



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

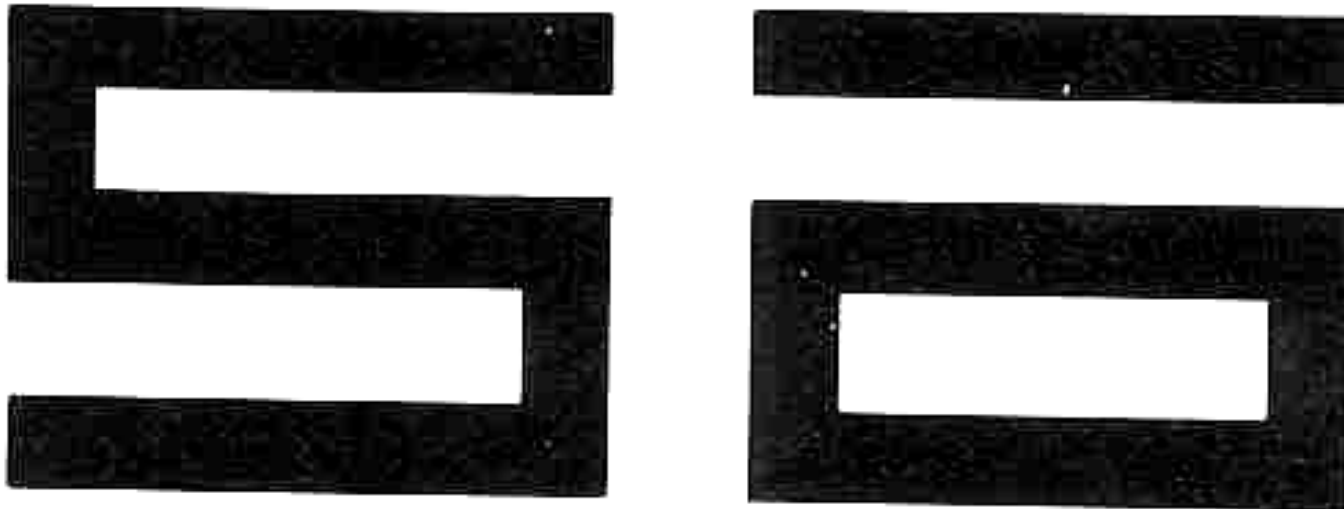
- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
 - Was ist Farbe?
 - Farbmodelle
 - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

Textur

- ▶ Definition des Begriffs Textur
- ▶ Experiment: Texturwahrnehmung und Kontext
- ▶ Beschreibung von Texturen
- ▶ Bestimmung visueller Textureigenschaften (Beispiele)
- ▶ Texturwahrnehmung
- ▶ Statistische Verfahren der Texturanalyse
- ▶ Textursegmentierung
- ▶ Zusammenfassung

Texturwahrnehmung

- ▶ Präattentive vs. attentive Wahrnehmung [Julesz 86]

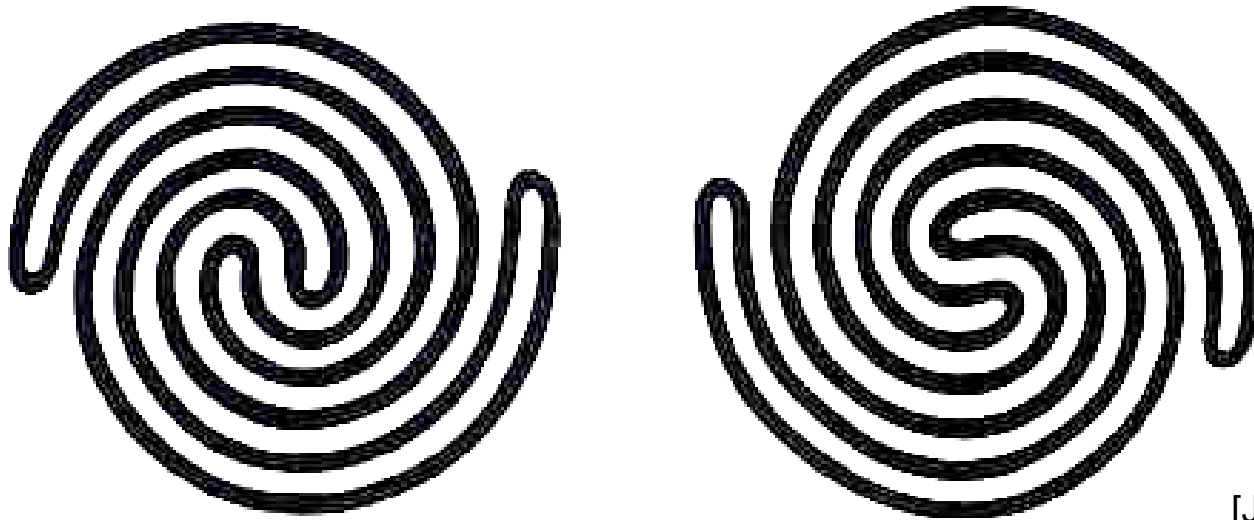


- ▶ Unterscheidung durch reine Wahrnehmung (präattentiv), ohne kognitive Prozesse möglich

[Julesz 86], S. 49

Texturwahrnehmung

- ▶ Präattentive vs. attentive Wahrnehmung (Julesz et al.)



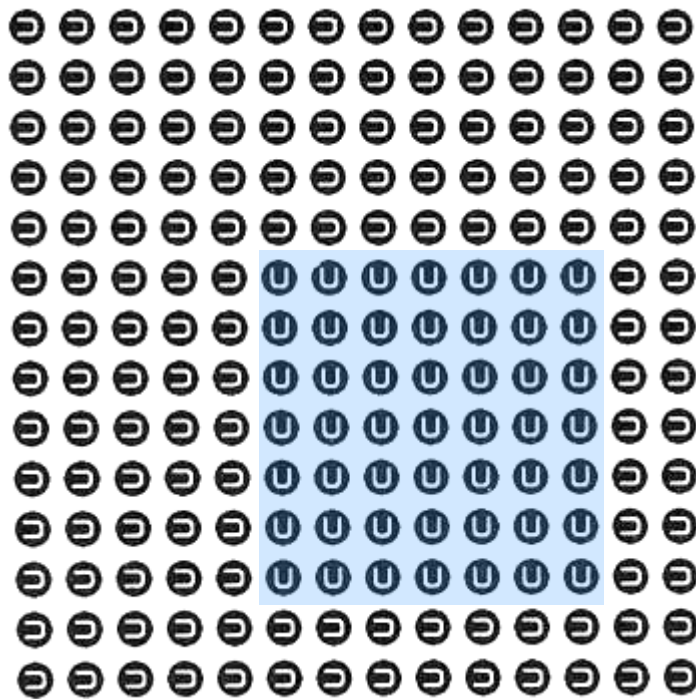
[Julesz 86], S. 49

- ▶ Links: durchgehende Linie, rechts: zwei Linien
- ▶ Unterscheidung nur durch kognitive Prozesse möglich

Texturwahrnehmung

- ▶ Wahrnehmungspsychologische Experimente von Julesz et al.
 - Erkenntnisse über die Aussagekraft von Statistiken einer bestimmten Ordnung
 - Konstruktion von Testbildern, die bestimmte statistische Eigenschaften haben
 - Versuche mit Testpersonen, mit dem Ziel verschiedene Texturen in den Bildern zu unterscheiden
 - Auch hierbei: Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung

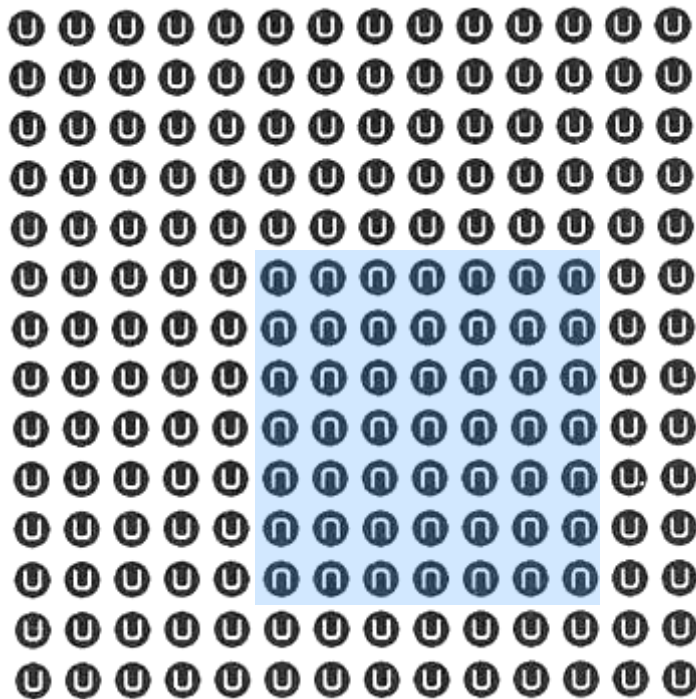
Texturwahrnehmung



[Julesz 86], S. 51

- ▶ Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung
 - Statistiken erster Ordnung sind gleich
 - Statistiken zweiter Ordnung sind unterschiedlich
 - Texturen sind einfach zu unterscheiden
 - Grenzen sind leicht zu erkennen

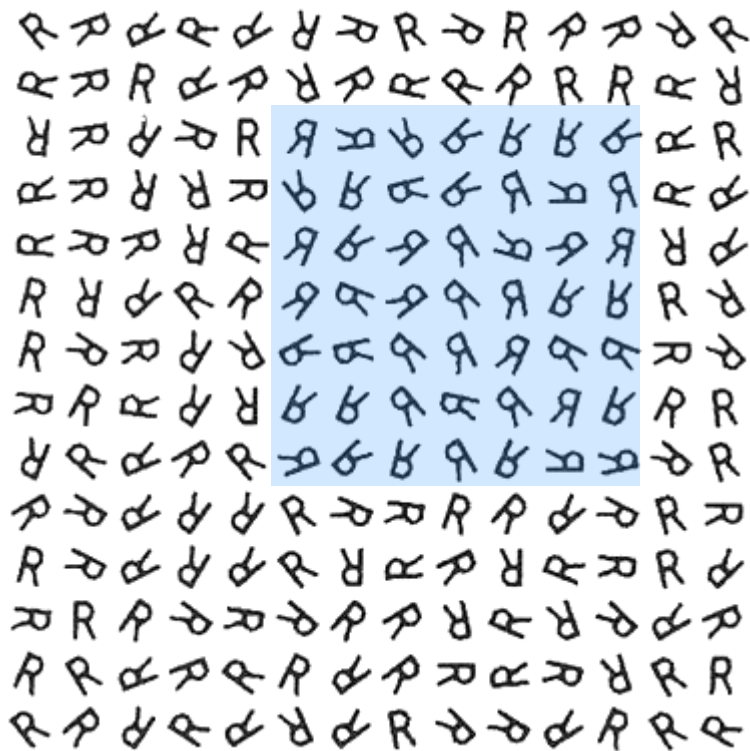
Texturwahrnehmung



[Julesz 86], S. 51

- ▶ Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung
 - Statistiken erster Ordnung sind gleich
 - Statistiken zweiter Ordnung ebenfalls gleich
 - Texturen sind schlecht zu unterscheiden
 - Grenzen sind sehr schwer zu erkennen

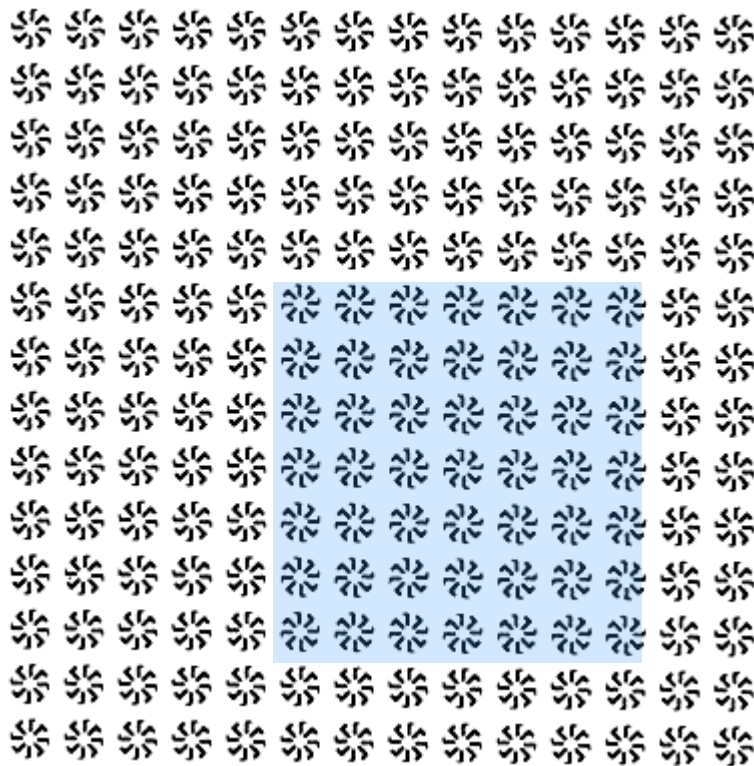
Texturwahrnehmung



[Julesz 86], S. 52

- ▶ Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung
 - Statistiken erster Ordnung sind gleich
 - Statistiken zweiter Ordnung ebenfalls gleich
 - Texturen sind schlecht zu unterscheiden
 - Erst bei genauem Hinsehen fallen die spiegelverkehrten R auf

Texturwahrnehmung



- ▶ Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung
 - Statistiken erster Ordnung sind gleich
 - Statistiken zweiter Ordnung ebenfalls gleich
 - Texturen sind schlecht zu unterscheiden
 - Erst bei genauem Hinsehen fällt die wechselnde Orientierung der Flügel der Räder auf

[Julesz 86], S. 52

Texturwahrnehmung



[Julesz 86], S. 51

- ▶ Attentive vs. prä-attentive Wahrnehmung
 - Oberes Bild
 - Statistiken erster und zweiter Ordnung gleich, Statistiken dritter Ordnung verschieden
 - Schwer zu unterscheiden
 - Unteres Bild
 - Statistiken erster Ordnung gleich, Statistiken zweiter Ordnung verschieden
 - Leichte Unterscheidung

Texturwahrnehmung

- ▶ Ergebnisse der wahrnehmungspsychologischen Experimente von Julesz et al.
 - Texturen mit unterschiedlichen Statistiken *zweiter* Ordnung lassen sich gut unterscheiden
 - (Globale) Statistiken *erster* Ordnung sind nicht geeignet, um Texturen zu unterscheiden (lokale schon!)
 - Höhere (>2) Ordnungen haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Unterscheidung
- ▶ Gleiche Statistiken *n-ter* Ordnung implizieren auch gleiche Statistiken *erster* bis *(n-1)-ter* Ordnung

Textur

- ▶ Definition des Begriffs Textur
- ▶ Experiment: Texturwahrnehmung und Kontext
- ▶ Beschreibung von Texturen
- ▶ Bestimmung visueller Textureigenschaften (Beispiele)
- ▶ Texturwahrnehmung
- ▶ Statistische Verfahren der Texturanalyse
- ▶ Textursegmentierung
- ▶ Zusammenfassung

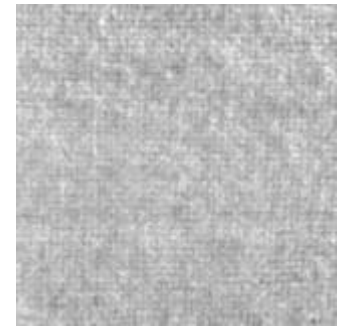
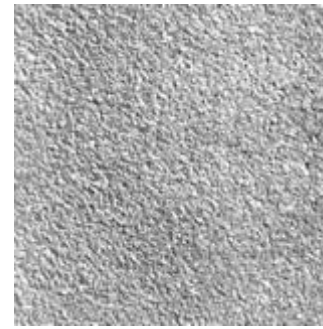
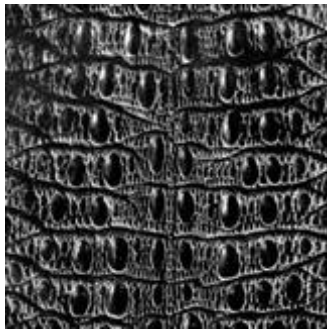
Statistische Texturmerkmale

► Punktbasierte Statistiken **erster** Ordnung, Betrachtung **einzelner** Punkte

- Mittelwert $\mu = \sum_{x=0}^{G-1} x \cdot h(x)$
- Varianz $\sigma^2 = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^2 \cdot h(x)$
- Entropie $\varepsilon = - \sum_{x=0}^{G-1} h(x) \log(h(x))$
- Schiefe $M_3 = \sum_{x=0}^{G-1} (x - \mu)^3 \cdot h(x)$
- $h(x)$ relatives Histogramm, G = Anzahl Grauwerte

Statistische Texturmerkmale

- Punktbasierte Statistiken erster Ordnung: Beispiel Texturen aus [Brodatz 99]



Name	Min	Max	Mittelwert	Varianz	Entropie	Schiefte
d010	0	255	60,35	5652,92	4,51	546025,45
d031	0	235	116,82	6273,82	4,76	-165252,10
d004	25	255	169,90	2625,37	5,17	-10874,07
d019	118	248	187,00	291,38	4,23	989,76

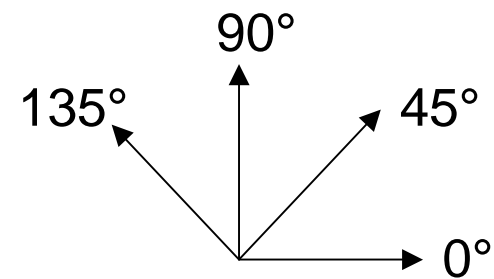
Statistische Texturmerkmale

- ▶ Cooccurrence Matrizen [Haralick 73]
- ▶ Annahmen
 - Information steckt in der Beziehung zwischen benachbarten Punkten, die durch Grauwerte repräsentiert werden
- ▶ Folgerung
 - Information kann adäquat durch eine (oder mehrere) Matrizen spezifiziert werden
 - In den Matrizen ist die relative Häufigkeit P_{ij} eingetragen, mit der Punktepaaire mit den Grauwerten i und j im Bild vorkommen

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen [Haralick 73]

- Punktbasierte Statistik **zweiter** Ordnung (Betrachtung von Punktpaaren)
- Zweidimensionales Histogramm $P(i, j, d, a)$ gibt die relative Häufigkeit für Punktpaare mit folgenden Eigenschaften an:
 - Abstand d und Winkel a zwischen den Punkten
 - ein Punkt hat den Grauwert i
 - der andere Punkt hat den Grauwert j
- Berechnung für vier Richtungen (0° , 45° , 90° und 135°)
- Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Abstand $d = 1$ (direkt benachbarte Pixel) genügt



Statistische Texturmerkmale

- ▶ Cooccurrence Matrizen – Grundlagen und Definitionen
 - Bild E habe die Dimension N_x (horizontal) und N_y (vertikal), sowie N_g Grauwerte
 - Horizontale räumliche Ausdehnung $L_x = \{0, 1, \dots, N_x-1\}$ bzw. vertikale $L_y = \{0, 1, \dots, N_y-1\}$ und $G = \{0, 1, \dots, N_g-1\}$ ist Menge der Grauwerte
 - Bild E als Funktion, die einer Zelle aus $L_x \times L_y$ einen Grauwert aus G zuweist

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

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Grauwert 1 = 1
Grauwert 2 = 2

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Grauwert 1 = 1
Grauwert 2 = 2

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Grauwert 1 = 2
Grauwert 2 = 3

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Grauwert 1 = 2
Grauwert 2 = 3

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
2	0	1	0	1	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

	0	1	2	3	4
0	0	1	0	1	0
1	1	0	6	2	3
2	0	6	0	5	2
3	1	2	5	0	0
4	0	3	2	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a=0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

- Normierung der absoluten Häufigkeiten mit der Anzahl der Bildpunktpaare
- Normierungsfaktoren:
 - $0^\circ: 2N_y(N_x - d)$
 - $90^\circ: 2N_x(N_y - d)$
 - 45° und $135^\circ: 2(N_y - d)(N_x - d)$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Normieren durch
Anzahl der Einträge:

$$0^\circ: 2 \cdot N_y \cdot (N_x - d)$$

$$0^\circ: 2 \cdot 5 \cdot (5 - 1)$$

$$0^\circ: 40$$

	0	1	2	3	4
0	0	0,025	0	0,025	0
1	0,025	0	0,15	0,05	0,075
2	0	0,15	0	0,125	0,05
3	0,025	0,05	0,125	0	0
4	0	0,075	0,05	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a = 0^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Normieren durch
Anzahl der Einträge:

$$135^\circ: 2 \cdot (N_y - d) \cdot (N_x - d)$$

$$135^\circ: 2 \cdot (5 - 1) \cdot (5 - 1)$$

$$135^\circ: 32$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	1
1	0	0	4	3	3
2	0	4	4	1	1
3	0	3	1	2	0
4	1	3	1	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a = 135^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen

1	2	3	0	1
2	4	2	1	4
1	3	2	1	4
1	2	3	1	2
2	3	2	1	4

Normieren durch
Anzahl der Einträge:

$$135^\circ: 2 \cdot (N_y - d) \cdot (N_x - d)$$

$$135^\circ: 2 \cdot (5 - 1) \cdot (5 - 1)$$

$$135^\circ: 32$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0,031
1	0	0	0,125	0,094	0,094
2	0	0,125	0,125	0,031	0,031
3	0	0,094	0,031	0,063	0
4	0,031	0,094	0,031	0	0

► Rechenbeispiel mit $d = 1$, $a = 135^\circ$

- Bild E mit den Dimension $N_x = N_y = 5$, $N_g = 5$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen (absolute Häufigkeiten)

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

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

- Dabei berechnet # die Anzahl der Elemente der Menge

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen (absolute Häufigkeiten)

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

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

- Dabei berechnet # die Anzahl der Elemente der Menge

Statistische Texturmerkmale

- ▶ Richtungsunabhängige Cooccurrence Matrix
 - Elementweises Zusammenfassen der Ergebnisse durch Bildung des Mittelwertes über die vier Richtungen bei gleichem Abstand d

$$p = \frac{(p_{0^\circ} + p_{45^\circ} + p_{90^\circ} + p_{135^\circ})}{4}$$

Statistische Texturmerkmale

► Cooccurrence Matrizen – Statistische Merkmale (Auswahl)

- ASM (Angular Second Moment, Energie)

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

- Ein Maß für die Energie im Bild bzw. für die Homogenität der Textur

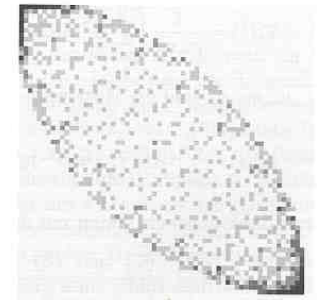
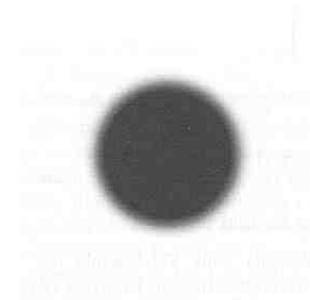
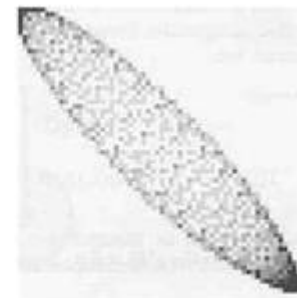
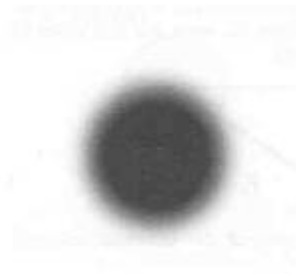
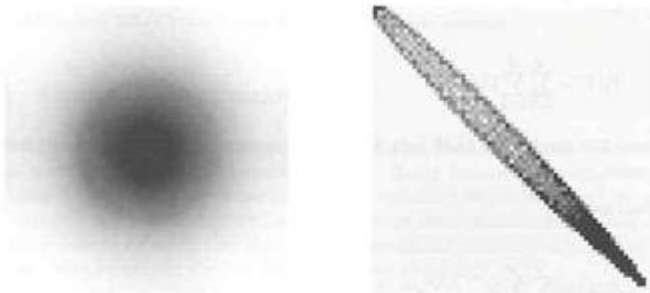
- Kontrast:
$$f_2 = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j)$$

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

- Ein Maß für den Informationsgehalt

Statistische Texturmerkmale

- ▶ Cooccurrence Matrizen – Bildhafte Interpretation

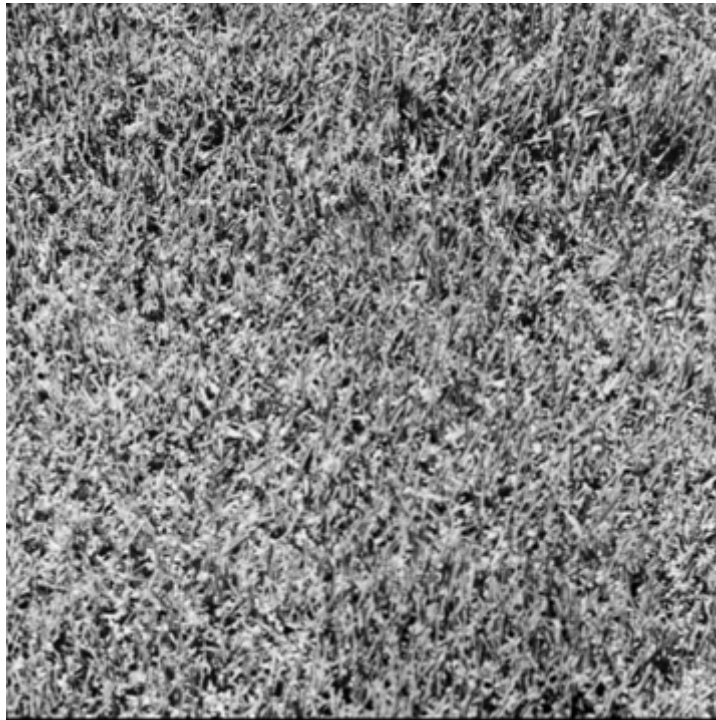


[Abmayr 94], S. 32

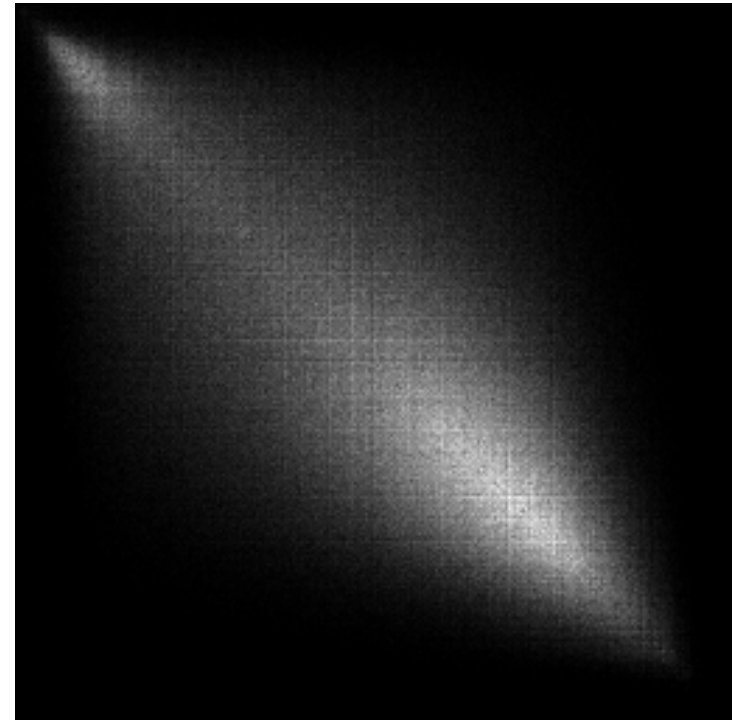
Kontrastzunahme

Statistische Texturmerkmale

- Bildhafte Darstellung der Cooccurrence-Matrix

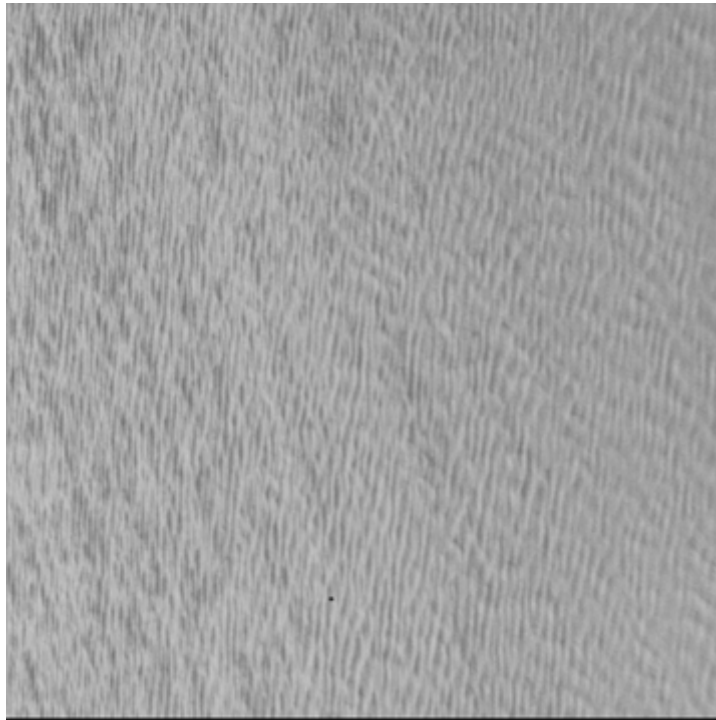


[Brodatz 99]



Statistische Texturmerkmale

- Bildhafte Darstellung der Cooccurrence-Matrix



[Brodatz 99]



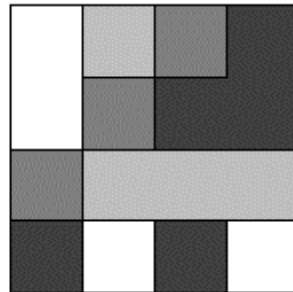
Statistische Texturmerkmale

- ▶ Grauwertlauflängen [Galloway 75]
 - Punkt-basierte Statistik ***n*-ter** Ordnung (Betrachtung von ***n*** Punkten)
 - Berechnung von Run-Length-Matrizen $M_{glrl}(\alpha)$ der Dimension $N_g \times N_r$
 - Beschreibt die Anzahl der Bildpunkte, die bzgl. einer Richtung α k Nachbarpunkte mit gleichem Grauwert G aufweisen
 - N_g Anzahl der unterschiedenen Grauwerte
 - N_r Anzahl der unterschiedenen Lauflängen
 - α Richtung, in der der Lauf betrachtet wird
 - $p(i,j)$ ist die Anzahl der Grauwert-Läufe mit Grauwert i und Länge j

Statistische Texturmerkmale

► Grauwertlauflängen [Galloway 75] – einfaches Beispiel

0	1	2	3
0	2	3	3
2	1	1	1
3	0	3	0



$$M_{glrl}(0^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{glrl}(45^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{glrl}(90^\circ) = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{glrl}(135^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- Spalte: Länge des Laufes (hier 1...4)
- Zeile: Grauwert (hier 4 Grauwerte 0...3)

Statistische Texturmerkmale

► Grauwertlauflängen [Galloway 75] – Merkmale

- Short runs emphasis (Betonung kurzer Läufe)

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

Anzahl Lauflänge
teilen durch Quadrat
der Länge

- Long runs emphasis (Betonung langer Läufe)

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

Anzahl Lauflänge
multiplizieren mit
Quadrat der Länge

- $p(i, j)$ Matriceintrag an Position (i, j) , N_g maximale Anzahl Grauwerte, N_r maximale Lauflänge

Statistische Texturmerkmale

► Grauwertlauflängen [Galloway 75] – Merkmale

- Grey level nonuniformity (ungleichmäßige Grauwerte)

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

Quadrieren der
Summe der Läufe pro
Grauwert

- Run length nonuniformity (ungleichmäßige Lauflängen)

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

Quadrieren der
Summe der Läufe pro
Lauflänge

- $p(i, j)$ Matriceintrag an Position (i, j) , N_g maximale Anzahl Grauwerte, N_r maximale Lauflänge

Statistische Texturmerkmale

- ▶ Grauwertlauflängen [Galloway 75] – Merkmale
 - Run percentage (prozentuale Anzahl der Läufe)

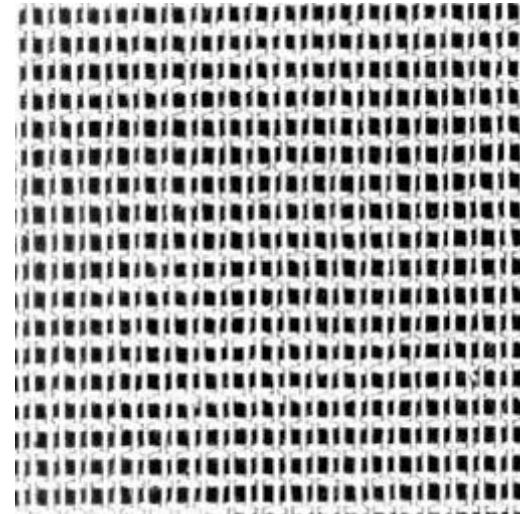
$$RF_5 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}{P}$$

Anzahl aller Läufe
geteilt durch Anzahl
Bildpunkte

- $p(i,j)$ Matriceintrag an Position (i,j) , N_g maximale Anzahl Grauwerte, N_r maximale Lauflänge, P Anzahl Punkte

Statistische Texturmerkmale

► Grauwertlauflängen [Galloway 75] – Beispiel

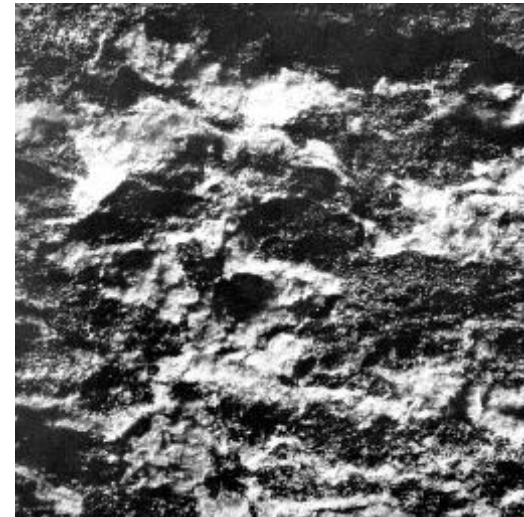


[Brodatz 99]

	0°	45°	90°	135°	Mittelwert
short runs emphasis	0.770041599	0.768595195	0.788458350	0.773928904	0.775256012
long runs emphasis	0.008633510	0.005950797	0.014934717	0.005862513	0.008845384
grey level nonunif.	0.062808593	0.075589882	0.047371678	0.081214837	0.066746247
run length nonunif.	0.294778584	0.311658502	0.276279266	0.320257937	0.300743572
run percentage	0.526275635	0.558498383	0.473964691	0.567390442	0.531532288

Statistische Texturmerkmale

- Grauwertlauflängen
[Galloway 75] – Beispiel



[Brodatz 99]

	0°	45 °	90°	135°	Mittelwert:
short runs emphasis	0.884824762	0.896089541	0.891857422	0.901928233	0.893674990
long runs emphasis	0.002257150	0.002008966	0.002069839	0.001837006	0.002043240
grey level nonunif.	0.063096620	0.064556603	0.064320852	0.065401653	0.064343932
run length nonunif.	0.603115275	0.636527077	0.624420723	0.655384268	0.629861836
run percentage	0.811912537	0.832298279	0.825435638	0.844135284	0.828445435

Textur

- ▶ Definition des Begriffs Textur
- ▶ Experiment: Texturwahrnehmung und Kontext
- ▶ Beschreibung von Texturen
- ▶ Bestimmung visueller Textureigenschaften (Beispiele)
- ▶ Texturwahrnehmung
- ▶ Statistische Verfahren der Texturanalyse
- ▶ Textursegmentierung
- ▶ Zusammenfassung

Textursegmentierung – Laws Filter

► Filterbasierte Verfahren: Laws Filtermasken [Laws 79]

- 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)

1D Masken Größe 3

- $L3 =$ 1 2 1
- $E3 =$ -1 0 1
- $S3 =$ -1 2 -1

Textursegmentierung - Laws Filter

- ▶ Berechnung von 2D Filtermasken aus 1D Masken durch Multiplikation
 - Beispiel: Kombination von $L3 = 1 \ 2 \ 1$ und $E3 = -1 \ 0 \ 1$

$$L3E3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Laws Filtermasken, Größe 3x3

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

Laws Filtermasken, Größe 5x5

► Laws Filter, 1D, Größe 5

- $L5 =$ $\begin{matrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{matrix}$
- $E5 =$ $\begin{matrix} -1 & -2 & 0 & 2 & 1 \end{matrix}$
- $S5 =$ $\begin{matrix} -1 & 0 & 2 & 0 & -1 \end{matrix}$
- $W5 =$ $\begin{matrix} -1 & 2 & 0 & -2 & 1 \end{matrix}$
- $R5 =$ $\begin{matrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \end{matrix}$

► Kombination zu 5x5 Filtern (Beispiele):

-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

$R5R5$

Laws Textureenergie

- ▶ Jede Faltung ergibt Zwischenbild Z_n
- ▶ Für die 3x3-Masken ergeben sich $n=9$ Zwischenbilder
- ▶ Für die 5x5-Masken ergeben sich $n=25$ Zwischenbilder
- ▶ Gewinnung von Texturenergiebildern durch Mittelwertbildung über die Absolutwerte in einer 15 x 15 Nachbarschaft

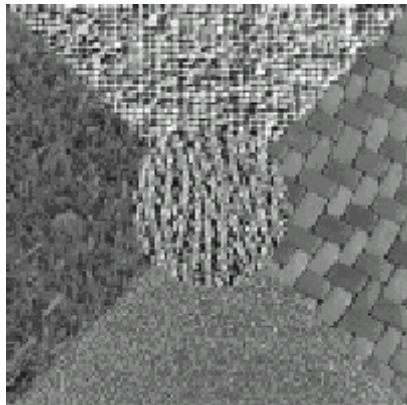
Texturesegmentierung – Laws Filter

- ▶ Basis für die Segmentierung ist eine Kombination mehrerer Texturenergiebilder:

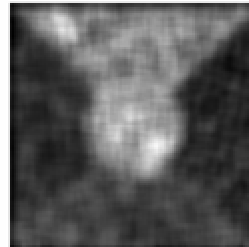
$$E(x, y) = \sqrt{(Z_1(x, y))^2 + (Z_2(x, y))^2 + \dots + (Z_n(x, y))^2}$$

- ▶ Ergebnis wird vor der Segmentierung noch mit einem 7 x 7 Glättungsfilter geglättet
- ▶ Texturenergiebilder sind zur Segmentierung besser geeignet als Statistiken zweiter Ordnung
- ▶ Z.B. bereichsbasierte Segmentierung des Energiebildes

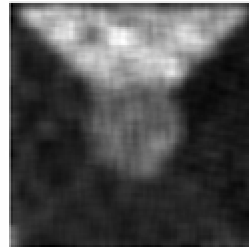
Laws Textureenergie – Beispiel 3x3



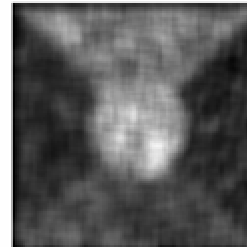
Originalbild



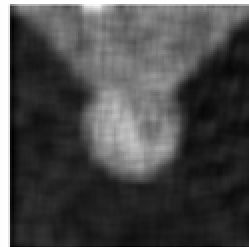
lawsE3E3.bmp



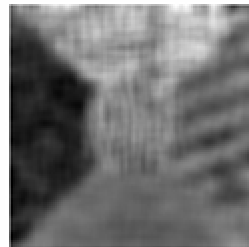
lawsE3L3.bmp



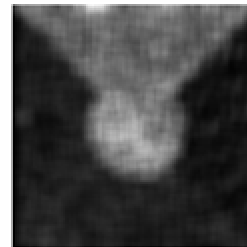
lawsE3S3.bmp



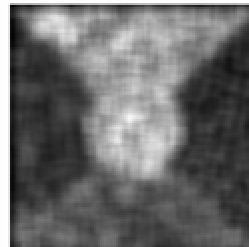
lawsL3E3.bmp



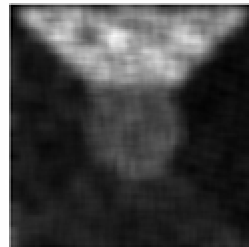
lawsL3L3.bmp



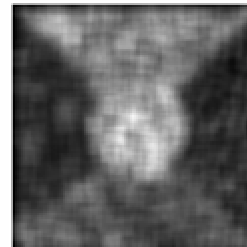
lawsL3S3.bmp



lawsS3E3.bmp



lawsS3L3.bmp



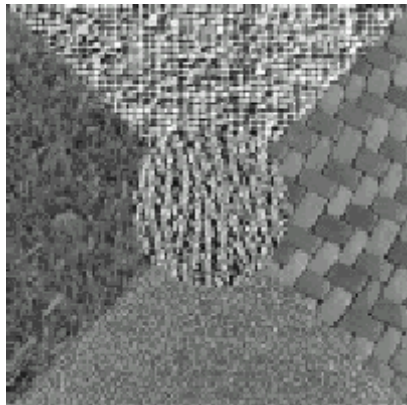
lawsS3S3.bmp



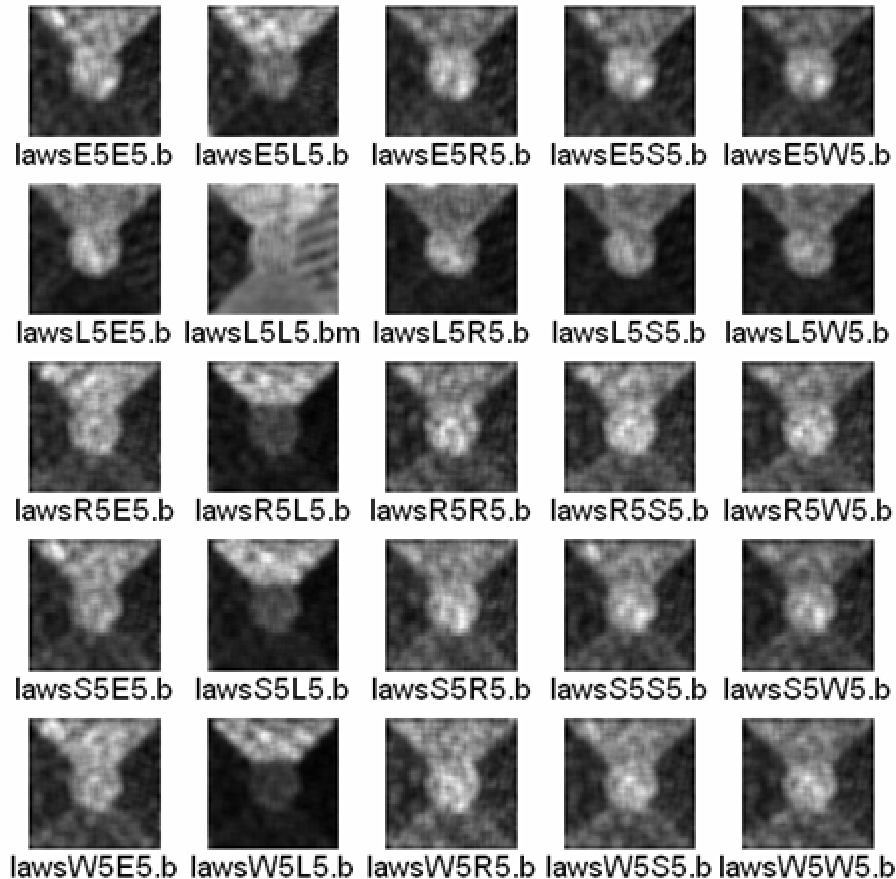
Kombination aller
neun Energiebilder

Bildquelle Originalbild: http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/ni/projects/percgroup/media/texture_.gif

Laws Textureenergie – Beispiel 5x5



Originalbild



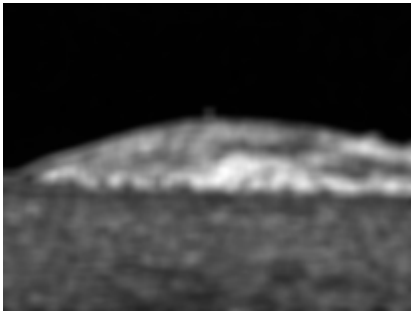
Kombination aller
25 Energiebilder

Bildquelle Originalbild: http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/ni/projects/percgroup/media/texture_.gif

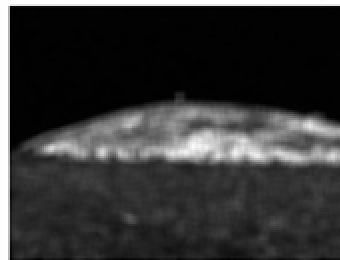
Laws Textureenergie – Beispiel 3x3



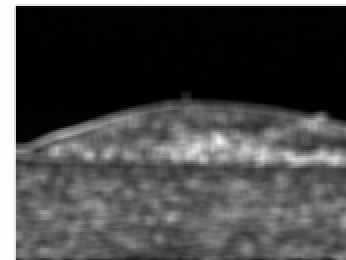
Originalbild



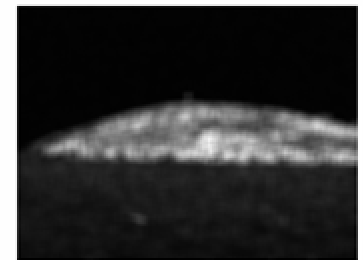
Kombination aus acht
Energiebilder (ohne L3L3)
L3L3 misst Kontrast



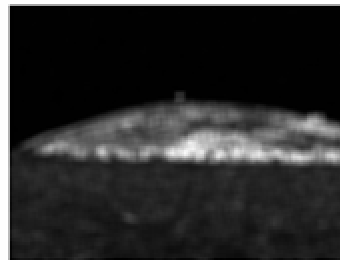
lawsE3E3.bmp



lawsE3L3.bmp



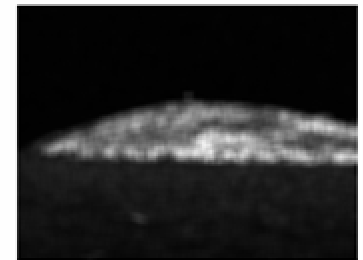
lawsE3S3.bmp



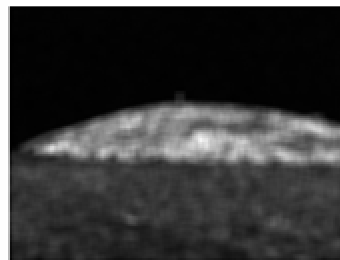
lawsL3E3.bmp



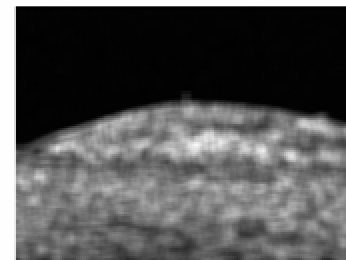
lawsL3L3.bmp



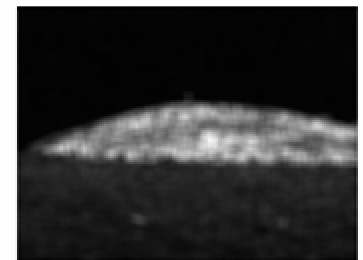
lawsL3S3.bmp



lawsS3E3.bmp



lawsS3L3.bmp

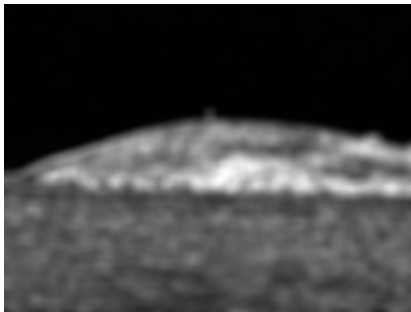


lawsS3S3.bmp

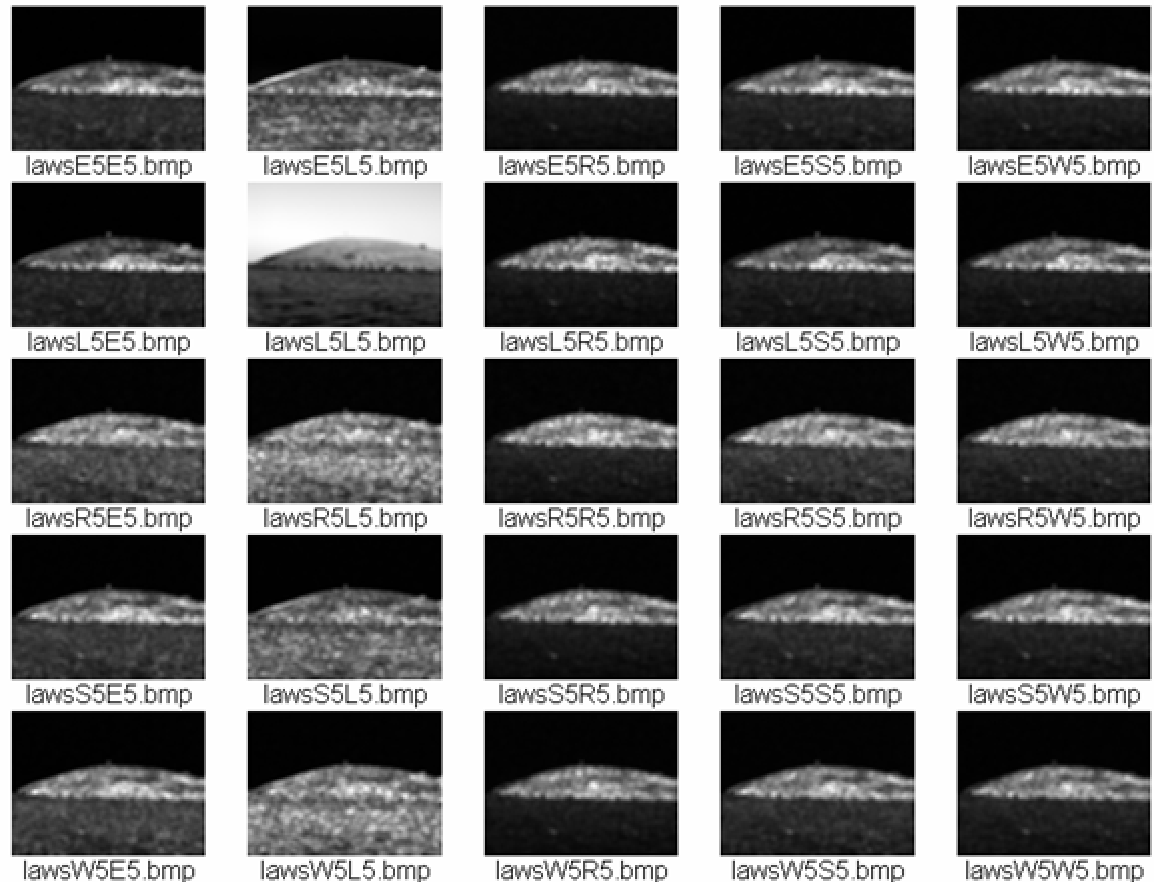
Laws Textureenergie – Beispiel 5x5



Originalbild



Kombination aus acht
Energiebilder (ohne L5L5)
L3L3 misst Kontrast



Textur

- ▶ Definition des Begriffs Textur
- ▶ Experiment: Texturwahrnehmung und Kontext
- ▶ Beschreibung von Texturen
- ▶ Bestimmung visueller Textureigenschaften (Beispiele)
- ▶ Texturwahrnehmung
- ▶ Statistische Verfahren der Texturanalyse
- ▶ Textursegmentierung
- ▶ Zusammenfassung

Zusammenfassung (1)

- ▶ Textur beschreibt die Oberflächenbeschaffenheit, wobei im Bild häufig mehr oder minder geordnete Muster aus Grauwerten zu beobachten sind
- ▶ Menschen klassifizieren Texturen im Kontext
- ▶ Visuelle Eigenschaften wie z.B. Grobheit, Kontrast, Regelmäßigkeit oder Gerichtetheit ermöglichen allgemeine Beschreibungen von Texturen
- ▶ Visuelle Eigenschaften können automatisch aus dem Bild extrahiert werden (Beispiele Gerichtetheit und Kontrast)
- ▶ Texturwahrnehmung: Texturen mit gleicher Statistik zweiter Ordnung werden als gleich, Texturen mit verschiedener Statistik 2. Ordnung als verschieden wahrgenommen

Zusammenfassung (2)

- ▶ Statistische Verfahren zur Texturbeschreibung
 - Die Ordnung eines statistischen Verfahrens gibt an, wie groß die Punktegruppe ist, auf die sich die Statistik bezieht
 - Statistiken erster Ordnung lassen sich aus dem relativen Histogramm ableiten und betrachten einzelne Punkte (z.B. Varianz)
 - Statistiken zweiter Ordnung betrachten Punktepaaire (z.B. Cooccurrence Matrizen)
 - Statistiken höherer Ordnung beziehen betrachten Beziehungen zwischen größeren Gruppen von Pixeln (z.B. Lauflängen)
- ▶ Zur Textursegmentierung werden häufig filterbasierte Verfahren eingesetzt (z.B. Laws Textureenergie)

Texturanalyse - Literatur

- ▶ [Abmayr 94] Abmayr, Wolfgang. *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. Teubner, 1994.
- ▶ [Brodatz 99] Phil Brodatz. Textures: A Photographic Album for Artists and Designers. Dover Publ. 1999.
- ▶ [Galloway 75] Galloway, Mary M. *Texture Analysis Using Gray Level Run Lengths*. Computer Graphics and Image Processing. Vol. 4, pp. 172-179, 1975.
- ▶ [Haralick 73] Haralick, R. M. and Shanmugam, K. and Dinstein, I. *Textural Features for Image Classification*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 3, No. 6, pp. 610-621, 1973.
- ▶ [Julesz 86] Julesz, B. *Texturwahrnehmung*. In Wahrnehmung und visuelles System. Seite 48-57. Spektrum der Wissenschaft. Verständliche Forschung. 1986.
- ▶ [Laws 79] Laws, K. Texture Energy Measures. In Proc. of DARPA Image Understanding Workshop, pp. 47-51, Los Angeles, CA, USA,, 1979.

Prüfungen

- ▶ Fragenbogen zu Prüfungsterminen wurde am Donnerstag, 11.01.07 verschickt
- ▶ Rückmeldung bis zum 28.01.07 erbeten
- ▶ Bisher schon ca. 55 % Rückmeldungen
- ▶ Bisher können alle Terminwünsche berücksichtigt werden
- ▶ Interesse an einer schriftlichen Prüfung bei ca. 1/3 der bisherigen Antworten