

# Überblick

- Was ist Textur?
- Texturwahrnehmung
- Texturmodelle

# Was ist Textur?

*„The most obvious property of texture is perhaps its ubiquity. While two-dimensional visual and three-dimensional haptic textures are the most intuitive, „texture“ can also be used to characterize audio signal and spatiotemporal events, such as music and motion*

*Ubiquitous as it is, a formal definition of texture remains elusive.“* [Liu 1997]

# Was ist Textur?

- *Textur charakterisiert die Oberflächenbeschaffenheit von Phänomenen und Objekten. Oberflächenbeschaffenheit kann sowohl visuell als auch taktil wahrgenommen werden*  
[Wechsler 1980]
- *Textur ist aus mehr oder minder geordneten Elementen (Muster) zusammengesetzte Struktur. Keinem der Elemente kommt – für sich allein genommen – eine wesentliche Bedeutung zu.*  
[Gool et al. 1985]
- *Textur ist eine flächenhafte Verteilung von Grauwerten mit zugehörigen Regelmäßigkeiten und gegenseitigen Abhängigkeiten innerhalb begrenzter Bildbereiche*  
[Bähr und Vögtle 1991]

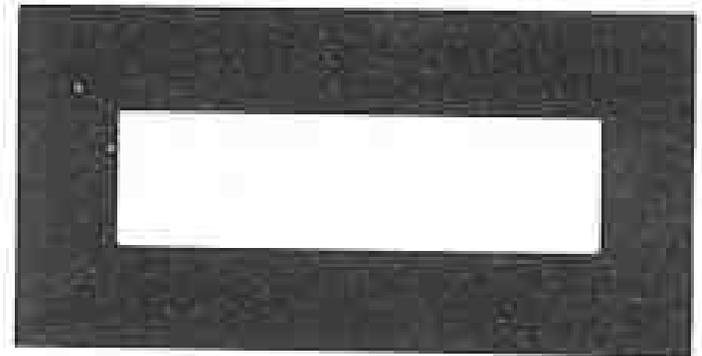
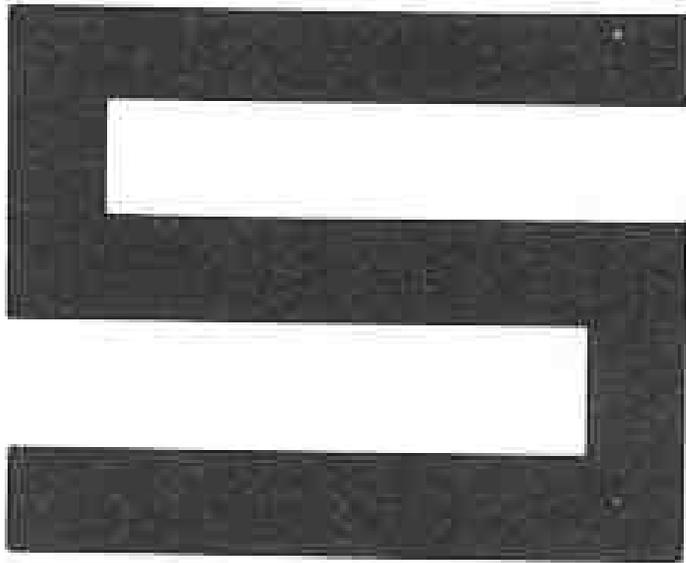
# Was ist Textur?

- Textur wird i.d.R. im Kontext wahrgenommen (Farbe oder andere Texturen)
- Meist sofortige Klassifikation
- Experimente von Gibson und Bridgeman (1987)
  - Ohne Kontext nur ca. 66% Klassifikationsrate
- *„Strukturen, die sich aus sich wiederholenden kleineren Mustern aufbauen, die sich wiederum aus sich wiederholenden Grauwerten in einer lokalen Nachbarschaft zusammensetzen, wobei die Grauwerte in einer solchen lokalen Nachbarschaft auch variieren dürfen, können als Textur bezeichnet werden.“*

[Hermes 1999]

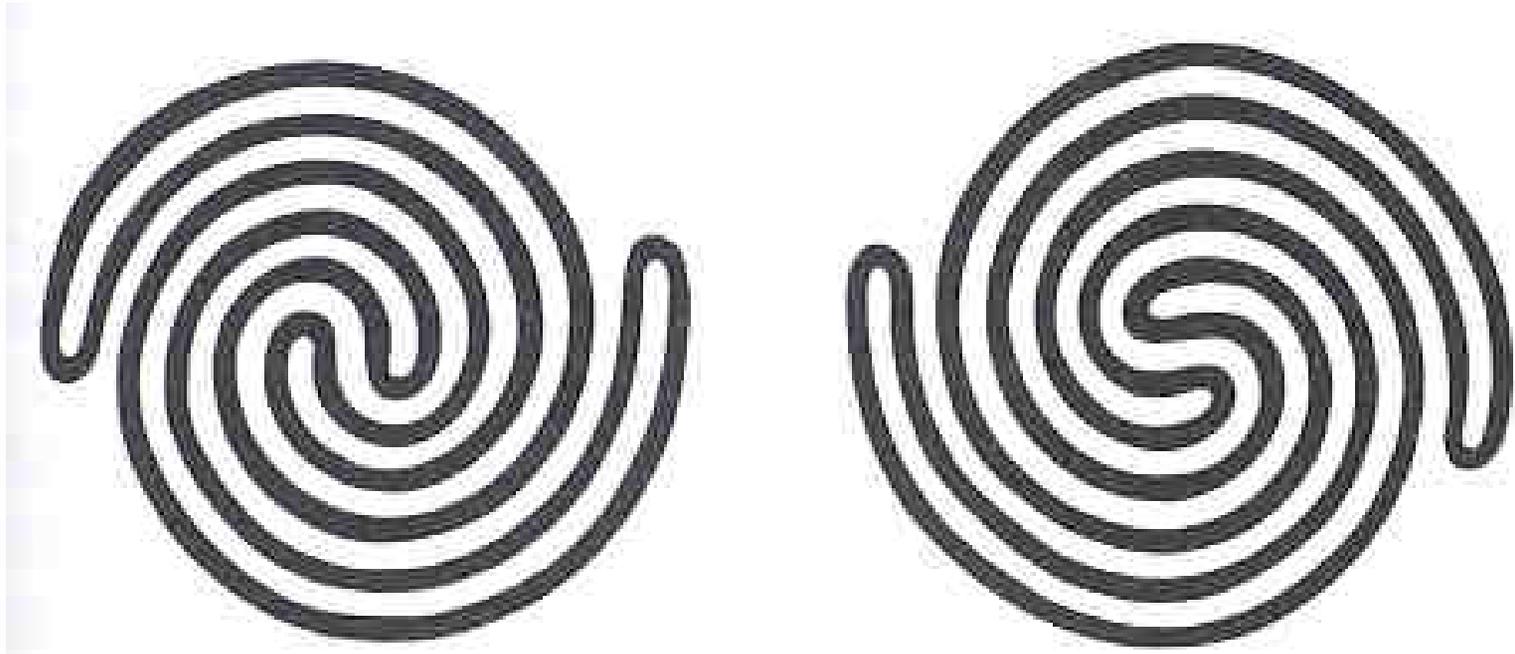
# Wahrnehmung

➤ Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



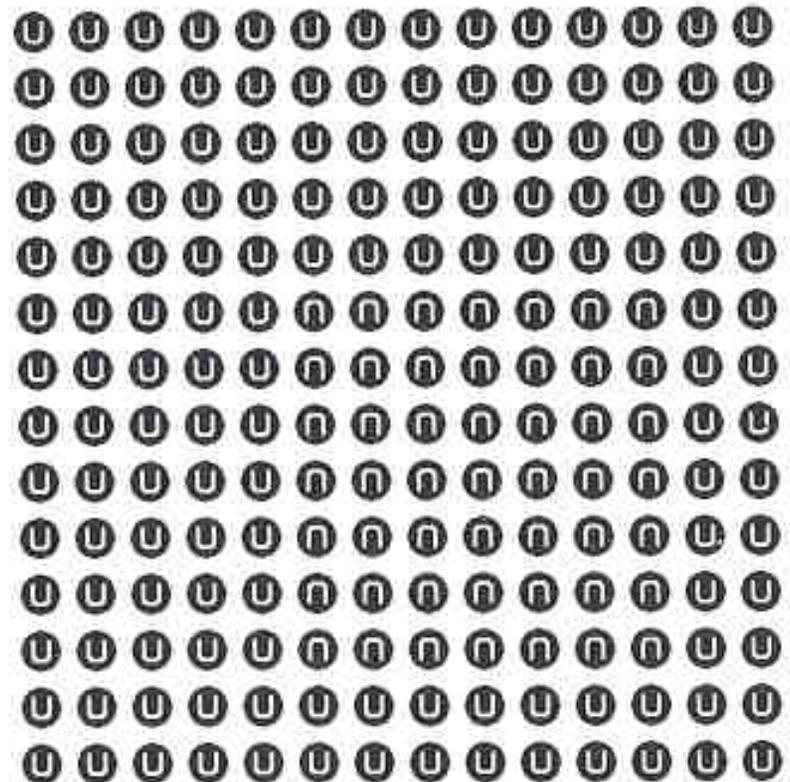
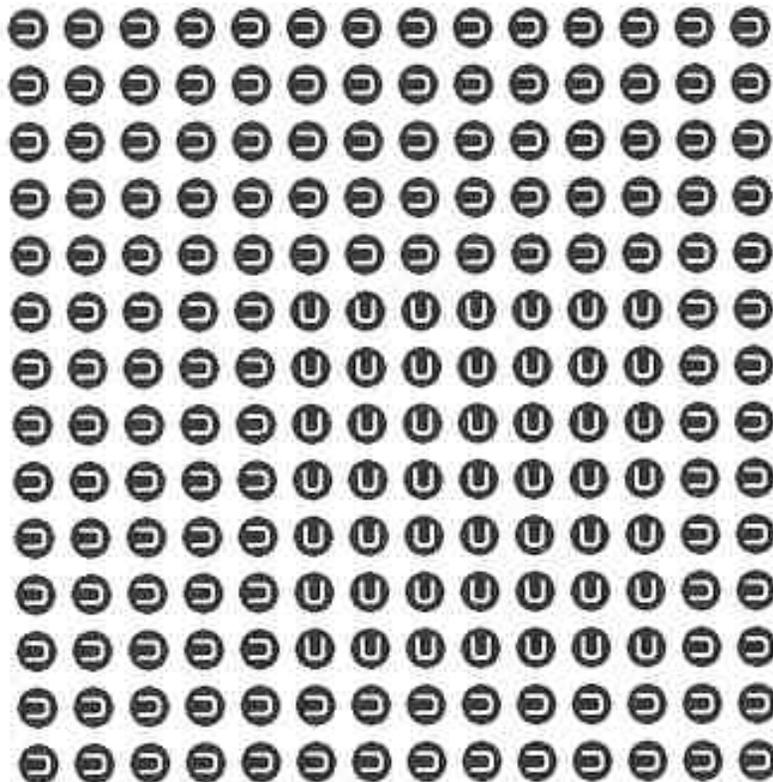
# Wahrnehmung

- Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



# Wahrnehmung

➤ Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



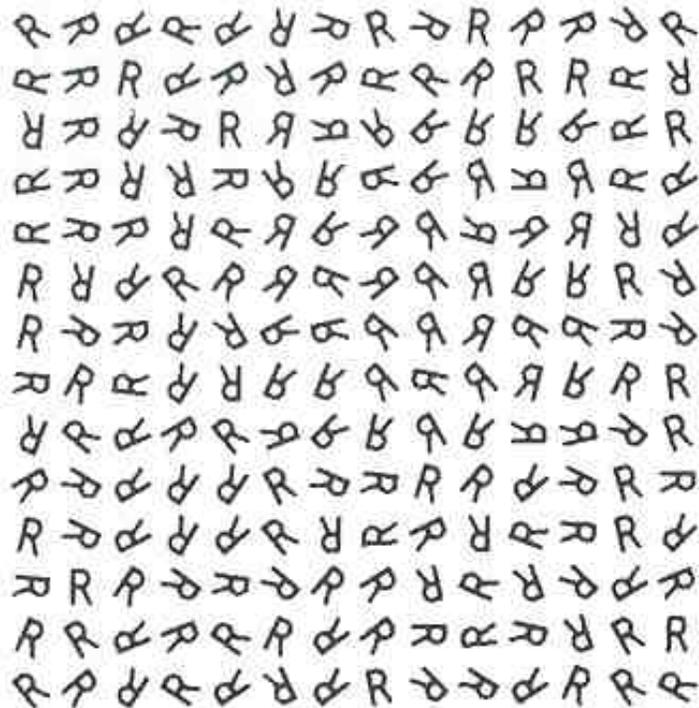
# Wahrnehmung

## ➤ Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



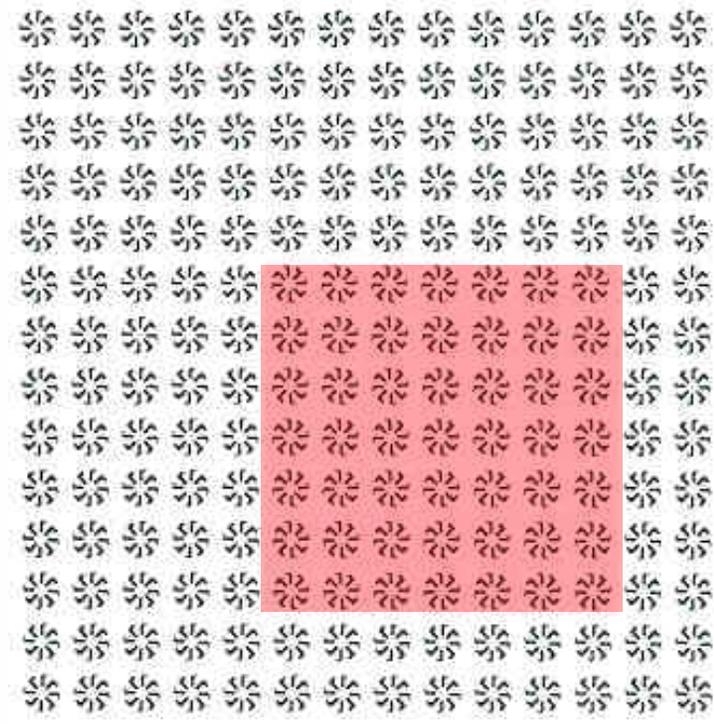
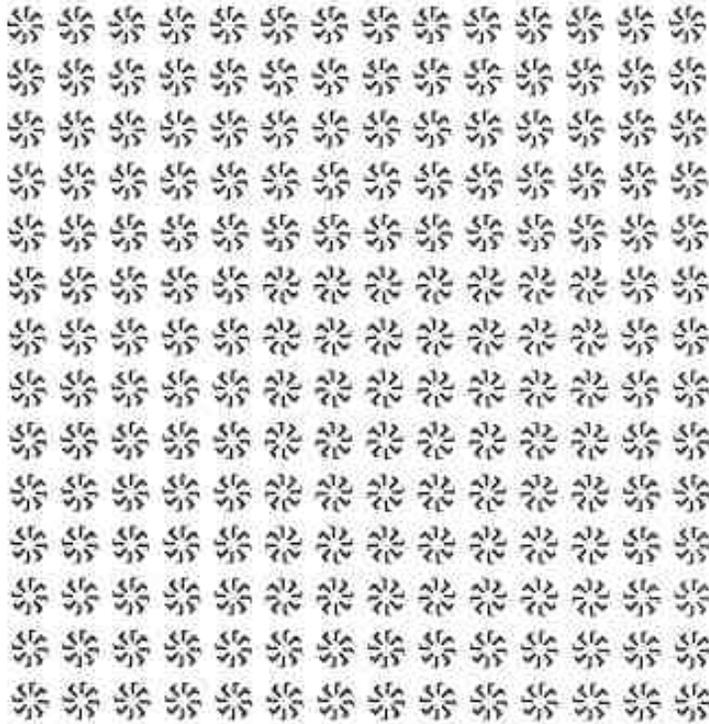
# Wahrnehmung

## ➤ Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



# Wahrnehmung

## ➤ Präattentive vs. Attentive Wahrnehmung [Julesz et al.]



# Wahrnehmung

- Gleiche Statistiken  $n$ -ter Ordnung implizieren auch gleich Statistiken  $1$ -ter bis  $(n-1)$ -ter Ordnung
- Ergebnisse der Experimente
  - Texturen mit unterschiedlichen Statistiken  $2$ -ter Ordnung lassen sich gut diskriminieren
  - (Globale) Statistiken  $1$ -ter Ordnung sind nicht geeignet, um Texturen zu diskriminieren (lokale schon!)
  - Höhere ( $>2$ ) Statistiken haben keinen wesentlichen Einfluss auf Diskriminierung

# Was ist Textur...

Grobe Unterscheidung in

➤ statistisch/stochastisch

- rein stochastisch
- Punkt-basierte Statistiken n-ter Ordnung
- Globale Statistiken
- Filter-basierte (lokale)

➤ strukturelle Verfahren

- Strukturierende Elemente (Texel)
- Aufbauregeln

# Statistische Verfahren (Auswahl)

- Punkt-basiert 1-ter Ordnung (Histogramm)

sei  $h(i)$  die Häufigkeit, mit der ein GW im Bild vorkommt

$$\text{Mittelwert: } \mu = \sum_{i=0}^{N-1} ih(i)$$

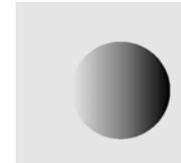
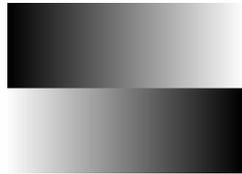
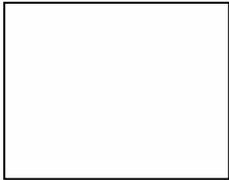
$$\text{Standardabweichung: } \sigma^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu)^2 h(i)$$

$$\text{Entropie: } \varepsilon = -\sum_{i=0}^{N-1} h(i) \log(h(i))$$

$$\text{Schiefe: } M_3 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu)^3 h(i)$$

$$M_3' = \frac{M_3}{\sqrt{M_2}^3}$$

# Statistische Verfahren (Auswahl)



Name	Min	Max	Mittelwert	Abweichung	Entropie	Schiefe
Grau100	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
Grauverlauf	0	255	126,02	5479,26	4,60	592,48
Objekte	0	255	40,80	8739,71	0,44	1515430,34
3Kasten	100	140	120,00	201,00	1,04	5,36
Verlauf	0	255	202,13	2903,40	1,72	-307702,41
Elch	0	255	155,55	2775,19	4,22	17397,20

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Tuceryan 1992]

- Rein stochastisch (Momente)
  1. Momente werden innerhalb einer lokalen Umgebung  $R$  berechnet
  2. Berechnung von Texturmerkmalen auf diesen Momenten
  3. Unüberwachtes Clustering auf zufällig ausgewählten Pixel
  4. Klassifikation der Pixel bzgl. 3.
- Bildmoment  $(p+q)^{th}$  der Ordnung  $th$  als FKT. mit zwei Variablen  $f(x,y)$

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) x^p y^q dx dy$$

mit  $p, q = 0, 1, 2, \dots$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Tuceryan 1992]

- Rein stochastisch (Momente)

$m_{00}$  ist ein Maß für die Flächen von  $R$

$\frac{m_{10}}{m_{00}}$  bzw.  $\frac{m_{01}}{m_{00}}$  als  $x$ - bzw.  $y$ -Koord. Zentrumspixel

$m_{11}$  beschreibt die Ausdehnung von  $R$

$m_{20}$  und  $m_{02}$  Orientierung der Hauptachsen

- Im diskreten Fall müssen Koordinaten normiert werden auf  $[-0,5; +0,5]$  mit  $W$  als Breite bzw. Höhe der Fensters (Region  $R$ )

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Tuceryan 1992]

- Rein stochastisch (Momente)  
sei  $(i, j)$  Zentrumspixel, für jeden Nachbarpunkt  
 $(k, l)$  ergeben sich die normalisierten Koordinaten  
 $(x_k, y_l)$  zu:

$$x_k = \frac{(k-i)}{2 \left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} \quad \text{bzw.} \quad y_l = \frac{(l-j)}{2 \left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}$$

somit ergeben sich die Momente  $m_{pq}(i, j)$  zu

$$m_{pq}(i, j) = \sum_{k=-\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}^{+\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} \sum_{l=-\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}^{+\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} f(i+k, j+l) x_k^p y_l^q$$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Tuceryan 1992]

- Rein stochastisch (Momente)

$$m_{pq}(i, j) = \sum_{k=-\lfloor \frac{W}{2} \rfloor}^{+\lfloor \frac{W}{2} \rfloor} \sum_{l=-\lfloor \frac{W}{2} \rfloor}^{+\lfloor \frac{W}{2} \rfloor} f(i+k, j+l) x_k^p y_l^q$$

kann als Faltungsmaske interpretiert werden

- Die ersten sechs Momente werden berechnet  $m_{00}$ ,  $m_{10}$ ,  $m_{01}$ ,  $m_{11}$ ,  $m_{20}$  und  $m_{02}$
- Zwischenergebnis sechs Merkmalsbilder  $M_1$  bis  $M_6$

# Merkmalsextraktion

[Tamura et al. 1978]

- Texturmerkmal Gerichtetheit
  - Richtungshistogramm  $H_D(k)$  über die Gradientenrichtung der Kantenpunkte mit einer Magnitude  $|\Delta G| > th$
  - Kantenpunkte nebst Richtung und Magnitude bestimmen (Prewitt-Operator):

$$\begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 \\ \Delta h = -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 1 \\ \Delta v = 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{array}$$

Kantenrichtung:

$$\theta = \tan^{-1}(\Delta v / \Delta h) + \frac{\pi}{2}$$

Magnitude (=Stärke):

$$|\Delta G| = (|\Delta h| + |\Delta v|) / 2$$

# Merkmalsextraktion

[Tamura et al. 1978]

- Texturmerkmal Gerichtetheit
  - $k$  = Anzahl der zu unterscheidenden Richtungen/Winkel

Absolutes Histogramm  $N_\theta(k)$  entspr. Anzahl der Punkte, für die gilt :

$$(2k-1)\frac{\pi}{2n} \leq \theta \leq (2k+1)\frac{\pi}{2n} \quad \text{und} \quad |\Delta G > th|$$

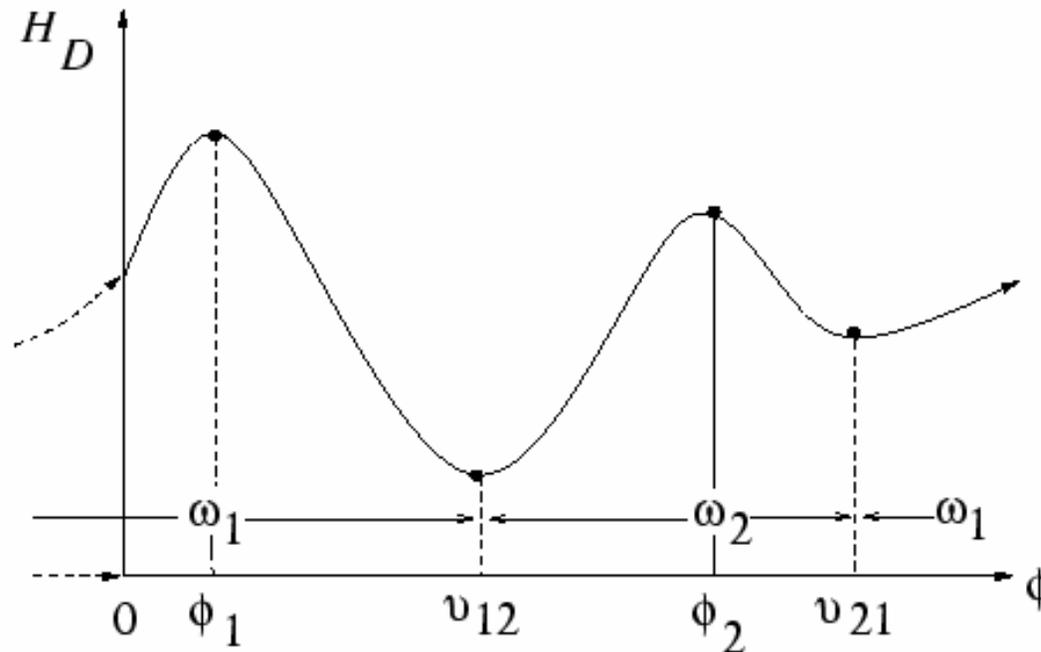
Normiertes Histogramm

$$H_D(k) = \frac{N_\theta(k)}{\sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i)}, \quad \text{mit} \quad k = 0, 1, \dots, n-1$$

- Normiert mit der Gesamtsumme der Einträge im absoluten Histogramm

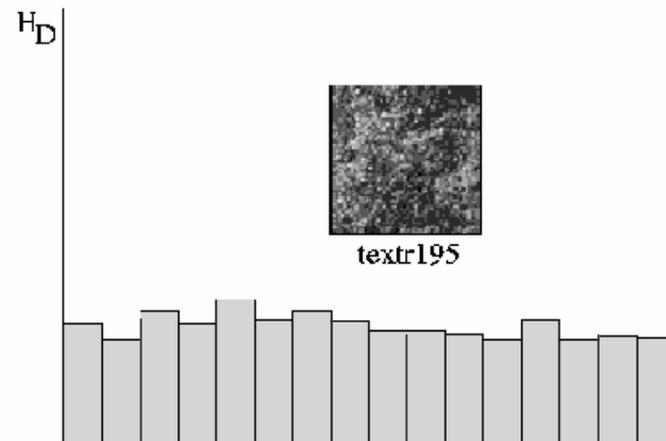
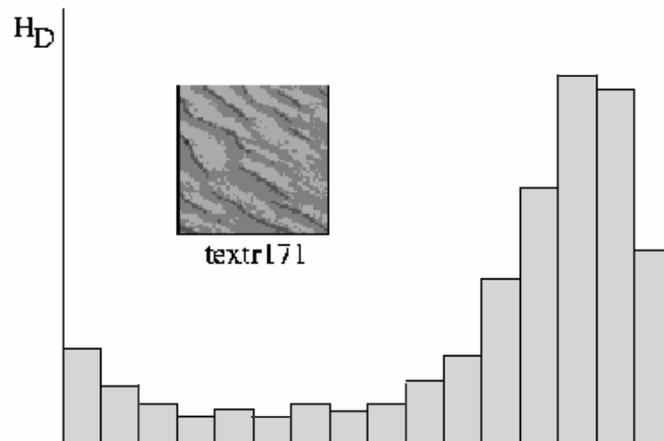
# Merkmalsextraktion

- Texturmerkmal Gerichtetheit: Richtungshistogramm



# Merkmalsextraktion

- Texturmerkmal Gerichtetheit: Richtungshistogramme



# Merkmalsextraktion

- Texturmerkmal Gerichtetheit
  - Deutung des Richtungshistogramms
    - Flaches Histogramm entspricht ungerichteten Texturen
    - Wahl unterschiedlicher Schwellwerte  $th$  verschiebt das Histogramm in  $y$ -Richtung
    - Eine Spitze: eine gerichtete Textur, Grad der Gerichtetheit ergibt sich aus der „Schärfe“ der Spitze
    - Mehrere Spitzen: keine einheitliche, vorherrschende Richtung

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

- Punkt-basierte Statistik 2-ter Ordnung (Cooccurrence-Matrix)
- Berechnung für vier Richtungen ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $135^\circ$ )
- Bild  $E$  habe die Dimension  $N_x$  (horizontaler) und  $N_y$  (vertikal), sowie  $N_g$  Grauwerte
- Horizontale räumliche Ausdehnung  $L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}$  bzw. vertikale  $L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}$  und  $G = \{1, 2, \dots, N_g\}$  ist Menge der GW
- Bild  $E$  als FTK, die einen Grauwert aus  $G$  einer Zelle aus  $L_x \times L_y$  zuweist

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

$$E : L_x \times L_y \rightarrow G$$

- Annahmen
  - Texturinformation ist über gesamtes Bild verteilt und
  - Information steckt in der Beziehung zwischen benachbarten Punkten, die durch GW repräsentiert werden
- Folgerung
  - Information kann adäquat durch eine (oder mehrere) Matrizen spezifiziert werden
  - In den Matrizen ist das Häufigkeit  $P_{ij}$  eingetragen

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

- $P_{ij}$  bedeutet:
  - benachbarte Punkte mit Abstand  $d$  und
  - ein Punkt weist GW  $i$  und der andere Punkt weist GW  $j$  auf
- *Solche Matrizen sind FKTn, die unter Berücksichtigung eines Winkels ( $0^\circ, \dots, 135^\circ$ ) die räumlich Beziehung zwischen benachbarten Bildpunkten mit Abstand  $d$  repräsentieren*
- 2D-Histogramm

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

➤ Definition(en):

$$P(i, j, d, 0^\circ) = \# \left\{ \left( (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right) \right. \\ \left. k - m = 0, |l - n| = d, E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

$$P(i, j, d, 45^\circ) = \# \left\{ \left( (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right) \right. \\ \left. (k - m = d, l - n = -d) \text{ oder} \right. \\ \left. (k - m = -d, l - n = d), \right. \\ \left. E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

➤ Definition(en):

$$P(i, j, d, 90^\circ) = \# \left\{ \left( (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right) \right. \\ \left. |k - m| = d, l - n = 0, E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

$$P(i, j, d, 135^\circ) = \# \left\{ \left( (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right) \right. \\ \left. (k - m = d, l - n = d) \text{ oder} \right. \\ \left. (k - m = -d, l - n = -d), \right. \\ \left. E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

Normierung (für  $d = 1$ ) durch:

$2N_y(N_x - 1)$  (für  $0^\circ$  und  $90^\circ$ ) sowie  $2(N_y - 1)(N_x - 1)$  (für  $45^\circ$  und  $135^\circ$ )

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Haralick et al. 1973]

- Merkmale (Auswahl): Entropie

ASM(Energie)

$$f_3 = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j))$$

$$f_1 = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2$$

Korrelation

Kontrast

$$f_4 = \frac{1}{\sigma_m \sigma_n} \left( \sum_i \sum_j ij p(i, j) - \mu_m \mu_n \right)$$

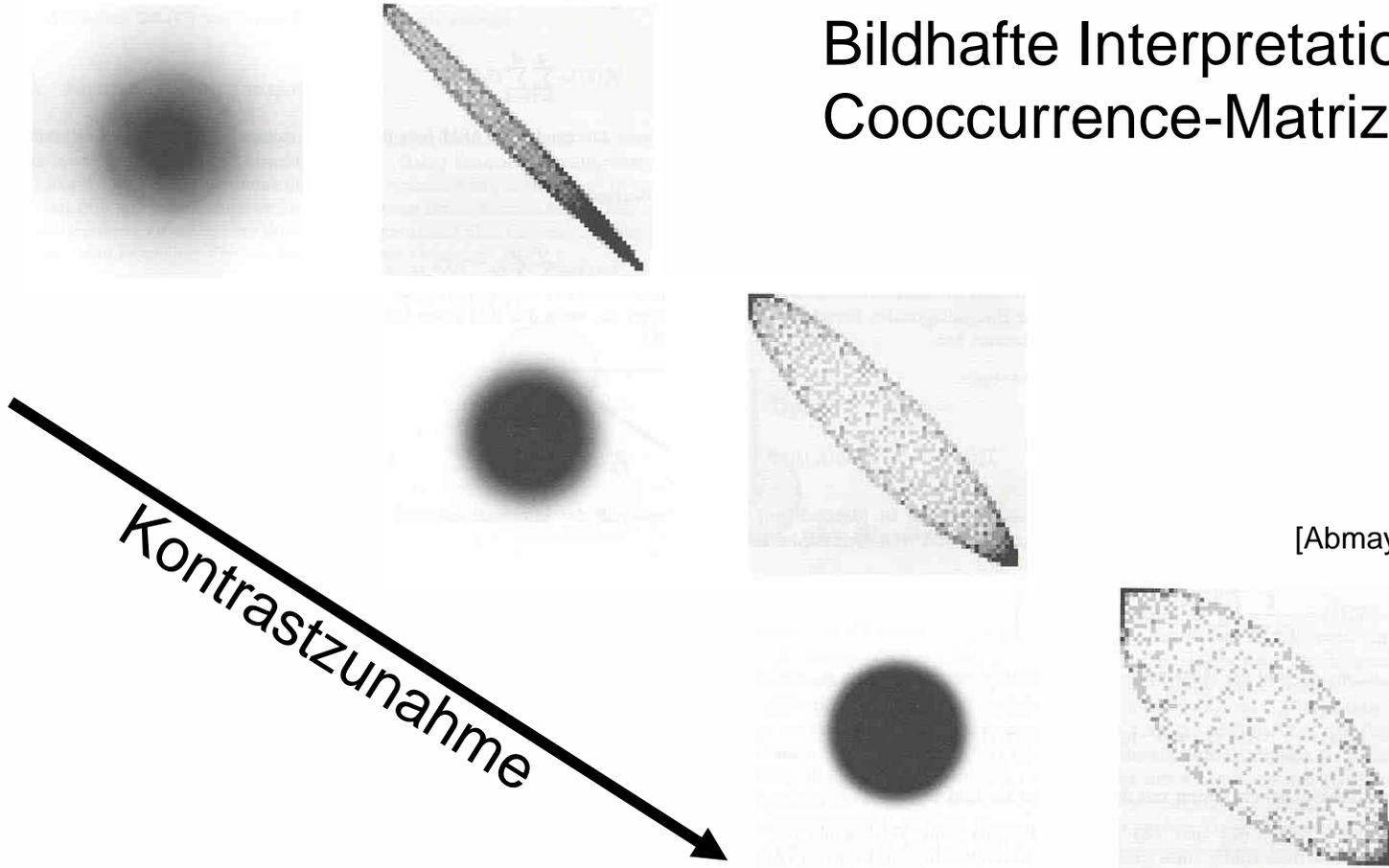
$$f_2 = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j)$$

$\mu_m, \mu_n, \sigma_m, \sigma_n$  Mittelwerte und Standardabweichung von  $p_m$  und  $p_n$

$$p_m(i) = \sum_j p(i, j) \text{ bzw. } p_n(j) = \sum_i p(i, j)$$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

Bildhafte Interpretation der  
Cooccurrence-Matrizen



[Abmayr 94], S. 32

# Statistische Verfahren (Auswahl)

- Punkt-basierte Statistik n-ter Ordnung (i.d.R. [Galloway 1975]  
Grauwertauflängen)
  - beschreibt die Anzahl der Bildpunkte, die bzgl. einer Richtung  $\Theta$   $k$  Nachbarpunkte (mit GW  $G$ ) aufweisen
  - $N_g$  Anzahl der GW,  $N_r$  Anzahl der unterschied-lichen Lauflängen
  - $\alpha$  Richtung, in der der Lauf betrachtet wird
  - Ein Run-Length-Matrix  $M_{g|ri}(\alpha)$  hat die Dimension  $N_g \times N_r$
  - $p(i,j)$  ist die Anzahl der GW-Läufe mit GW  $i$  und Länge  $j$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Galloway 1975]

short run emphasis

$$RF_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} \frac{p(i, j)}{j^2}}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

long run emphasis

$$RF_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j) j^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

gray level nonuniformity

$$RF_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \left( \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j) \right)^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

runlengthnonuniformity

$$RF_4 = \frac{\sum_{j=1}^{N_r} \left( \sum_{i=1}^{N_g} p(i, j) \right)^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

run percentage

$$RF_5 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}{P}$$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Laws 1979/1980]

- Filter-basierte Verfahren
  - Faltungsmasken in verschiedenen Formen
  - Berechnung von Texturenergie
  - Definition von 1D-Faltungsmasken für
    - Levels –  $L$  (3x3 und 5x5)
    - Edges –  $E$  (3x3 und 5x5)
    - Spots –  $S$  (3x3 und 5x5)
    - Waves –  $W$  (5x5)
    - Ripple –  $R$  (5x5)
  - $L3 = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \end{matrix}$
  - $E3 = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \end{matrix}$
  - $S3 = \begin{matrix} -1 & 2 & -1 \end{matrix}$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

- Kombinationen für 3x3 Faltungsmasken: [Laws 1979/1980]

1	2	1
2	4	2
1	2	1

*L3L3*

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

*L3E3*

-1	2	-1
-2	4	-2
-1	2	-1

*L3S3*

-1	2	-1
0	0	0
1	2	1

*E3L3*

1	0	-1
0	0	0
-1	0	1

*E3E3*

1	-2	-1
0	0	0
-1	2	-1

*E3S3*

-1	-2	-1
2	4	2
-1	-2	-1

*S3L3*

-1	0	-1
-2	0	-2
-1	0	-1

*S3E3*

1	-2	1
-2	4	-2
1	-2	1

*S3S3*

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Laws 1979/1980]

➤ Kombinationen für 5x5 Faltungsmasken:

➤  $L5 =$                     1   4   6   4   1  
 ➤  $E5 =$                     -1 -2   0   2   1  
 ➤  $S5 =$                     -1   0   2   0 -1  
 ➤  $W5 =$                     -1   2   0 -2   1  
 ➤  $R5 =$                     1 -4   6 -4   1

-1	-2	0	2	1
-4	-8	0	8	4
-6	-12	0	12	6
-4	-8	0	8	4
-1	-2	0	2	1

 $L5E5$ 

-1	0	2	0	-1
-2	0	4	0	-2
0	0	0	0	0
2	0	-4	0	2
1	0	-2	0	1

 $E5S5$ 

-1	0	2	0	-1
-4	0	8	0	-4
-6	0	12	0	-6
-4	0	8	0	-4
-1	0	2	0	-1

 $L5S5$ 

1	-4	6	-4	1
-4	16	-24	16	-4
6	-24	36	-24	6
-4	16	-24	16	-4
1	-4	6	-4	1

 $R5R5$

# Statistische Verfahren (Auswahl)

[Laws 1979/1980]

- Jede Faltung ergibt Zwischenbild  $Z_n$
- Für 3x3-Masken ergeben sich neun Zwischenbilder
- Energie berechnet sich zu

$$E(x, y) = \sqrt{(Z_1(x, y))^2 + (Z_2(x, y))^2 + \dots + (Z_9(x, y))^2}$$

- Zur Segmentierung besser geeignet als Statistiken  
*2-ter* Ordnung

# Statistische Verfahren (Auswahl)



TZI | Center for Cognitive Technology  
University of Bremen, Germany

# Statistische Verfahren (Auswahl)



-1	0	2	0	-1
-2	0	4	0	-2
0	0	0	0	0
2	0	-4	0	2
1	0	-2	0	1

*E5S5*

# Statistische Verfahren (Auswahl)



-1	-2	0	2	1
-4	-8	0	8	4
-6	-12	0	12	6
-4	-8	0	8	4
-1	-2	0	2	1

*LSE5*

# Statistische Verfahren (Auswahl)



-1	0	2	0	-1
-4	0	8	0	-4
-6	0	12	0	-6
-4	0	8	0	-4
-1	0	2	0	-1

*L5S5*

# Statistische Verfahren (Auswahl)



1	-4	6	-4	1
-4	16	-24	16	-4
6	-24	36	-24	6
-4	16	-24	16	-4
1	-4	6	-4	1

*R5R5*

# Statistische Verfahren (Auswahl)

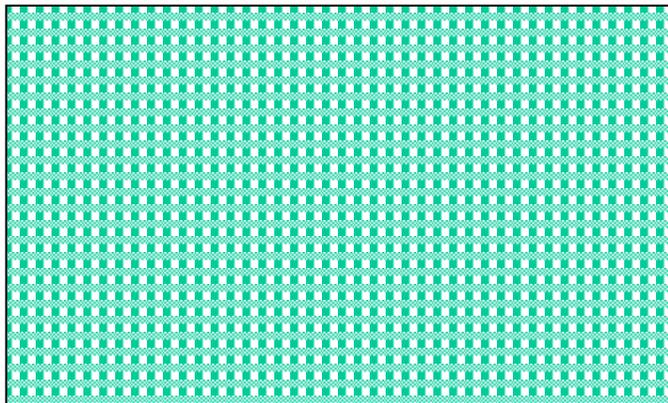
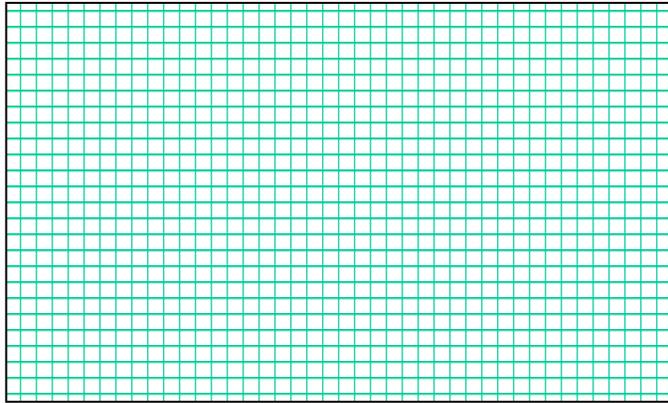


$$E(x, y) = \sqrt{\begin{matrix} (Z_1(x, y))^2 \\ + (Z_2(x, y))^2 \\ + (Z_3(x, y))^2 \\ + (Z_4(x, y))^2 \end{matrix}}$$

# Strukturelle Verfahren (Auswahl)

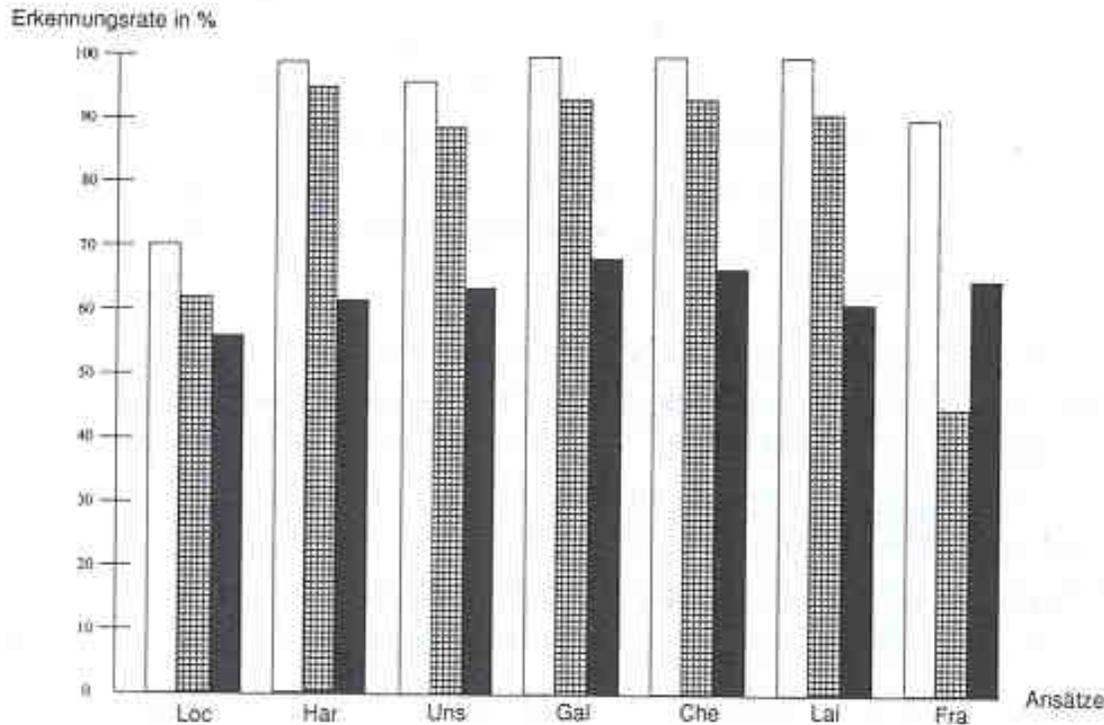
- Beschreibung von Texturen durch
  - sog. Texel (texture elements) und
  - Aufbauregeln
- Besonders geeignet, um deterministische Texturen zu beschreiben
- Unterteilung in
  - Verfahren zur Texel-Extraktion
  - Verfahren, die Texturen aus Texel bestimmen
  - Verfahren, die sowohl Texel-Extraktion als auch Bestimmung von Aufbauregeln behandeln

# Strukturelle Verfahren (Auswahl)



- Textel-Extraktion
  - Kanten-basiert
    - Textel lassen sich durch signifikanten (Teil-) Konturen bestimmen
  - Bereichs-basiert
    - Textel als Areal homogener Grauwerte

# Texturanalyseverfahren im Vergleich



[Wagner 96]

# Zusammenfassung

- Definition ist (meist) abhängig von Anwendung
- Wahrnehmung im Kontext, sonst auch Fehlklassifikationen
- Grobe Unterscheidung in:
  - statistisch/stochastisch
    - rein stochastisch
    - Punkt-basierte Statistiken n-ter Ordnung
    - Globale Statistiken
    - Filter-basierte (lokale)
  - strukturelle Verfahren
    - Strukturierende Elemente (Texel)
    - Aufbauregeln