikation, Bildanalyse

## 4. Beispiel zur Mustererkennung



Enable	HiLite	Type	Key	Name of Class	Tally
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	A	blood	52
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	B	Bakterien	6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	C	Mini	7

Hide Labels:

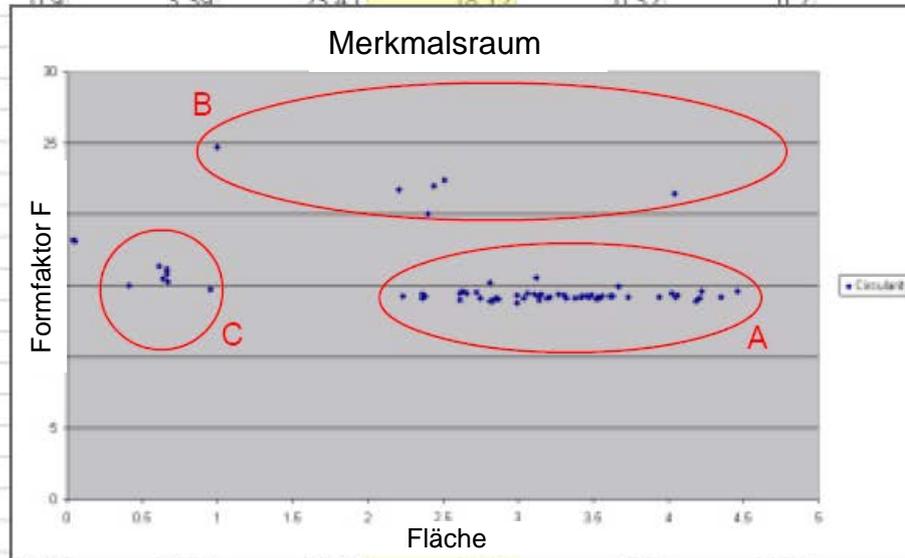


### Klassifikation / Mustererkennung:

Beispiel: Blutbild

1. Originalbild RGB
2. RGB --> Grauwertbild
3. Invertierung/Binarisierung
4. Konturverfolg. / Merkmalsextr. / Randobjektextr.
5. Klassifikation
6. Auswertung

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Count	Area	Perimeter	X - Position	Y - Position	Circularity	Longest Axis	Width	Mean Gray	Std. Dev. Gra
70	0,87	3,19	6,62	26,73	15,3	1,16	0,83	255	0
1	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	75,67	
3,04	6,54	20,23	24,6	14,09	2,05	2	255	0	
2,72	6,29	25,66	24,26	14,53	2,03	1,82	234,22	69,81	
4,35	7,85	12,33	23,82	14,18	2,48	2,29	241,5	57,12	
3,54	7,07	22,85	23,41	14,11	2,16	2,16	235,81	67,29	
3,49	7,07	17,27	22,77	14,33	2,22	2,04	255	0	
0,05	0,9	3,39	23,41	18,12	0,32	0,2	255	0	
2,38								255	0
0,05								255	0
2,85								255	0
2,23								255	0
3,42								255	51,14
2,83								255	0
2,51								255	0
4,22								1,97	70,17
3,38								1,26	97,87
3,27								1,43	29,97
3,63								1,29	57,53
3,31								1,03	31,58
3,11								1,44	64,6
3,56								1,78	73,39
3,46								1,91	56,29
3,19								255	0
3,14								255	0
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



### Klassifizierung von Objekten mit Hilfe der Darstellung in Merkmalsräumen

## Auswertung:

Vorgabe: 0-2 Bakt. → gesund

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

## 5. Geometrische und topologische Merkmale

## Übersicht über geometrische und topologische Merkmale

Merkmal	Berechnung	Invarianz		
		Transl.	Rot.	Größe
Fläche	Anzahl der Pixel eines Objektes, siehe Formel	x	x	
Masse	Summe der Grauwerte eines Objektes	x	x	
Umfang	Konturlänge, siehe Folie 29	x	x	
Schwerpunkt	siehe Formel nächste Folie	x	bei Rotat. um den SP	
Länge (bei länglichen, fadenförmigen Objekten)	Anzahl und Breite von Maxima und Minima im Zeilenprofil			
Maxima, Minima im Zeilenprofil		x	x	

## geometrische und topologische Merkmale: Formeln

**Fläche: Umlaufintegral diskret**

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} (x_i \cdot \Delta y_i - y_i \cdot \Delta x_i)$$

$$\Delta x_i, \Delta y_i = \in (-1, 01)$$

oder „Auszählen“ der zum  
Objekt gehörenden Pixel

n – Anz.  
Konturpunkte

**Schwerpunkt:**

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

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

## Übersicht über geometrische und topologische Merkmale / Forts.

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

## 6. Formparameter

- Randcodierung nach Freeman
- Differenzialcode
- Fourierdescriptoren

## Formparameter: Randcodierung nach Freeman

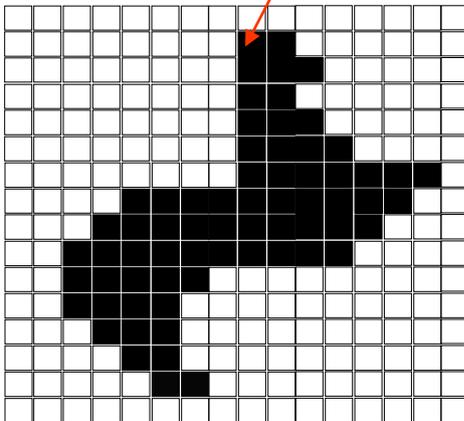
Verwendung eines Richtungscodes:

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 im Uhrzeigersinn (in der Literatur wird teilweise auch der positive Umlaufsinn verwendet)**

Startpunkt



**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 Uhrzeigersinn, auch der entgegengesetzte Umlaufsinn ist üblich):**

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

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

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

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

## 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

$$C_{\text{max}} = \text{xxxxxxxx3xxxxxxxxxxx3xxxxxxxxxxxxxxxxxxx}$$

## Formparameter: Fourierdescriptoren

### Fourierreihe des (periodisch wiederholten) Randcodes

→ translations-, rotations und -größeninvariant

## Generierung von Objektmerkmalen aus Primärmerkmalen

Primärmerkmale: Anzahl Schritte in gerader und schräger Richtung

→  **$P_G$  und  $P_S$**

$$\text{Konturlänge } K_L = P_G + P_S \cdot \sqrt{2}$$

$$\text{Konturfläche } K_F = AREA/2 + (P_G + P_S)/2 + 1$$

$$\text{Formfaktor } FOFA = \frac{K_L^2}{K_F}$$

## 7. Kombination normierter zentraler Momente

Zentrales Moment:

$$\mu_{ik} = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N (x - x_s)^i (y - y_s)^k \cdot g(x, y)$$

Kombinationen, z.B.:  $\kappa_1 = \mu_{20} + \mu_{02}$

Aus diesen Kombinationen lassen sich sehr aussagekräftige Merkmalsvektoren bilden

**Weitere Kombinationen siehe Literatur, z.B.:**

*Erhardt, A.: Einführung in die digitale Bildverarbeitung, Vieweg und Teubner, Wiesbaden 2008*

*Kap. 10: Objekterkennung*

## 7. Kombination normierter zentraler Momente

Beispiel:

Berechnung des Momentes 2. Ordnung  $\mu_{11}$ ; der Schwerpunkt befinde sich im Zentrum

3	2	1
4	1	4
1	2	3

$$\mu_{ik} = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N (x - x_S)^i (y - y_S)^k \cdot g(x, y)$$

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= (-1)(-1) \cdot 3 + (0)(-1) \cdot 2 + (1)(-1) \cdot 1 \\ &+ (-1)(0) \cdot 4 + (0)(0) \cdot 1 + (1)(0) \cdot 4 \\ &+ (-1)(1) \cdot 1 + (0)(1) \cdot 2 + (1)(1) \cdot 3 \\ &= 4 \end{aligned}$$