

Textur

Industrielle Bildverarbeitung, Vorlesung No. 14

M. O. Franz

Überblick

- 1 Farbquantisierung
- 2 Texturen und ihre Anwendungen
- 3 Texturanalyse durch Filterbänke
- 4 Statistiken von Bildmerkmalen und Klassifikation

Übersicht

- 1 **Farbquantisierung**
- 2 Texturen und ihre Anwendungen
- 3 Texturanalyse durch Filterbänke
- 4 Statistiken von Bildmerkmalen und Klassifikation

Farbquantisierung

Farbquantisierung: Auswahl einer beschränkten Menge von Farben zur möglichst getreuen Darstellung eines ursprünglichen Farbbildes (z.B. zur Erstellung eines Indexbildes oder zur Konversion von 24-Bit- auf 8-Bit-Farbbilder).

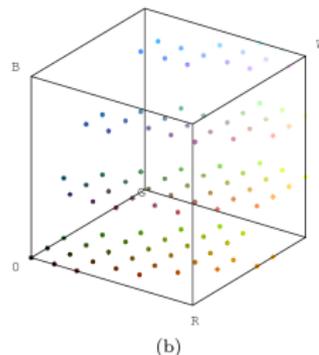
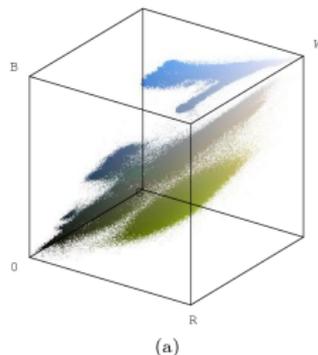
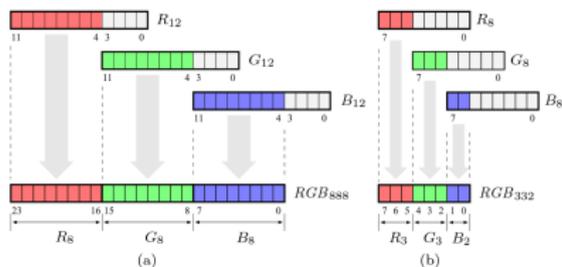
Techniken:

- Uniforme Quantisierung
- Vektorquantisierung (K-Means-Clustering)
- Populosity-Algorithmus
- Median-Cut-Algorithmus
- Octree-Algorithmus (s. Burger & Burge, 2006)

Uniforme Quantisierung

Uniforme Quantisierung: Aufteilung des Farbraumes in Gitter mit gleich großen Würfeln. Auswahl des Würfelmittelpunktes als Prototyp.

Das Verfahren berücksichtigt nicht die Farbhäufigkeiten im Bild (wäre ideal bei Gleichverteilung der Farben).



[Burger & Burger, 2006]

Reale Bilder weichen extrem stark von der Gleichverteilung ab.

Populosity-Algorithmus

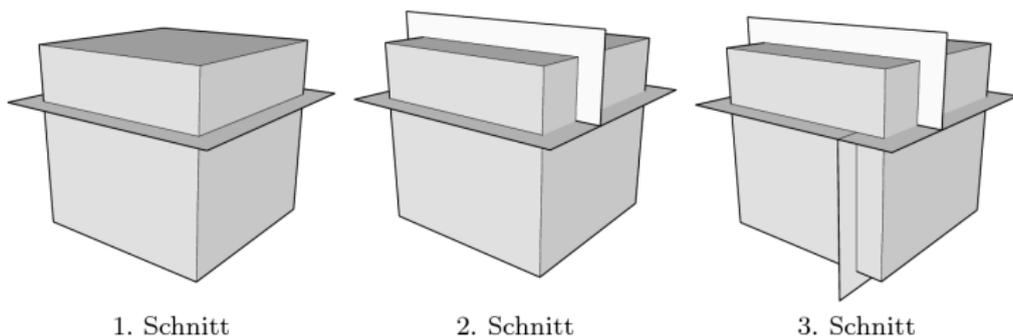
Populosity-Algorithmus: Als Prototypen werden die n häufigsten Farben verwendet. Jede Farbe im Ursprungsbild wird ihrem im Farbraum n /ächsten Prototyp zugeordnet.

Zur Ermittlung der Prototypen wäre im Prinzip das Farbhistogramm geeignet, das allerdings riesig sein kann (z.B. 16.8 Mio. Farben bei 24-Bit-RGB). Einfachere Methode:

- 1 Darstellung jedes RGB-Wertes als Zahl, z.B. $R + 256 \cdot G + 256^2 \cdot B$
- 2 Ordnen nach Größe mit Sortieralgorithmus
- 3 Suchen der n längsten Blöcke mit gleichem Zahlenwert in der sortierten Sequenz.

Problematisch sind Fälle, bei denen die n häufigsten Farben sehr eng beeinanderliegen. Hier kann eine vorherige Gruppierung ähnlicher Farben durch eine uniforme Quantisierung helfen.

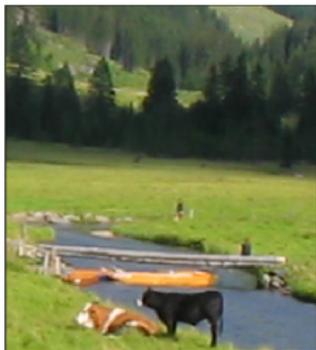
Median-Cut-Algorithmus



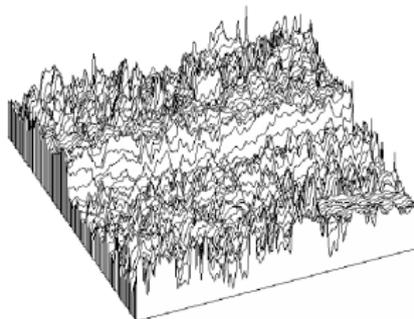
[Burger & Burger, 2006]

- 1 Berechnung eines grob gebinneten Histogramms (z.B. $32 \times 32 \times 32$ Bins)
- 2 Teilung des Volumens quer zur längsten Achse am Median
- 3 Fortsetzung am Quader mit den meisten Bildpunkten, bis n Quader vorhanden sind.
- 4 Durchschnitt aller Bildpunkte im Quader als Prototyp

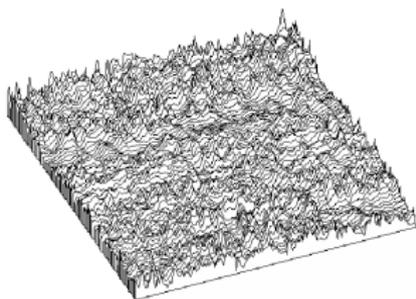
Quantisierungsfehler



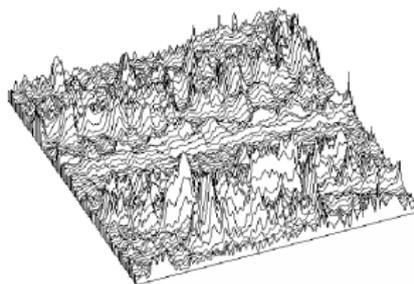
(a) Detail



(b) 3:3:2



(c) Median-Cut



(d) Octree

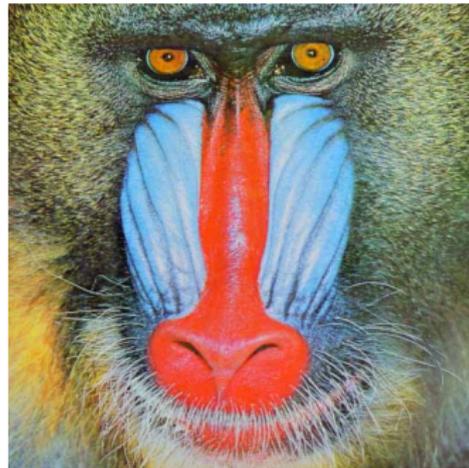
Übersicht

- 1 Farbquantisierung
- 2 Texturen und ihre Anwendungen**
- 3 Texturanalyse durch Filterbänke
- 4 Statistiken von Bildmerkmalen und Klassifikation

Texturen

lat. *texere* - weben, flechten

- Es gibt keine formale Definition für Texturen (ca. 10 unterschiedliche Definitionsversuche in der Literatur)
- Menschen erkennen bestimmte Bildbereiche anhand der Textur (Fell, Haare, ...)
- Nicht alle Bildbereiche enthalten Texturen.



Arbeitsdefinition: Texturen sind Bildbereiche mit einer **einheitlichen lokalen Bildeigenschaft.**

Repräsentation von Texturen

Texturen bestehen aus räumlichen Anordnungen von mehr oder weniger variablen Untereinheiten (*Textonen*).

Eine Textur wird daher definiert durch

- Art und Wahrscheinlichkeitsverteilung der Textonen
- Räumliche Kombinations- und Anordnungsregeln für die Textonen

Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Herangehensweisen:

- *syntaktisch*: Textonen werden nach den Regeln einer formalen Sprache kombiniert, Texturanalyse durch einen Parser (Voraussetzung: Textonen müssen eindeutig bestimm- und lokalisierbar sein, deterministische Grammatik \Rightarrow wenig praxisrelevant)
- *statistisch*: Texturen werden über Statistiken von Bildmerkmalen definiert.

Anwendung von Texturen

Klassifikation von Oberflächen und Szenen:

- Klassifikation von Texturen
 - Bewertung von Oberflächen
 - Indizierung von Texten und Bildern
- Detektion von strukturellen Defekten in Oberflächen
 - Herstellungsfehler in Textilien
 - Holzfehler
 - Risse in Kacheln
- Textursegmentierung
 - Terraintypen in Luft- und Satellitenbildern
 - Gewebetypen in Ultraschall-, Röntgen-, fMRI-Bildern
 - Texte in Dokumenten

Weitere Anwendungen:

- Textursynthese in der Computergraphik
- Rekonstruktion von Oberflächen (*shape from texture*)

Texturanalyse

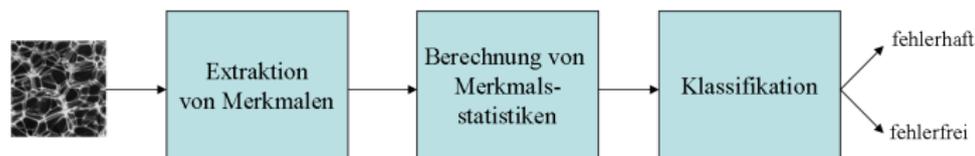
"Texture synthesis exhausted us long before we could exhaust it."

[Forsyth & Ponce, 2003]

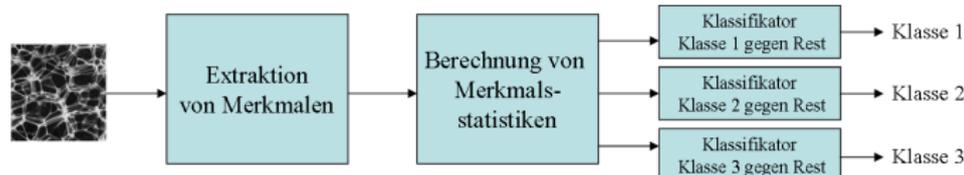
Die Texturanalyse ist einer der Bereiche der Bildverarbeitung, bei dem es noch an Grundlagen fehlt \Rightarrow es gibt eine sehr große Anzahl empirischer und halbempirischer Ansätze.

Typischer Aufbau eines Systems zur statistischen Texturanalyse:

Detektion von strukturellen Defekten:



Klassifikation von Oberflächen, Segmentierung:

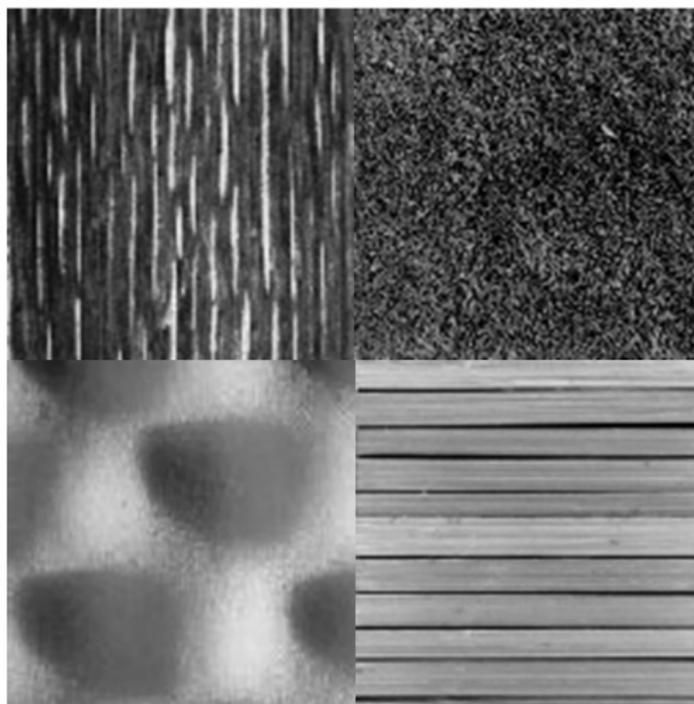
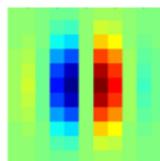
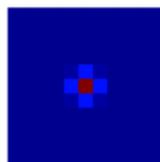
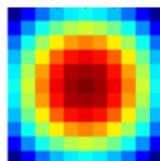


Übersicht

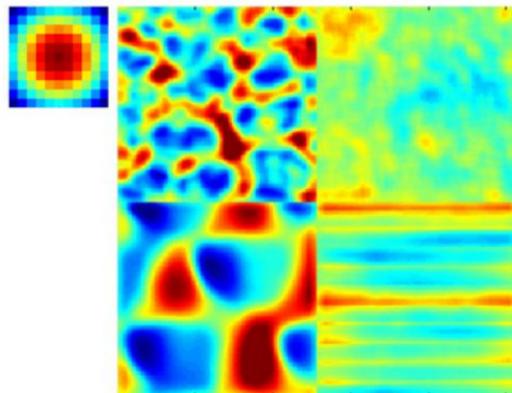
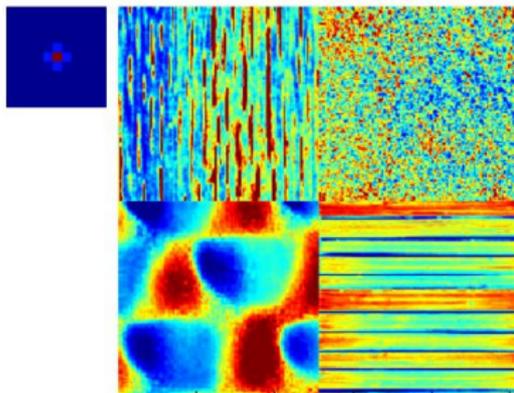
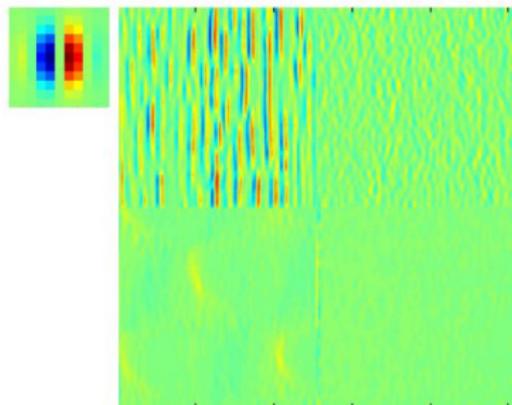
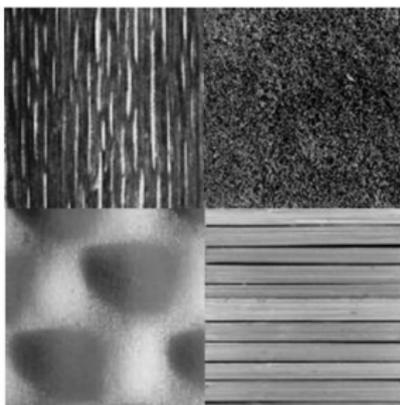
- 1 Farbquantisierung
- 2 Texturen und ihre Anwendungen
- 3 Texturanalyse durch Filterbänke**
- 4 Statistiken von Bildmerkmalen und Klassifikation

Detektion von Textonen mit Filtern

Grundidee: Detektion von einfachen Grundelementen der Textur durch daran angepaßte Filter



Filterantwort auf verschiedenen Texturen



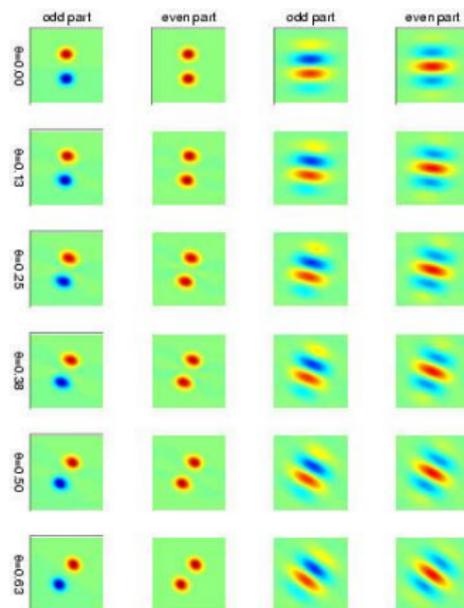
Filterbänke

Probleme:

- Art und Größe der Textonen sind (meist) nicht bekannt.
- Es gibt keinen kanonischen Texturkatalog.

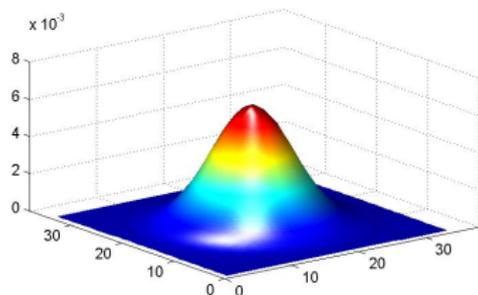
⇒ **Generische Filter**, aus denen sich alle anderen Bildelemente aufbauen lassen (z.B. Blobs oder Kanten)

⇒ Filtersatz in verschiedenen Größen (**Multiskalenansatz**).



Tradeoff: Anzahl der unterscheidbaren Texturen nimmt mit der Anzahl der Filter zu, Laufzeit auch.

Multiskalenanalyse mit Gaußpyramide

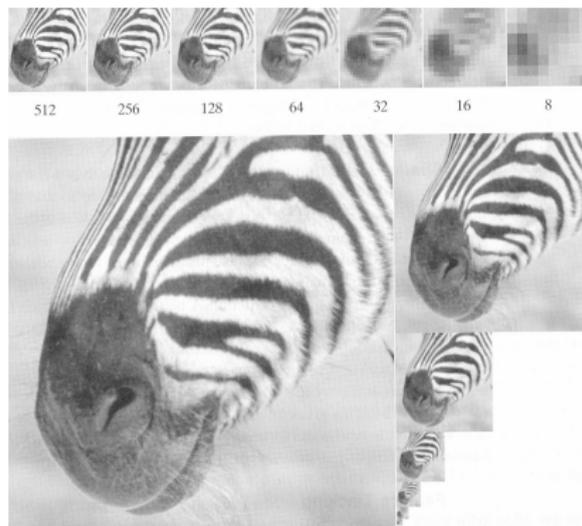


- 1 Glättung jedes Levels mit Gaußfilter

$$G_{\sigma} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2+y^2)},$$

- 2 Subsampling S_2^{\downarrow} um Faktor 2

$$\mathcal{I}_{n+1} = S_2^{\downarrow} G_{\sigma} \mathcal{I}_n$$



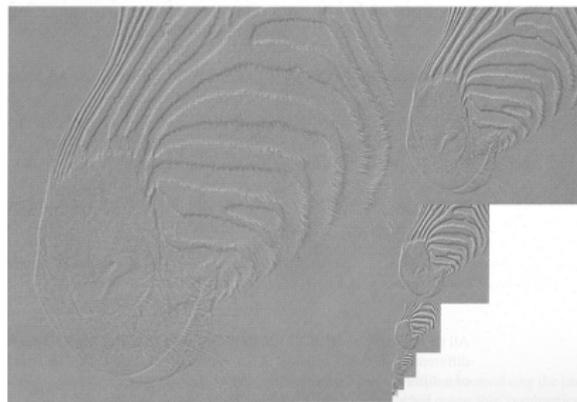
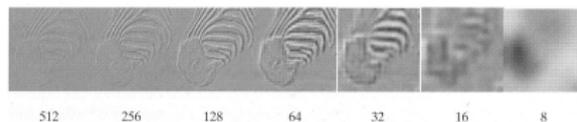
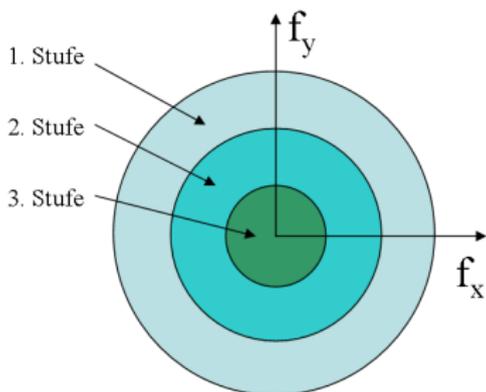
[Forsyth & Ponce, 2003]

Hochredundant!

Multiskalenanalyse mit Laplacepyramide

- 1 Berechne Gaußpyramide
- 2 Upsampling S_2^\uparrow um Faktor 2
- 3 Differenz zwischen fein und grob aufgelöstem Bild

$$\mathcal{L}_n = \mathcal{I}_n - S_2^\uparrow \mathcal{I}_{n+1}$$



[Forsyth & Ponce, 2003]

Bandpaßcharakteristik: Zerlegung nach räumlichen Frequenzen, aber keine Orientierungsanalyse

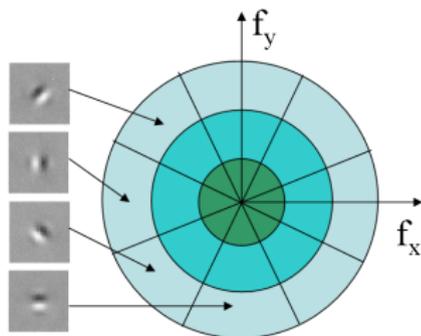
Orientierte Pyramiden

Gaborfilter

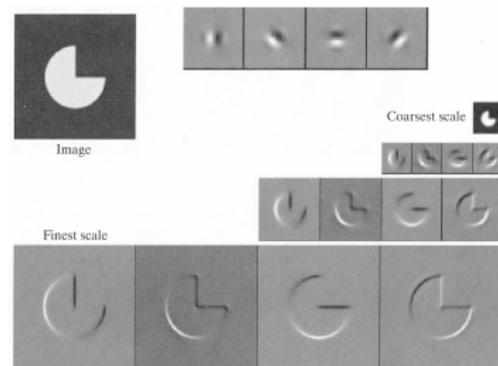
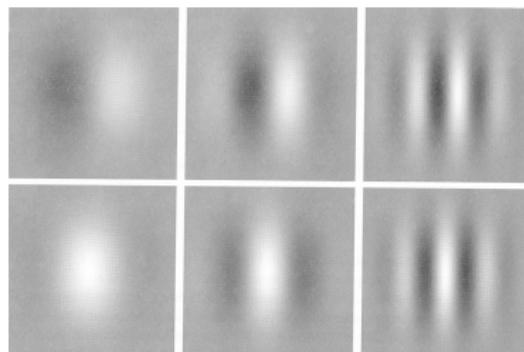
$$G_{\sigma}^{\text{sym}} = \cos(k_x x + k_y y) e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + y^2)}$$

$$G_{\sigma}^{\text{asym}} = \sin(k_x x + k_y y) e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + y^2)}$$

analysieren orientierte Strukturen
bestimmter Größe.



Texturanalysesysteme haben 4-11
Skalen, 2-18 Orientierungen



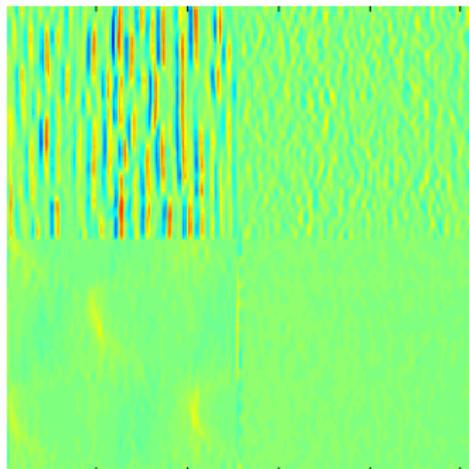
[Simoncelli et al. 1992]

Übersicht

- 1 Farbquantisierung
- 2 Texturen und ihre Anwendungen
- 3 Texturanalyse durch Filterbänke
- 4 Statistiken von Bildmerkmalen und Klassifikation**

Statistiken von Bildmerkmalen

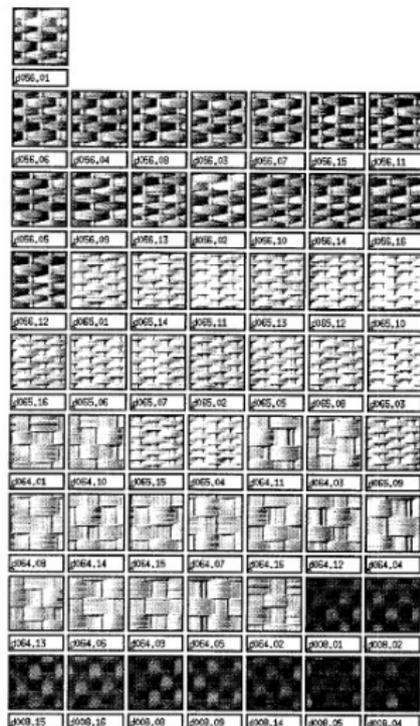
- Die Merkmalsextraktion mit Filterbänken liefert für jeden Filter und jeden Pixel der Textur eine reellwertige Filterantwort.
- Textur wird durch die spezifische Verteilung der Filterantworten in einem Testfenster charakterisiert.
- Es werden Kennzahlen (Statistiken) benötigt, die die Verteilung der Filterantworten beschreiben.



Einfachster Ansatz: Mittlere quadratische Filterantwort über Testfenster, ergibt einen Merkmalsvektor mit k Elementen (bei k Filtern).

Alternative: Mittelwert und Varianz der Filterantwort ($2k$ -dimensionaler Merkmalsvektor).

Ranking von Texturen nach Distanz der Merkmalsvektoren



Strukturelle Statistiken

Problem: Mittelwert, Varianz oder mittlere quadratische Antwort

- sagen nichts über die räumliche Verteilung der Filterantworten aus \Rightarrow **Strukturelle Statistiken** notwendig
- sind nur Statistiken erster und zweiter Ordnung. Menschen benutzen auch **Statistiken höherer Ordnung**, um Texturen zu unterscheiden.

Ansätze:

- Bestimmung der **Kovarianz** der Filterantwort $f(x, y)$ im Testfenster

$$C_f(x, y) = E[(f(x_0, y_0) - \bar{f})(f(x, y) - \bar{f})]$$

selten robust, meist werden nur einige speziell gewählte Terme geschätzt.

- Histogramme der lokalen Verteilung in einer kleinen Nachbarschaft (**co-occurrence-Matrizen**) bzw. daraus berechnete Kennwerte (Entropie, Energie, maximale Wahrscheinlichkeit, ...) , ebenfalls selten robust.

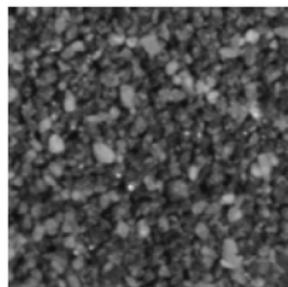
Klassifikation

- Nachdem die Verteilung der Filterantworten durch entsprechende Statistiken charakterisiert ist, muß als letzter Schritt eine Entscheidung (**Klassifikation**) getroffen werden.
- Je nach Problemstellung müssen einer oder mehrere Klassifikatoren anhand von Beispielen trainiert werden:
 - Detektion von Defekten: ein Klassifikator für die Entscheidung Defekt vorhanden bzw. nicht vorhanden
 - Segmentierung/Oberflächenklassifikation: für n Texturklassen werden n (*one vs. rest*) oder $\frac{1}{2}n(n-1)$ Klassifikatoren (*one vs. one*) und ggf. eine Arbitrierungsstufe benötigt.
- Mögliche Klassifikatoren:
 - einfachste Möglichkeit (häufig ausreichend): empirisch bestimmter Schwellwert bzw. *Winner takes all*
 - Neuronale Netze (Standardpakete)
 - Supportvektormaschinen (frei im Internet verfügbar)
 -

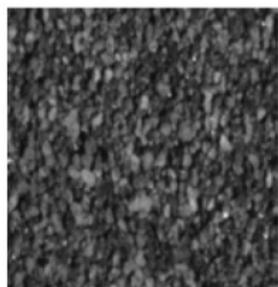
Zusammenfassung

- Texturen sind Bildbereiche mit einer einheitlichen lokalen Bildeigenschaft. In der Praxis werden Texturen über Statistiken von Bildmerkmalen definiert.
- Ein typisches Texturklassifikationssystem besteht aus 3 Stufen: 1. Merkmalsextraktion; 2. Berechnung statistischer Kennzahlen für die Verteilung der Merkmale; 3. Klassifikation.
- Merkmalsextraktion geschieht häufig über Filter als Detektoren für lokale Bildstrukturen, oft in Form einer orientierten Pyramide.
- Als Statistik reichen oft Mittelwerte und Varianzen der Filterantworten, als Klassifikator einfache Schwellwerte oder Winner-takes-all-Architekturen. Bessere Klassifikationsleistung erreichen Standardverfahren wie neuronale Netze oder SVM.

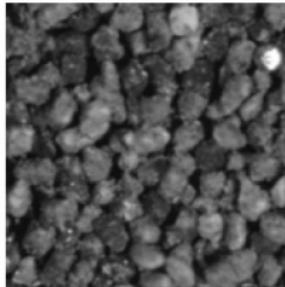
Bewertung von Oberflächen



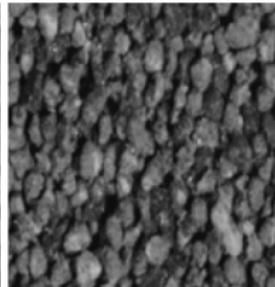
(a) 88-105 μm
fraction



(b) 74-125 μm
mixture

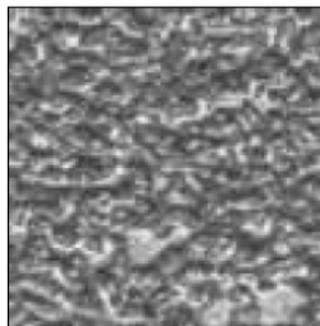
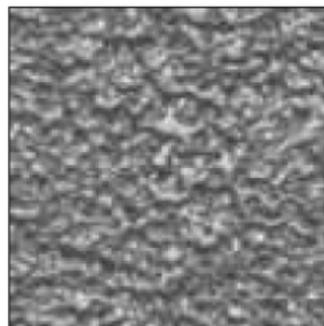
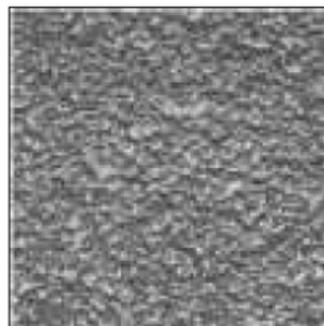


(c) 177-210 μm
fraction



(d) 149-250 μm
mixture

[Silven, 2000]



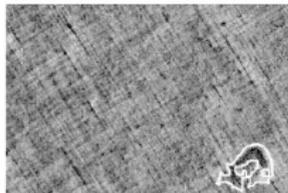
[Pannekamp, 2005]

Herstellungsfehler in Textilien

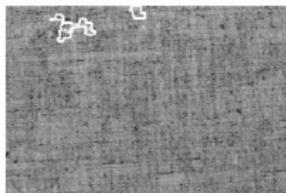
clr1e1



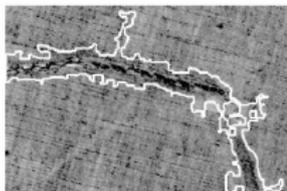
clr1e2



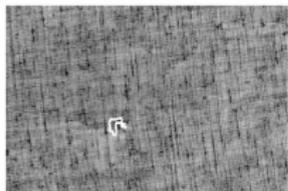
clr1e3



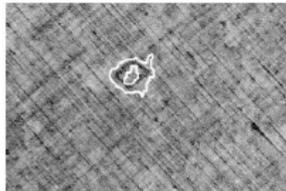
clr1e4



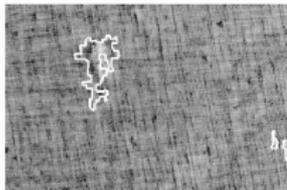
clr3e1



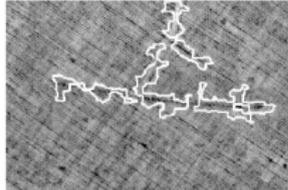
clr3e2



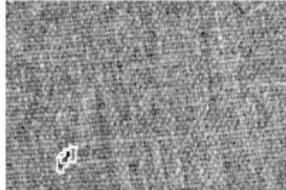
clr3e3



clr3e4

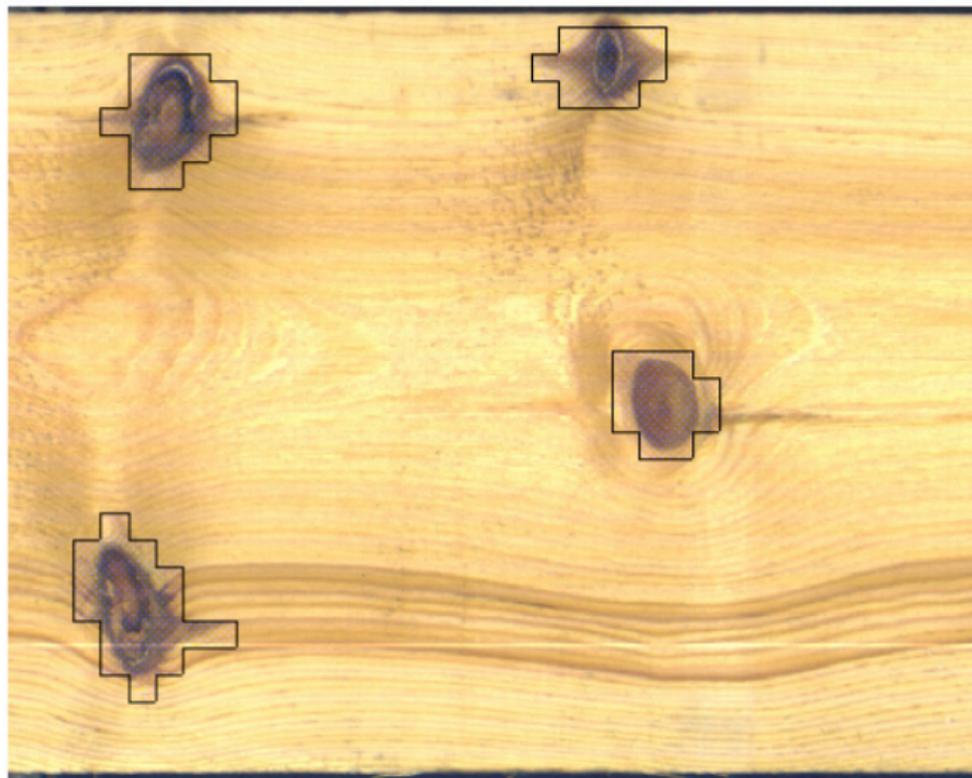


c2r2e1



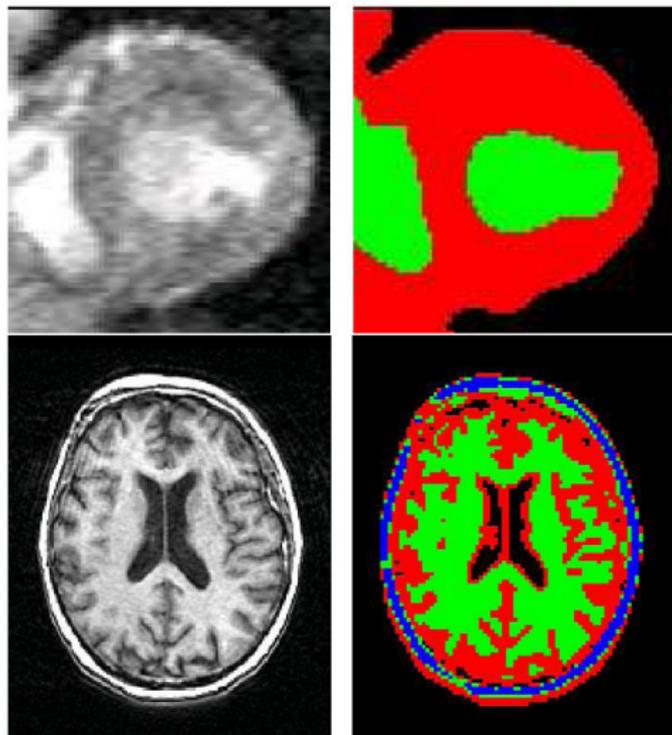
[Chetverikov &

Astlöcher in Holzplatten



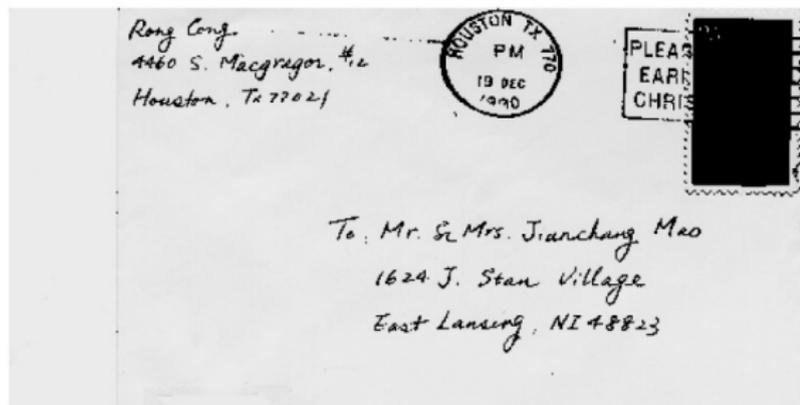
[Silven et al.,

Segmentierung von Gewebe in der medizinischen Bildgebung



[Glatard et al., 2004]

Segmentierung von Text in Dokumenten



Klassifikation von Terraintypen in Satellitenbildern

