



Research Center Jülich  
*Member of the Helmholtz Society*

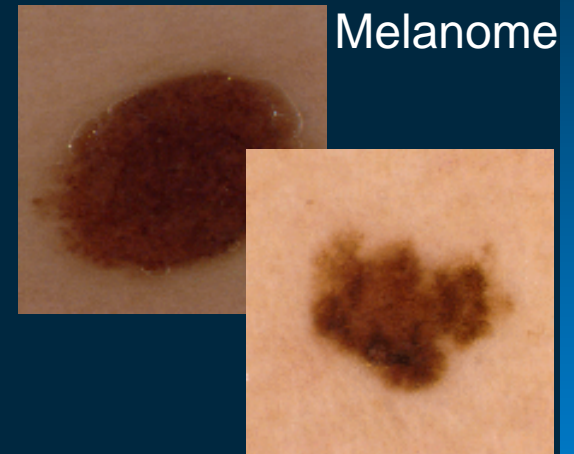


Institute of Neuroscience and Biophysics

# Integrative Auswertung von **Farbe und Textur**

Christoph Palm

- ◆ Beispiele natürlicher Farbtexturen





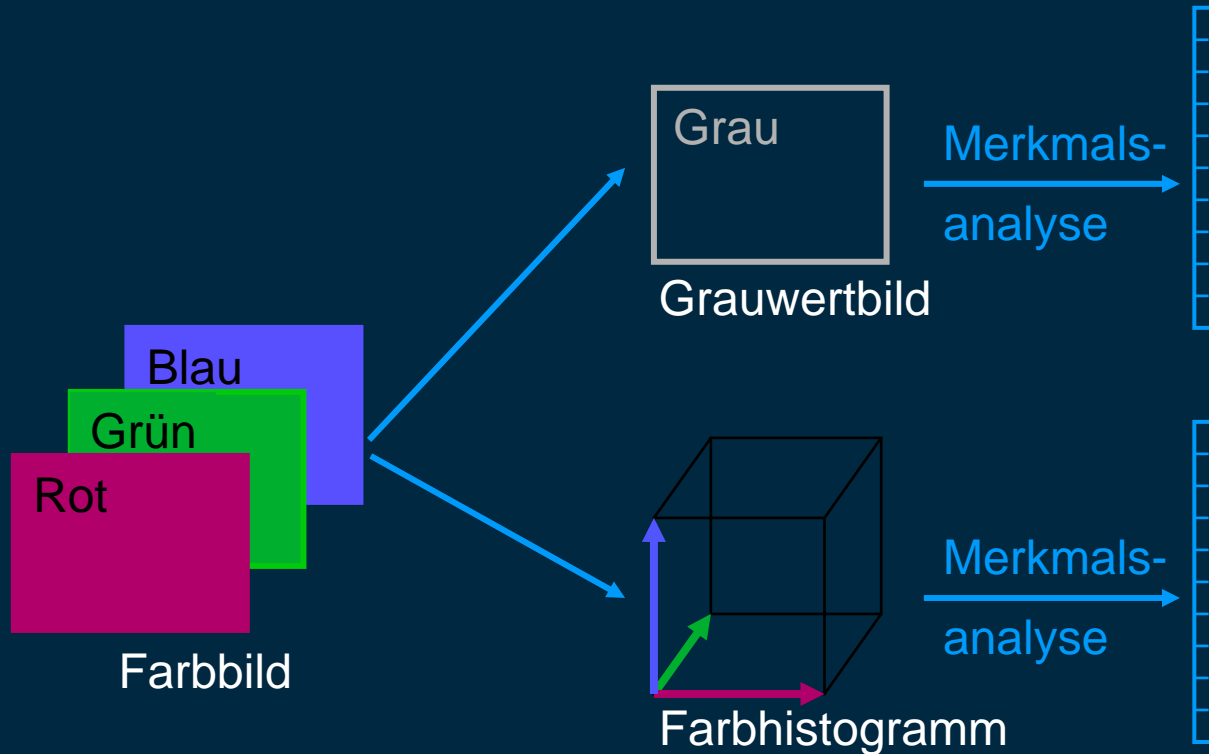
- ◆ theoretischer Aspekt
  - Verständnis für **Abhängigkeiten zwischen Farbe und Textur**
  - adäquate Charakterisierung
  
- ◆ praktischer Aspekt
  - **Differenzierung** verschieden ausgeprägter Farbtexturen
    - Klassifikation, Segmentierung, Retrieval
  
  - **Anwendungsbeispiele**
    - Medizin: Nävi vs. Melanome, Larynxpathologien
    - Nahrungsmittel: Kartoffelchips, Bananen, Fleisch
    - Floristik: Krankheitsbilder bei Orchideen
    - Chemische Industrie: Qualitätskontrolle von Erz
    - Sport: Segmentierung von Fußballspielern

## ♦ Motivation

- **Textur ist Helligkeitsmuster**
  - bekannte methodische Werkzeuge zur Beschreibung
    - Cooccurrence Matrizen, Markov Random Fields, Gabor-Filter, ...
- **Farbe ist Pixeleigenschaft**
  - bekannte methodische Werkzeuge zur Beschreibung
    - 3D- und 2D-Farbhistogramme, ...

## ♦ Farbtexturen

- **Textur im Grauwertbereich** beschreiben
  - Farbe nicht berücksichtigen
- **Farbe als Histogramm** beschreiben
  - Muster nicht berücksichtigen



- Anwendungsgebiet:  
Suche in großen Bilddatenbanken (Retrieval)
  - [Yu02]

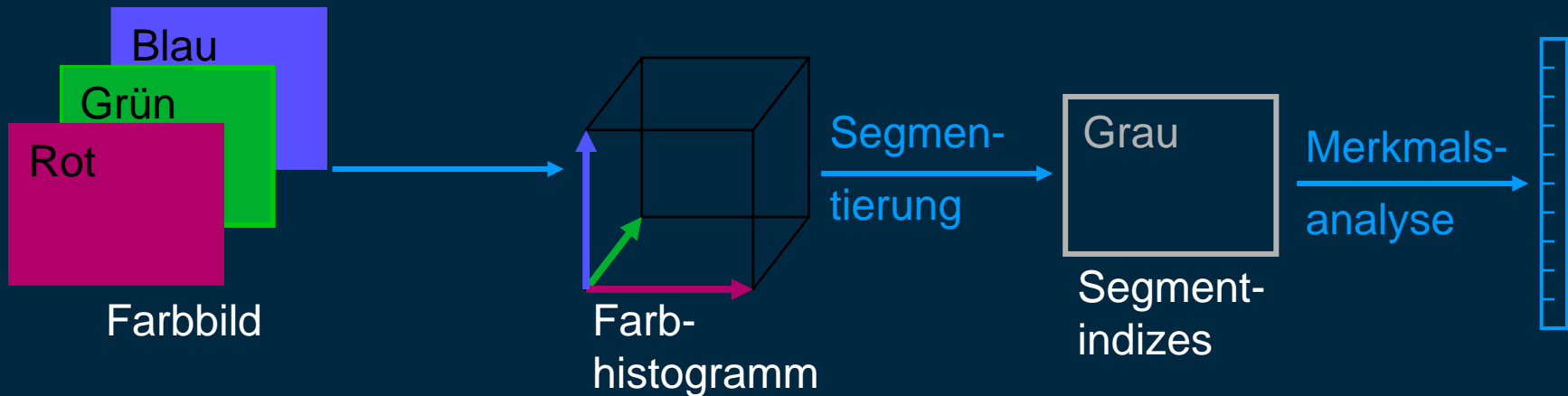


## ♦ Motivation

- deterministisch-strukturelles Texturmodell
  - farbige **Texturprimitive**
  - abgrenzbare Cluster im Farbhistogramm

## ♦ Farbtexturen

- zuerst: **Identifikation der Texturprimitive**
  - Segmentierung aufgrund des Farbhistogramms
  - Segmentindizes bilden Grauwerte des Bildraums
- danach: **Textur der Segmentindizes (Grauwertbereich)** beschreiben
  - abhängig von Segmentierung



- Anwendungsgebiet: industrielle Qualitätskontrolle
  - [Hauta-Kasari99, Kukkonen01]



## ♦ Motivation

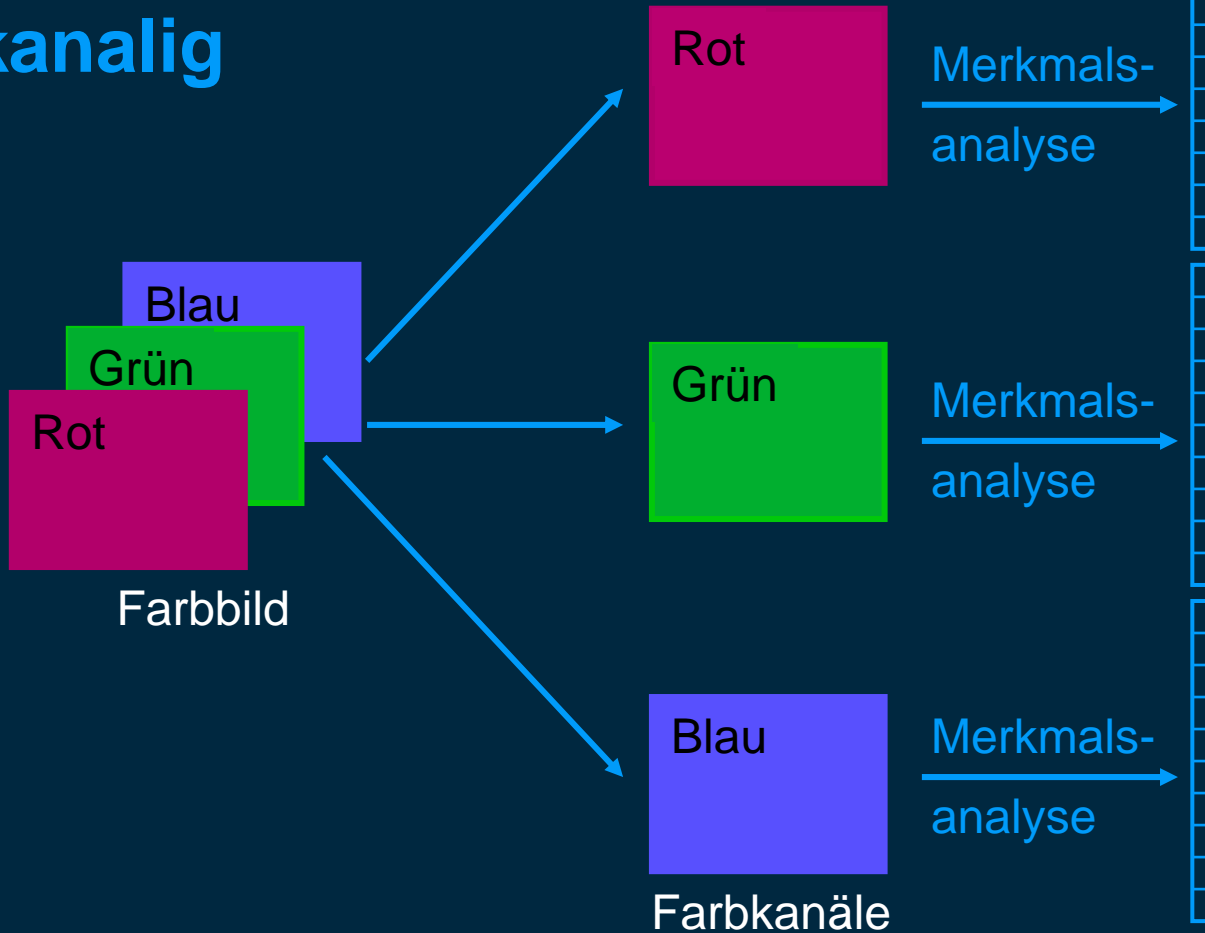
- Verzahnung der Farb- und Texturanalyse
  - ein- und mehrkanalige Verfahren

## ♦ Farbtexturen

- einkanalige Verfahren
  - Separation der Farbkanäle
  - skalare Texturanalyse für jeden Farbkanal
- mehrkanalige Verfahren
  - gemeinsame Betrachtung mehrerer Farbkanäle
  - vektorielle Texturanalyse

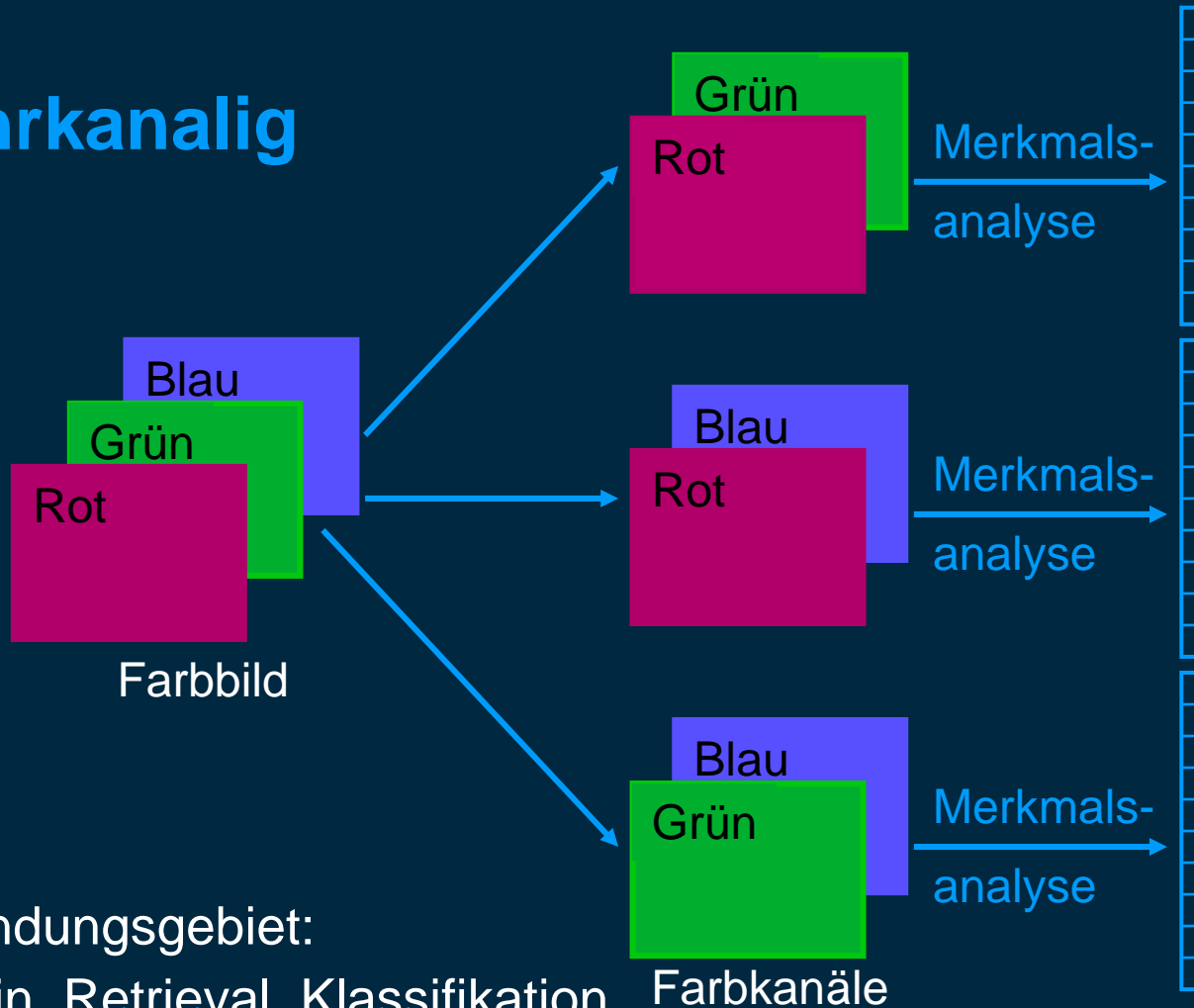


einkanalig



Einführung Konzepte	Statistische Farbtexturanalyse	Signaltheoretische Farbtexturanalyse	Experimentelle Ergebnisse	Diskussion Anwendungen
------------------------	-----------------------------------	---	------------------------------	---------------------------

mehrkanalig



- Anwendungsgebiet:  
Medizin, Retrieval, Klassifikation
  - [Lakmann98, Palm04]

Einführung Konzepte	Statistische Farbtexturanalyse	Signaltheoretische Farbtexturanalyse	Experimentelle Ergebnisse	Diskussion Anwendungen
------------------------	-----------------------------------	---	------------------------------	---------------------------

- ◆ **Zusammenhang von Farbe und Textur**
  - Entwicklung integrativer Verfahren
    - Erweiterung des „Werkzeugkastens“
  - Messung ermöglichen
    - objektives Kriterium
  - experimentelle Evaluation
    - parallel vs. integrativ

„(...) we **believe** that there is no need to compute color texture features.“ [Dubisson-Jolly00]

„The results show that color and texture indeed have complementary roles.“ [Mäenpää02]

Farbräume	technisch	Cooccurrence RGB	Gabor RGB
	wahrnehmungs- orientiert	Cooccurrence komplex	Gabor komplex
		statistisch	signaltheoretisch

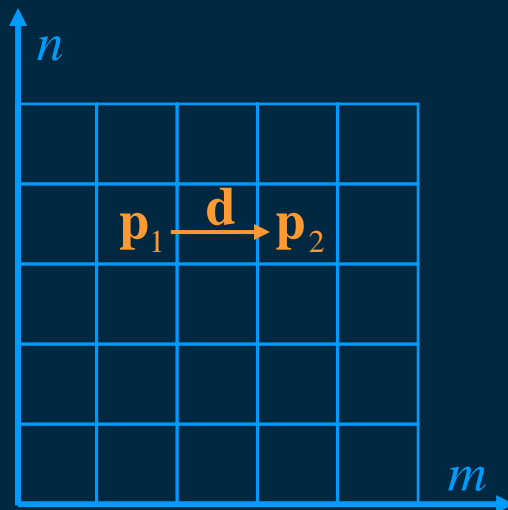
## Verfahren zur Texturanalyse

Beachte: Unterschied

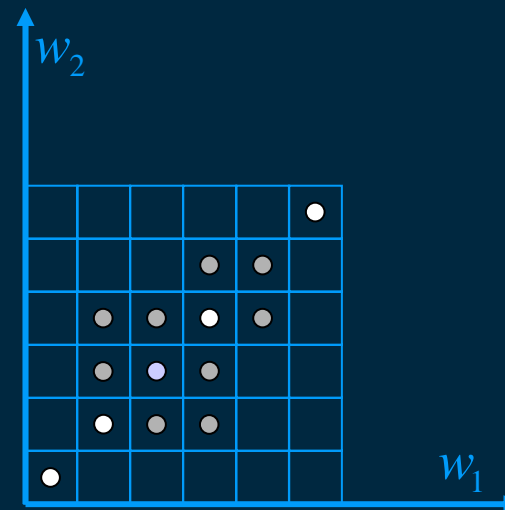
- wahrnehmungsorientiert
- wahrnehmungsangepasst

Einführung Konzepte	Statistische Farbtexturanalyse	Signaltheoretische Farbtexturanalyse	Experimentelle Ergebnisse	Diskussion Anwendungen
------------------------	-----------------------------------	---	------------------------------	---------------------------

- ◆ 2D-Histogramm benachbarter Grauwerte
  - **Bild**  $f(m, n) = f(\mathbf{p})$
  - **Abstandsvektor**  $\mathbf{d}$
  - gemeinsames Auftreten der Grauwerte  $w_1$  und  $w_2$ 
    - **Wahrscheinlichkeit**  $\Pr$
- **Matrix**  $C_d(w_1, w_2) = \Pr(f(\mathbf{p}_1) = w_1 \wedge f(\mathbf{p}_2) = w_2 | \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 = \mathbf{d})$



Bild



Cooccurrence Matrix



Skala



- ◆ Texturmaße
  - Beschreibung der prägenden Matrixstrukturen
  - **Haralick-Maße** [Haralick73]
    - Abstand zur Hauptdiagonalen
      - Kontrast, inverses Differenzenmoment, Varianz
    - Existenz dominanter Zentren
      - Entropie, Homogenität
    - Geradenform
      - Korrelation, Korrelation I, Korrelation II
    - Maße teilweise redundant
  - Rotationsinvarianz
  - hier: 8 Haralick-Maße in Mittelwert und Varianz
    - **16-dimensionaler Merkmalsvektor**

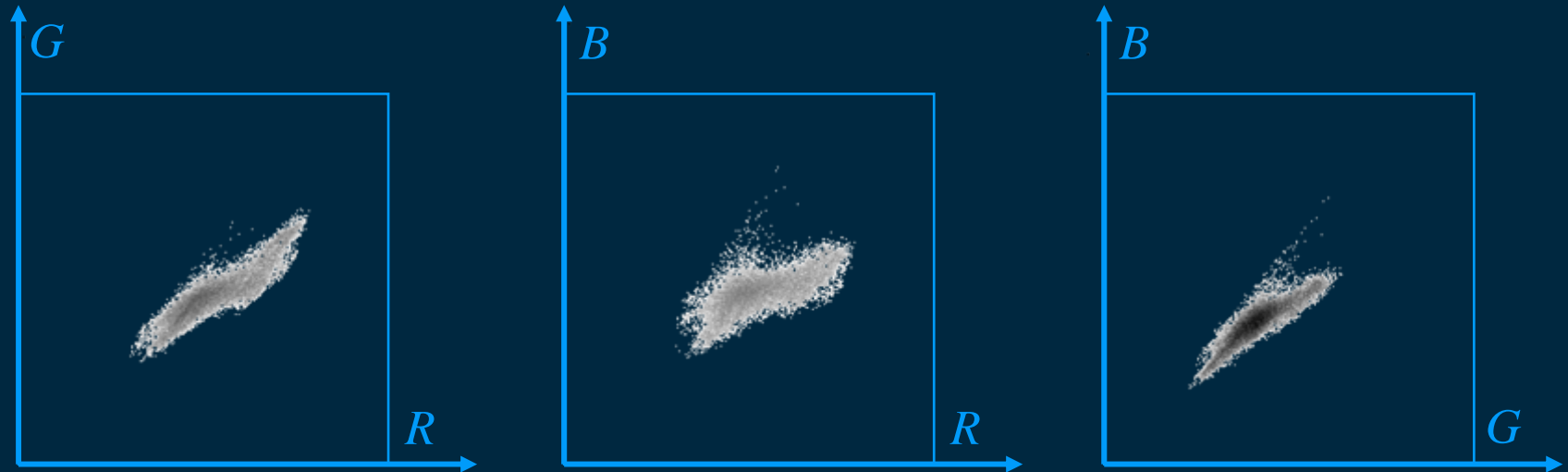
## einkanalig

- ◆ isolierte Farbkanäle  $f_k$  des Farbbildes  $\mathbf{f} = (f_R, f_G, f_B)$ 
  - $\Pr(w_1 \rightarrow w_2) = \Pr(f_k(\mathbf{p}_1) = w_1 \wedge f_k(\mathbf{p}_2) = w_2 | \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 = \mathbf{d})$
- ◆ Farbaspekt: **Beschränkung auf spektralen Bereich**
  - unterschiedlicher Schwerpunkt, veränderte Form der Verteilung  
⇒ **mehr Information**



## mehrkanalig

- ♦ **2D-Farbhistogramm** in Cooccurrence Notation
  - $\Pr(w_1 \updownarrow w_2) = \Pr(f_{k_1}(\mathbf{p}_1) = w_1 \wedge f_{k_2}(\mathbf{p}_2) = w_2 | \mathbf{p}_1 = \mathbf{p}_2)$
- ♦ kanalübergreifend, **Nachbarschaft auf Farbkanelebene**
  - kompakte Zentren: Farbklassen





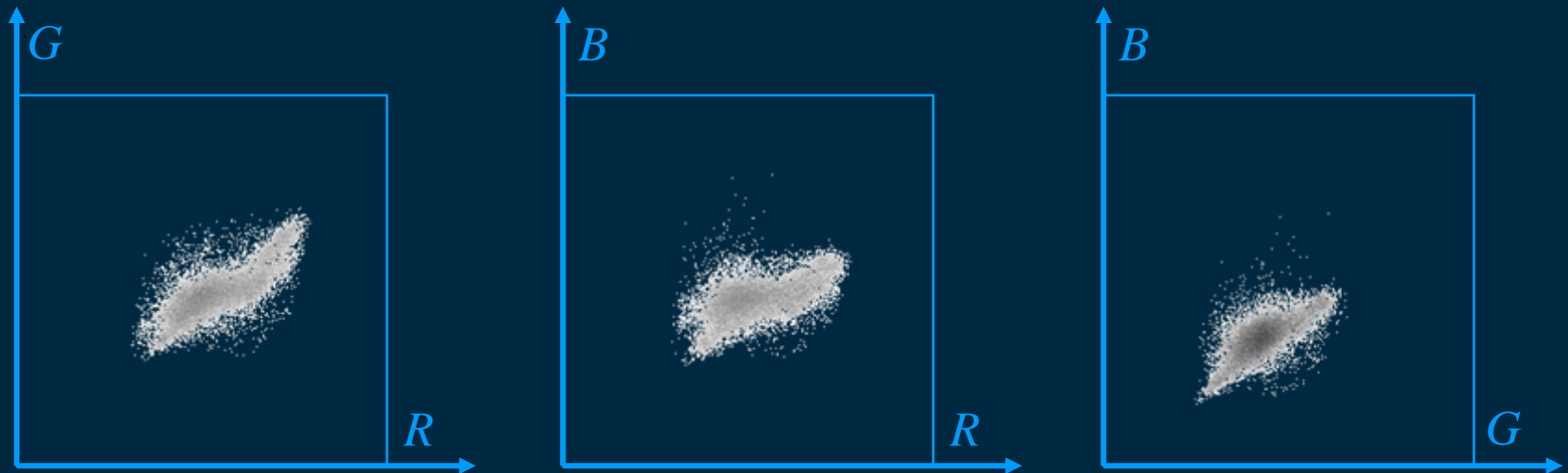
## mehrkanalig

### ◆ kanalübergreifende Cooccurrence Matrizen

- $\Pr(w_1 \searrow w_2) = \Pr(f_{k_1}(\mathbf{p}_1) = w_1 \wedge f_{k_2}(\mathbf{p}_2) = w_2 | \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 = \mathbf{d})$

### ◆ Nachbarschaft auf Farbkanal- und Ortsraumebene

- gleichzeitige Betrachtung von räumlicher Struktur und Farbe
- größere Streuung als 2D-Farbhistogramm



♦ Farbtextur als **zusammengesetztes** stochastisches Ereignis

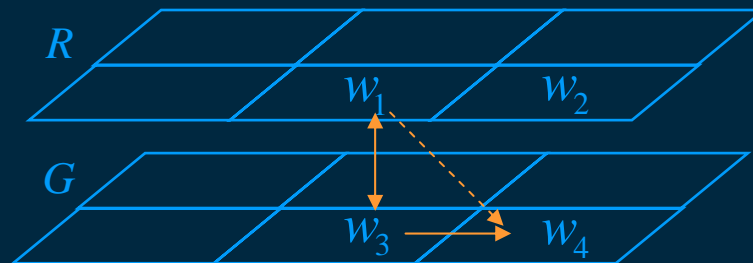
- Farbereignis:  $\Pr(w_1 \updownarrow w_3)$

- Texturereignis:  $\Pr(w_3 \rightarrow w_4)$

⇒ Farbtextur:  $\Pr(w_1 \searrow w_4)$

♦ Zusammenhang Farbe – Textur messbar!

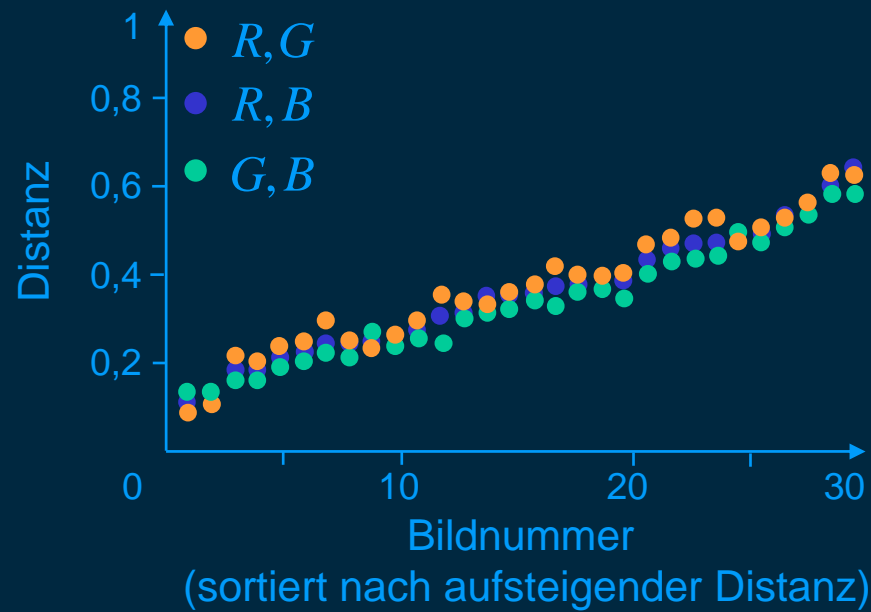
- Differenz zwischen **realer Messung** (bedingte Wahrscheinlichkeit) und Schätzung unter **Annahme stochastischer Unabhängigkeit**



[Palm04]

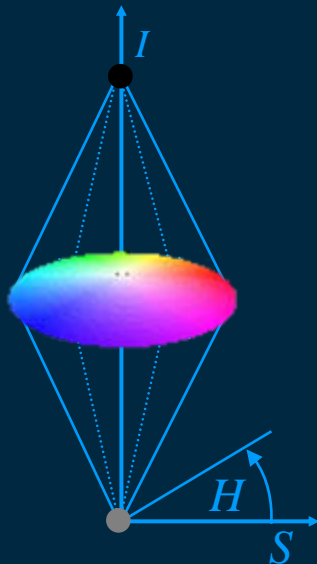
## ♦ Kolmogorov-Distanz

- Maß für den Grad der Abhängigkeit der Zufallsprozesse Farbe und Textur
- sehr unterschiedlich für einzelne Bilder



## ♦ Ausgangspunkt: HSI-Farbraum

- wahrnehmungsorientiert
- Trennung von Intensität und Farbe
  - Farbkomponenten: orthogonal zur Intensität
  - $H, S$  als Polarkoordinaten der Farbebene
    - Singularität bei  $S = 0$



## ♦ veränderte Interpretation

- $S$  als Betrag,  $H$  als Phase einer komplexen Zahl  $z$ 
  - Frey88, McCabe00
- $z = S \cdot e^{iH}$
- kleines  $S$ : geringe Gewichtung von  $H$

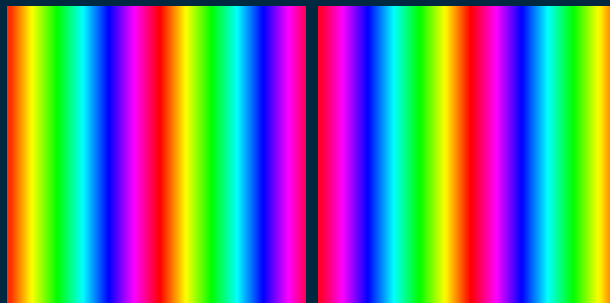


## ◆ komplexe chromatische DFT

- $\mathfrak{F}_{KCDFT} : z(m, n) \rightarrow Z(u, v)$

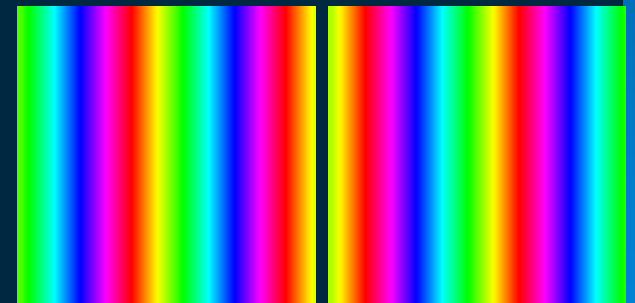
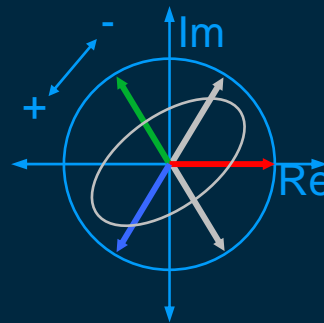
$$Z(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} z(m, n) \cdot \exp\left(-2i\pi \left(\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N}\right)\right)$$

- Verlust der Symmetrie des Powerspektrums
- Grundlage für **Farb-Gabor-Filter**
  - Farbmuster unabhängig von der Intensität
  - $H$  als Winkelkoordinate (robust gegen Rauschen im Rotbereich)



$\text{Re}\{Z\}^+$

$\text{Re}\{Z\}^-$



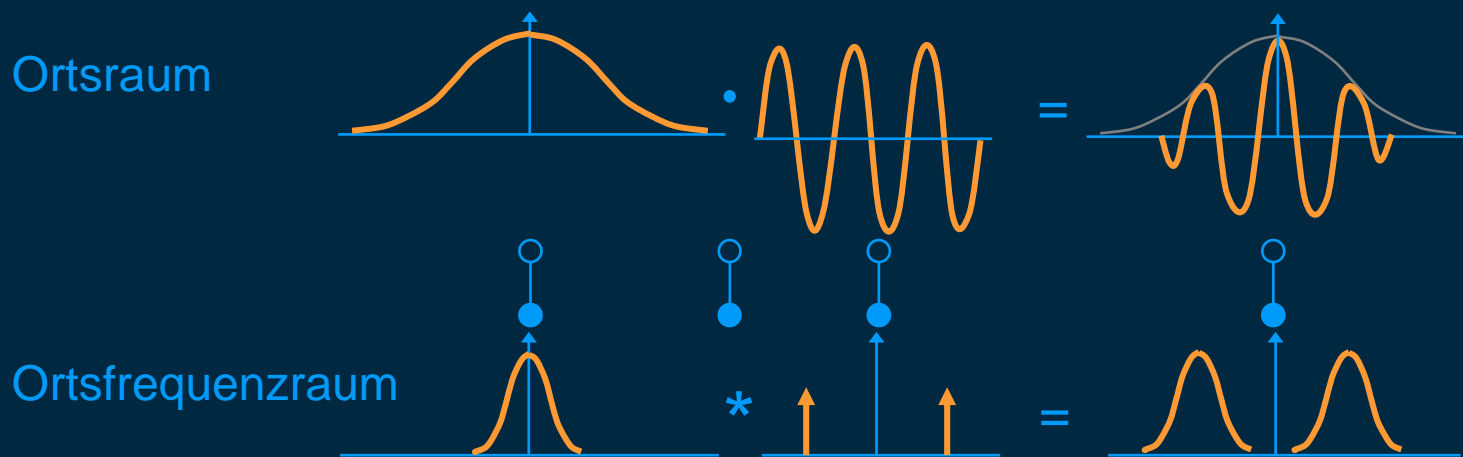
$\text{Im}\{Z\}^+$

$\text{Im}\{Z\}^-$

◆ gefensterete Fourier-Transformation

- **Gauß-Fenster** mit Rotationswinkel  $\varphi$  und Varianz  $\sigma$
- **Schwingung** mit lokaler Frequenz  $(u, v)$

➤ komplexe Gabor-Koeffizienten  ${}^G F_{u,v,\varphi,\sigma}(m,n) = f(m,n) * g_{u,v,\varphi,\sigma}(m,n)$



- ◆ **lokale** Amplitude und Phase

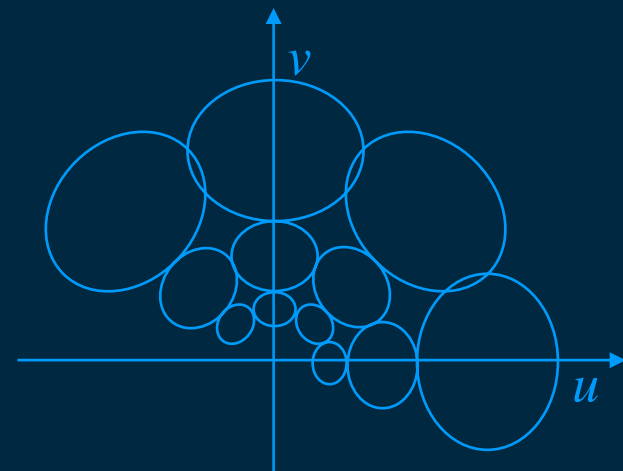
$${}^G A_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}} = \sqrt{\operatorname{Re}({}^G F_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}})^2 + \operatorname{Im}({}^G F_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}})^2}, \quad {}^G \phi_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}} = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}({}^G F_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}})}{\operatorname{Re}({}^G F_{\bar{\xi}, \bar{\varphi}})}\right)$$

- ◆ Gabor-Wavelets [z.B. Bovic90]

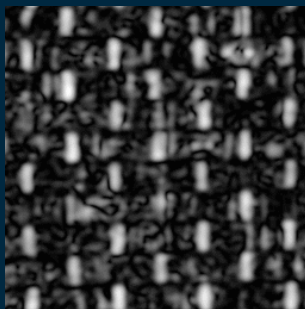
- **adaptive Anpassung der Fensterbreite** an die Ortsfrequenz

- ◆ **Filterbank**

- Abtastung des Ortsfrequenzraums
- Symmetrie bei reellen Bildern



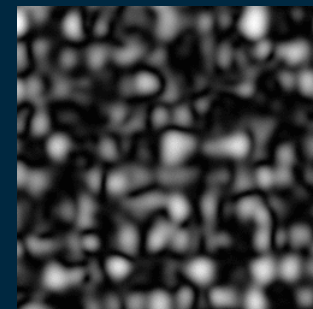
- ◆ Farb-Fourier-Transformation
  - Gabor-Filter für **positive und negative Frequenzkoordinaten**
    - doppelte Zahl von Gabor-Koeffizienten
    - **gegenläufig gerichtete Regenbogenschwingungen**
  
- ◆ Farb- und Helligkeitstransformation
  - Auswertung unterschiedlicher Bildcharakteristika
 ⇒ **mehr Information**



Gabor-Amplitude  
Intensität



Original



Gabor-Amplitude  
"komplexe" Farbe

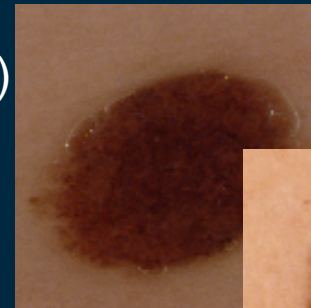
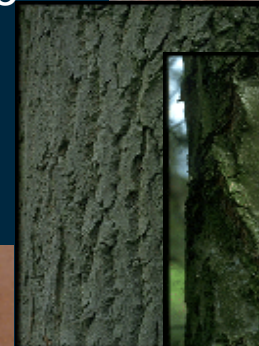




## ♦ Texturmaße

- Energie der lokalen Amplitude
- Energie der lokalen Phase
  - richtungsabhängiger Phasengradient
  - Phasenwechsel zwischen unterschiedlichen Textursegmenten
  - Anzahl lokaler Maxima
  
- Mittelwert und Varianz über die Richtungen bei fester Skala
  - Rotationsinvarianz

- ◆ 5-Nearest-Neighbor-Klassifikator
- ◆ Leaving-one-out
- ◆ 3 Datensätze zur Evaluation
  - VisTex
    - 30 Bilder (512 x 512), jedes Bild bildet eine Klasse
    - disjunkte Teilbilder (64 x 64)
    - insgesamt 1920 Bilder
  - BarkTex
    - 6 Klassen
    - 68 Aufnahmen / Klasse (384 x 256)
    - insgesamt 408 Bilder
  - Melanome
    - 2 Klassen
    - 560 Nävi, 189 maligne Melanome (512 x 512)



	VisTex	BarkTex	Melanome
Farbhistogramm	0,938	0,654	0,892
Grauwert-Cooccurrence	0,855	0,787	0,788
paralleles Farbtexturkonzept	<b>0,977</b>	<b>0,838</b>	<b>0,899</b>
einkanalige Farb-Cooccurrence Matrizen separat (R, G, B)	0,868 0,869 <b>0,896</b>	0,775 0,777 <b>0,794</b>	<b>0,820</b> 0,774 0,761
mehrkanalige Konkatenation	0,951	0,828	0,813
einkanalige Konkatenation	0,960	0,795	0,899
ein- und mehrkanalige Konkatenation	<b>0,971</b>	<b>0,841</b>	<b>0,910</b>



- ◆ paralleles Farbtexturkonzept
  - Qualität der Klassifikation steigt sowohl bzgl. Farbe als auch bzgl. Grauwerttextur
  
- ◆ Farb-Cooccurrence Matrizen
  - kanalspezifische Texturen
  - unterschiedliche Klassifikationseigenschaften einzelner Kanäle
  - Einzelergebnisse besser als Grauwerttexturanalyse
    - Mittelung der Texturen ist verlustbehaftet
  - Ergänzung der kanalspezifischen Texturen
    - Verbesserung durch gemeinsame Betrachtung
  - geringe Redundanz ein- und mehrkanaliger Matrizen

	VisTex	BarkTex	Melanome
Grauwert-Gabor-Filter (Amplitude, Phase, Konkatenation)	0,582	0,760	0,748
	0,567	<b>0,838</b>	0,778
	<b>0,759</b>	0,821	<b>0,806</b>
RGB-basierte Gabor-Filter (Amplitude, Phase, Konkatenation)	0,714	0,801	<b>0,769</b>
	0,692	0,810	0,697
	<b>0,856</b>	<b>0,824</b>	0,754
farbkomplexe Gabor-Filter (Amplitude, Phase, Konkatenation)	0,702	0,699	0,704
	0,618	0,730	0,910
	<b>0,814</b>	<b>0,745</b>	<b>0,913</b>



- ◆ Grauwerttexturanalyse
  - vergleichbare Ergebnisse der Amplituden- und Phasenenergie
  - Ergänzungsfähigkeit beider Merkmale
  
- ◆ RGB-Farbraum
  - nur für den VisTex-Datensatz signifikante Verbesserung gegenüber Grauwerttexturmerkmalen
    - mögl. Grund: hohe Dimensionalität des Merkmalsraums
  
- ◆ komplexer Farbraum
  - verbesserte Klassifikationseigenschaften für VisTex und Melanome gegenüber Grauwerttexturen



## ♦ Farb-Cooccurrence Matrizen

- generell besser als Farb-Gabor-Filter
- beste Klassifikationsraten für alle Datensätze jeweils im komplexen Farbraum
- Ergebnisvergleich
  - VisTex: 0,986 zu 0,975 [Wouver99]
  - BarkTex: 0,863 zu 0,804 [Lakman98]
  - Melanome: 0,919 zu 0,930 [Pompl00]
  - **Aber:** Unterschiede zwischen Klassifikator und Merkmalsraumdimension bleiben bestehen

## ♦ Farb-Gabor-Filter

- neues trennscharfes Merkmal der Phasenenergie
- ähnliche Performanz von RGB- und komplexem Farbraum

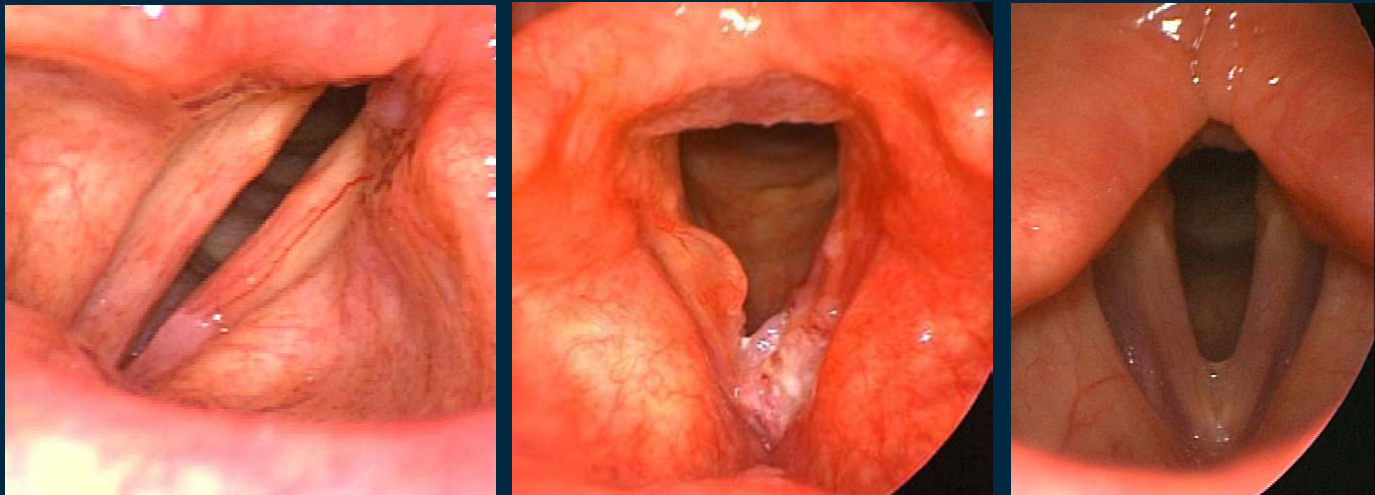


- ◆ Farbt Texturen
  - Existenz kanalspezifischer Texturen
    - trotz Korrelation der Farbkanäle
  - Existenz helligkeitsunabhängiger Farbt Texturen
  
- ◆ Texturanalyse
  - statistische Texturanalyse ergibt hier bessere Resultate
    - trotz umfangreicher Evaluation keine generelle Aussage möglich
    - unvergleichbare Dimensionalität der Merkmalsräume
  
- ◆ praktische Anwendung
  - Farbbilder in der medizinischen Bildgebung (z.B. Dermatoskopie, Laryngoskopie, ...)
  - Farbbilder in der industriellen Qualitätskontrolle
  - Spektrale Satellitenbilder
  - Bildsuche in großen Bilddatenbanken



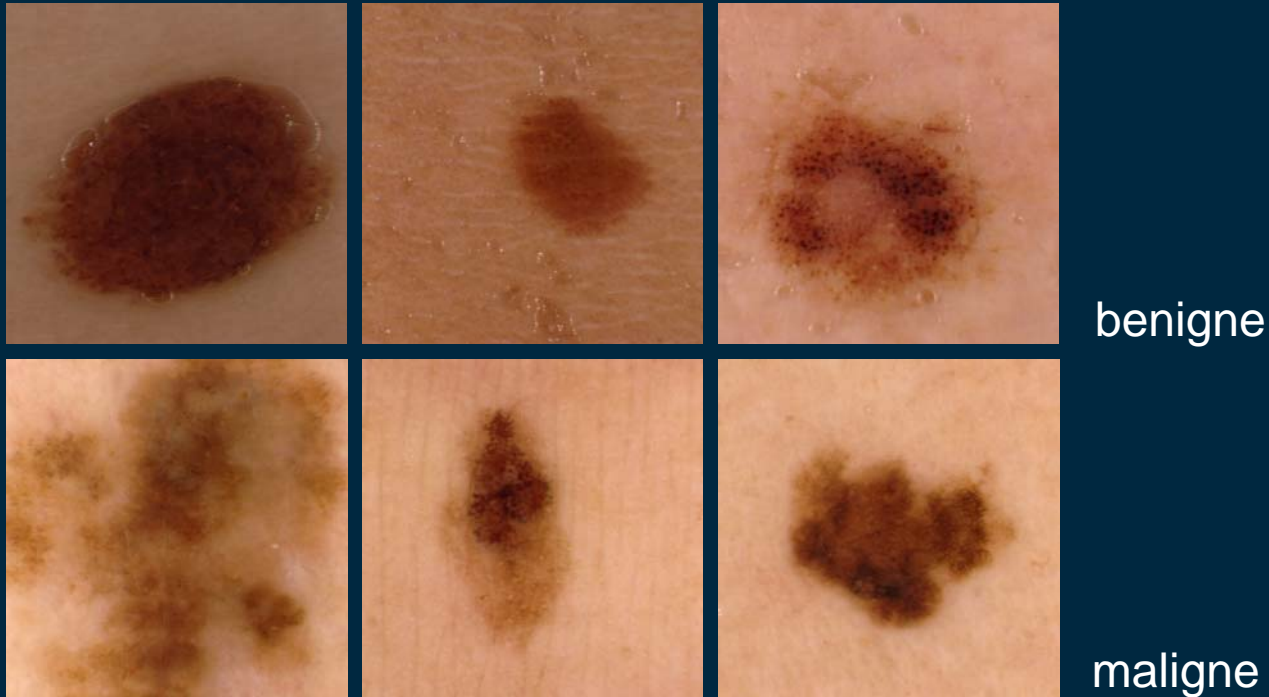
- ◆ Medizin
  - Laryngoskopie
    - Endoskopische Videoaufnahmen des Kehlkopfes
  - Detektion und Klassifikation verschiedener Krankheitsbilder

[Ilgner03]



## ♦ Medizin

- Dermatologie
- Unterscheidung von benignen und malignen Hautveränderungen



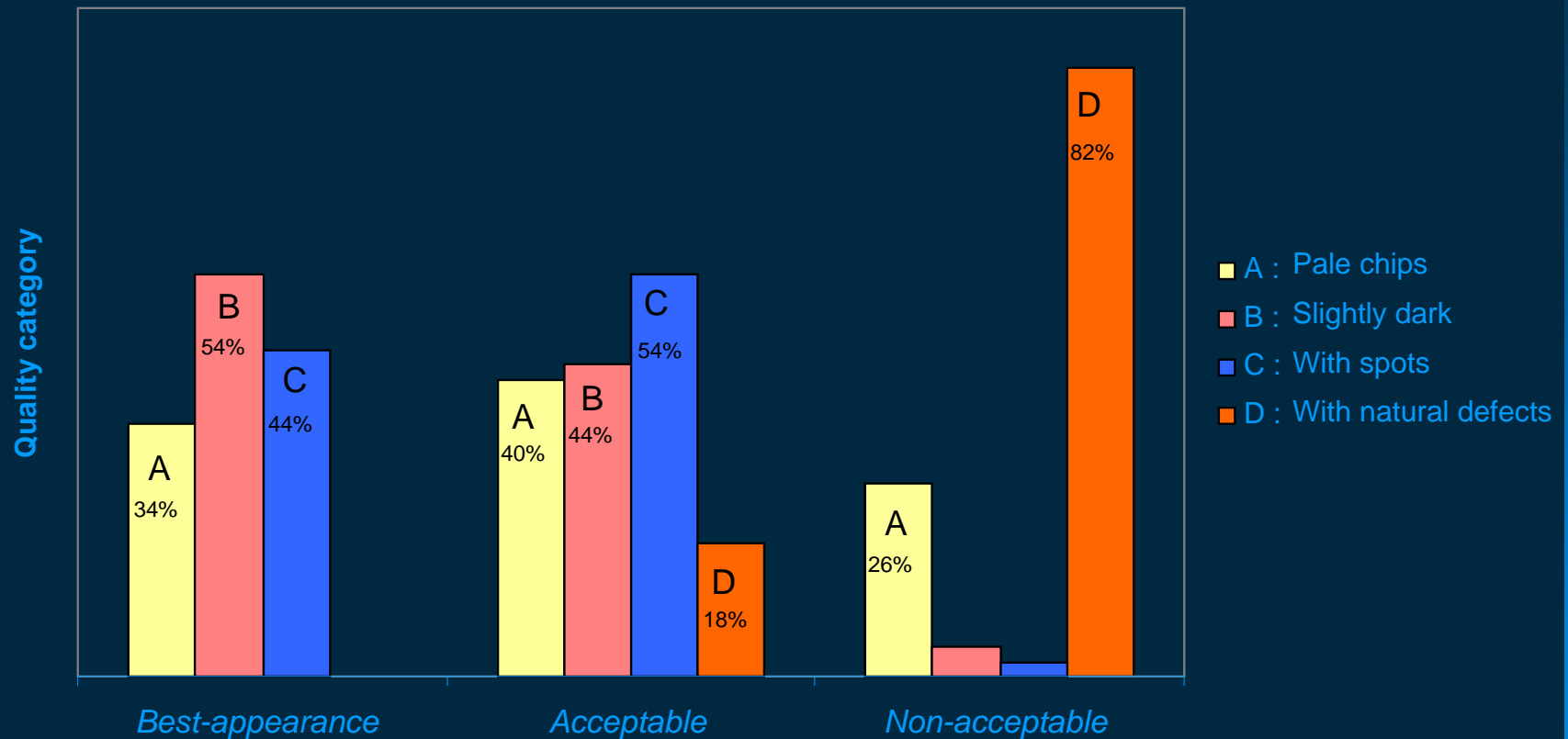
- ◆ Lebensmittelindustrie

- Qualitätskontrolle von Kartoffelchips

[Mendoza07]



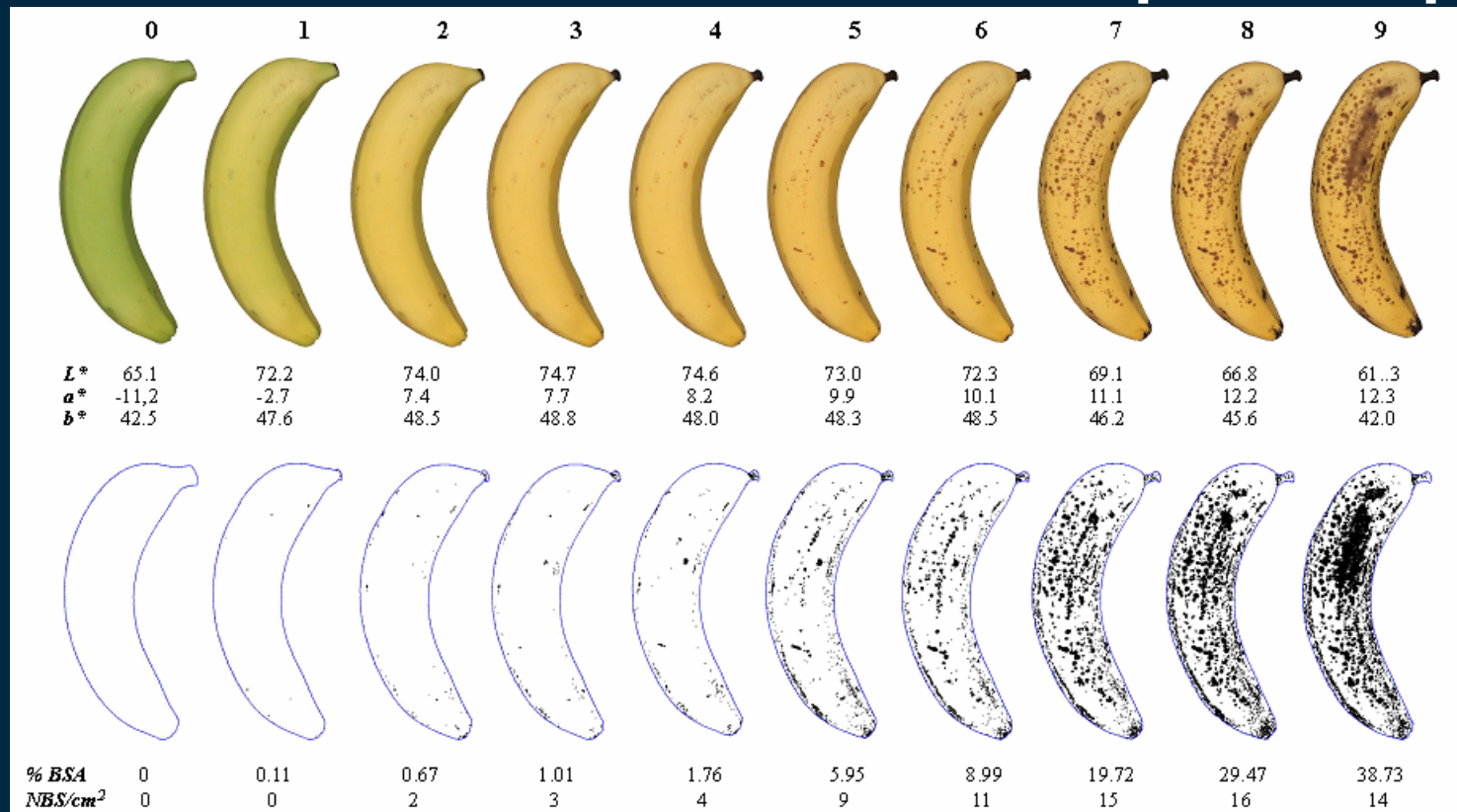
- ◆ Lebensmittelindustrie
  - Korrelation mit Verbraucherpräferenzen



mit freundlicher Genehmigung von Mendoza

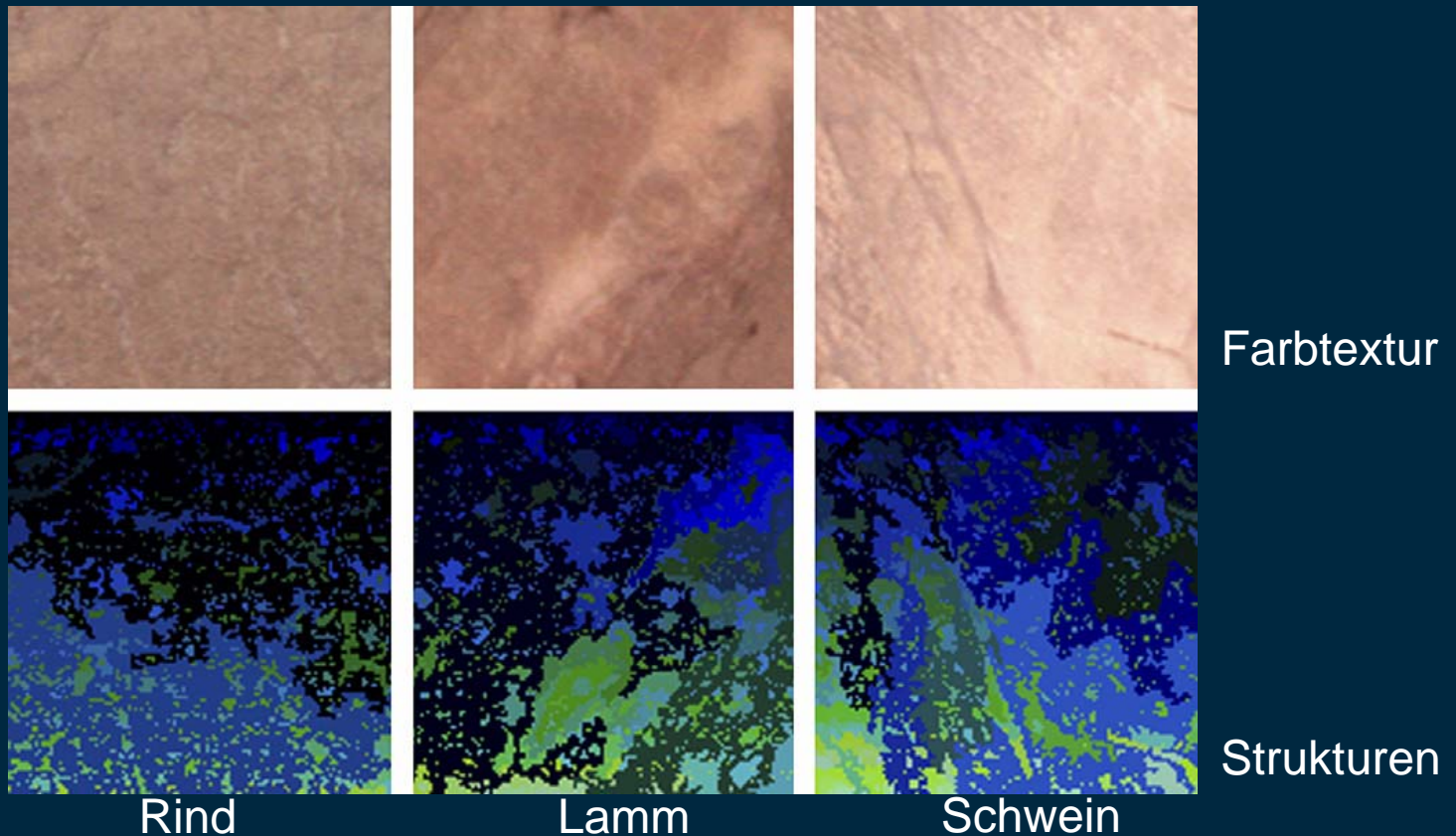
- ◆ Lebensmittelindustrie
  - Messung des Reifungsgrades von Bananen

[Mendoza07]



- ◆ Lebensmittelindustrie
  - Qualitätskontrolle für Fleisch

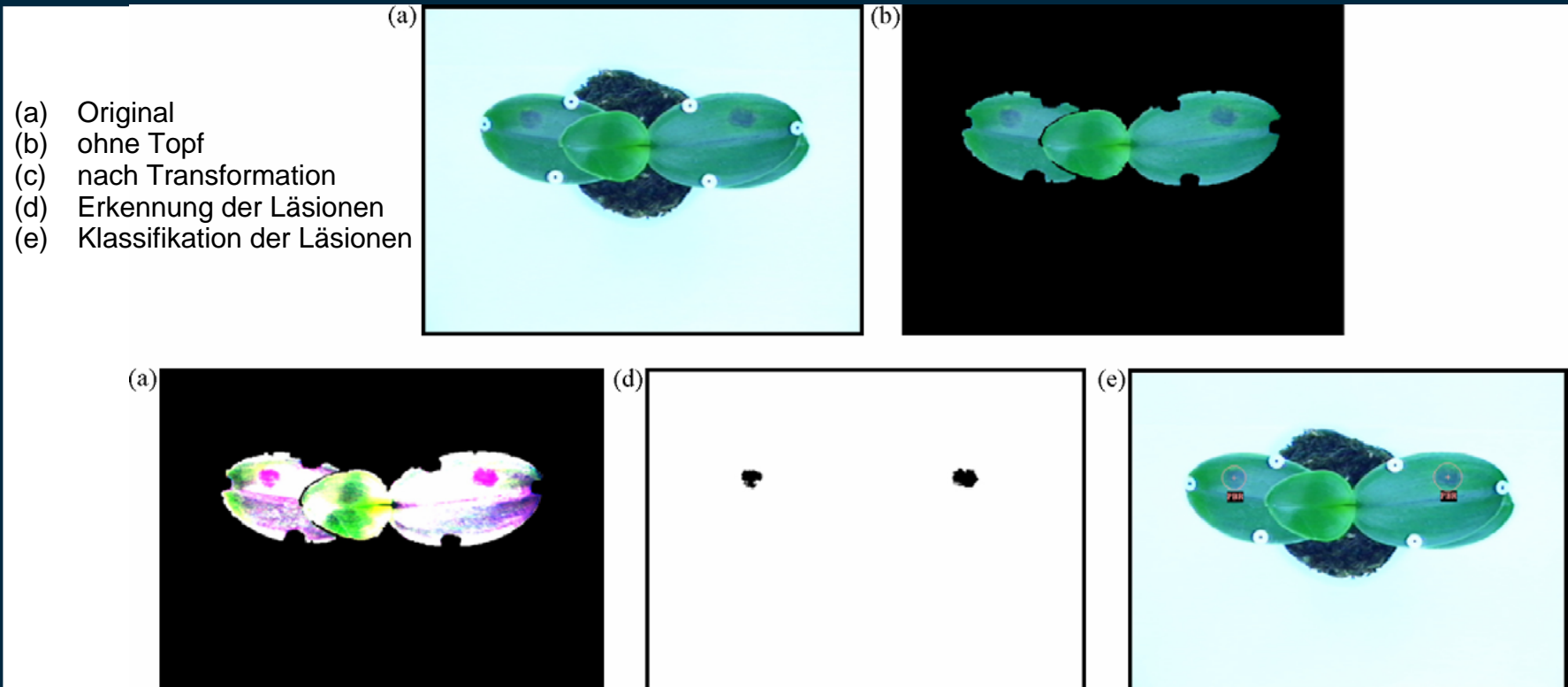
(aus: [Zengh07])



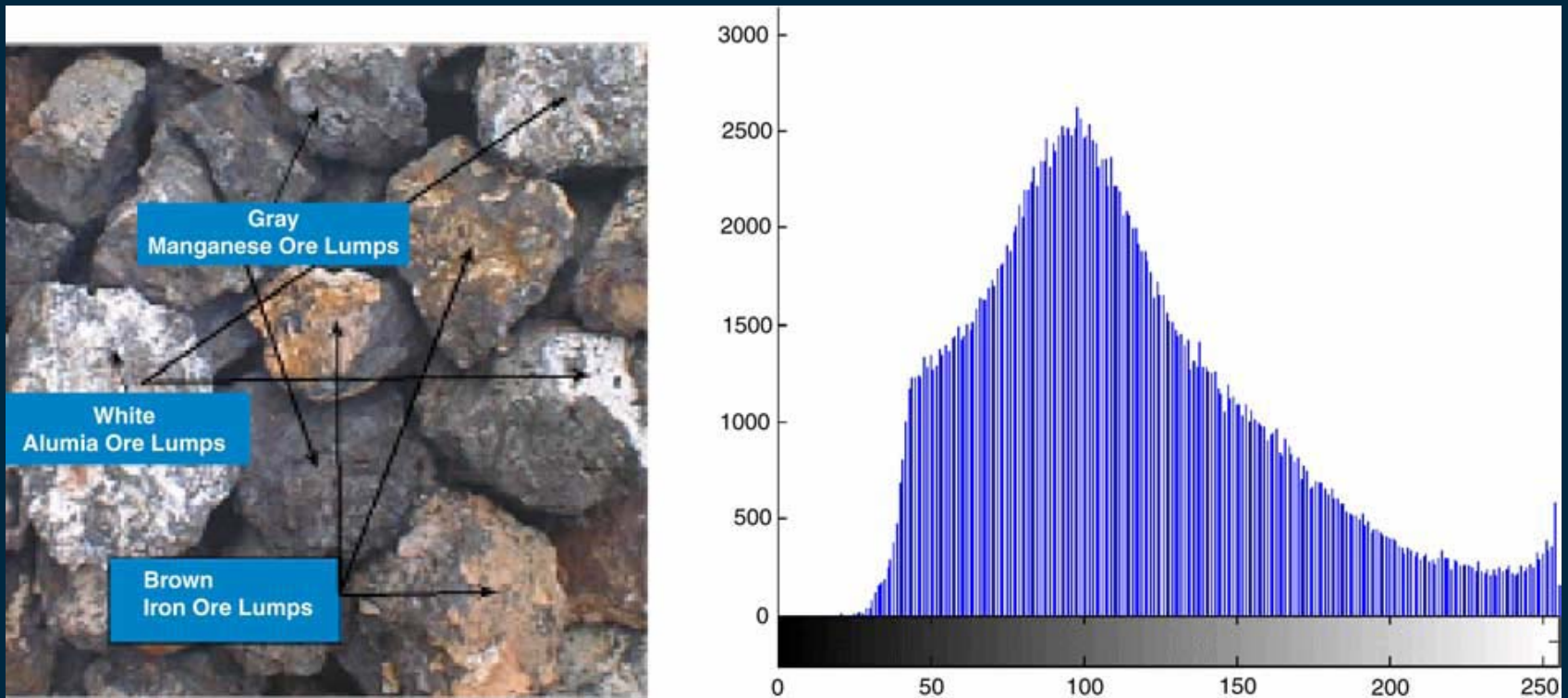
Einführung Konzepte	Statistische Farbtexturanalyse	Signaltheoretische Farbtexturanalyse	Experimentelle Ergebnisse	<b>Diskussion Anwendungen</b>
------------------------	-----------------------------------	---	------------------------------	-----------------------------------

## ◆ Floristik

- Erkennung und Klassifikation von Krankheitsbilder bei Orchideen (Phalaenopsis)
  - verursacht durch Pilze, Viren und Bakterien (aus: [Huang07])

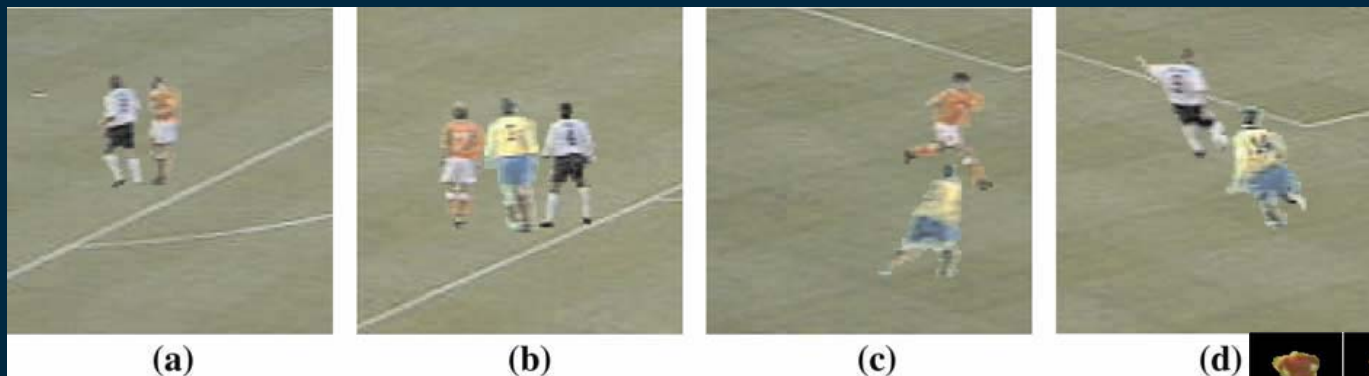


- ◆ Chemische Industrie
  - Qualitätskontrolle für Erz
    - wichtig, weil Erz Ausgangsprodukt für Produktion ist  
(aus: [Singh05])

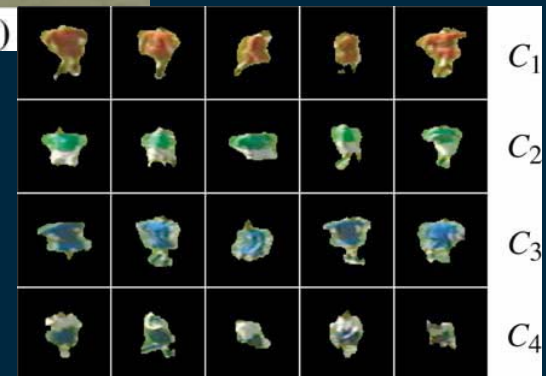




- ◆ Fernsehen, Überwachungssysteme
  - Segmentierung und Verfolgung von Fußballspielern
    - Nachstellen von Spielsituationen
    - ähnliche Systeme auch für Überwachungssysteme zur Personenverfolgung denkbar (aus: [Vandenbroucke03])



typische Spielsituationen



Extraktion gesuchter Regionen

Einführung Konzepte	Statistische Farbtexturanalyse	Signaltheoretische Farbtexturanalyse	Experimentelle Ergebnisse	Diskussion Anwendungen
------------------------	-----------------------------------	---	------------------------------	---------------------------



- Strukturelle Texturanalyse
  - Lin H-C, Wang L-L, Yang S-N: Regular-texture image retrieval based on texture-primitive extraction. *Imag. Vis. Comp.* 17, 51-63, 1999
  - Zheng C, Sun D-W, Zheng L: A new region-primitive method for classification of colour meat image texture based on size, orientation, and contrast. *Meat Science* 76, 620-627, 2007
- Parallele Farbtexturanalyse
  - Allili MS, Ziou D: Globally adaptive region information for automatic color-texture image segmentation. *Pat. Recog. Lett.*, in press, 2007
  - Chen J, Pappas TN, Mojsilovic A, Rogowitz BE: Image Segmentation by spatially adaptive color and texture features, *IEEE*, 1005-1008, 2003
  - Dubisson-Jolly M-P, Gupta A: Color and texture fusion: application to aerial image segmentation and GIS updating. *Imag. Vis. Comp.*, 18(10), 823-832, 2000
  - Han M, Tang X, Cheng L: An improved fuzzy ARTMAP network and its application in wetland classification, *IEEE*, 3432-3435, 2004



- Parallele Farbtexturanalyse
  - Huang K-Y: Application of artificial neural network for detecting Phalaenopsis seedling diseases using color and texture features, *Comp. Electr. Agriculture* 57, 3-11, 2007
  - Manjunath BS, Ohm J-R, Vasudevan VV, Yamada A: Color and texture descriptors, *IEEE Trans. Circ. Syst. Video Techn.* 11(6), 703-715, 2001
  - Mäenpää T, Pietikäinen M, Viertola J: Separating color and pattern information for color texture discrimination. *IEEE*, 668-671, 2002
  - Mäenpää T, Pietikäinen M: Classification with color and texture: jointly or separately? *Pat. Recog.* 37, 1629-1640, 2004
  - Mendoza F, Dejmek P, Aguilera JM: Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. *Food Research Intern.*, in press, 2007.
  - Pompl R: Quantitative Bildverarbeitung und ihre Anwendung auf melanozytäre Hautveränderungen, *Diss.*, Technische Universität München, 2000



- Parallele Farbtexturanalyse
  - Singh V, Rao SM: Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification. Minerals Engineering 18, 1412-1420, 2005
  - Vanhamel I, Katartzis A, Sahli H: Hierarchical segmentation via diffusion scheme in color/texture feature space. ICIP 1, 969-972, 2003
- Sequentielle Farbtexturanalyse
  - Chang C-C, Wang L-L: Color texture segmentation for clothing in a computer-aided fashion design system. Imag. Vis. Comp. 14, 685-702, 1996
  - Chen Y-S, Chiu S-S: Approach to extracting the human body framework from a color image. Procs. SPIE 4550, 221-227, 2001
  - Hauta-Kasari M, Parkkinen J, Jaaskelainen T, Lenz R: Multi-spectral texture segmentation based on the spectral cooccurrence matrix. Pat. Anal. Appl. 2, 275-284, 1999



- Sequentielle Farbtexturanalyse
  - Kukkonen S, Kälviäinen H, Parkkinen J: Color Features for Quality Control in Ceramic Tile Industry. Opt. Eng. 40(2), 170-177, 2001.
  - Van den Broek EL, Rikxoort EM: Parallel-sequential texture analysis. ICAPR 2, 532-541, 2005
- Integrative Farbtexturanalyse
  - Arvis V, Debain C, Berducat M, Benassi A: Generalization of the cooccurrence matrix for colour images: application to colour texture classification. Imag. Anal. Stereol. 23, 63-72, 2004
  - Fernandez L, Castellero C, Aguilera JM: An application of image analysis to dehydration of apple discs. J. Food Eng. 67, 185-193, 2005
  - Ilgner J, Palm C, Schütz A, Spitzer K, Westhofen M, Lehmann TM: Colour Texture Analysis for Quantitative Laryngoscopy, Acta Otolaryngol. 123, 730-734, 2003



- Integrative Farbtexturanalyse
  - Lakmann R, Priebe L: A reduced covariance color texture model for micro-textures. Procs. 10th Scand. Conf. Imag. Anal. 1997
  - Lakmann R: Statistische Modellierung von Farbtexturen, Diss., Universität Koblenz-Landau, Fölbach, Koblenz, 1998
  - Liang Y, Wilder J: Color texture analysis: a unified approach. Procs. SPIE 3521, 1998
  - Liu JJ, MacGregor JF: On the extraction of spectral and spatial information from images. Chemometr. Intell. Lab. Syst. 85, 119-130, 2007
  - Lira J, Rodriguez A: A divergence operator to quantify texture from multi-spectral satellite images. Int. J. Rem. Sens. 27(12-14), 2683-2702, 2006
  - Münzenmayer C: Color Texture Analysis in Medical Applications, Der Andere Verlag, Tönning, 2006
  - Ooi WS, Lim CP: Fuzzy clustering of color and texture features for image segmentation: a study on satellite image retrieval. J. Intell. Fuzzy Syst. 17, 297-311, 2006



- Integrative Farbtexturanalyse
  - Palm, C: Color Texture Classification by Integrative Co-Occurrence Matrices, Pat. Recog. 37(5), 965-976, 2004
  - Palm, C; Lehmann, TM: Classification of Color Textures by Gabor Filtering, Machine Graph. Vis. 11(2/3), 195-219, 2002
  - Paschos G: Perceptually uniform color spaces for color texture analysis: an empirical evaluation. IEEE Trans. Imag. Proc. 10(6), 932-937, 2001
  - Shi M, Healey G: Hyperspectral texture recognition using a multiscale opponent representation. IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 41(5), 1090-1095, 2003
  - Vandenbroucke N, Macaire L, Postaire J-G: Color image segmentation by pixel classification in an adapted hybrid color space. Application to soccer image analysis. Comp. Vis. Imag. Underst. 90, 190-216, 2003
  - Vandenbroucke N, Macaire L, Postaire J-G: Unsupervised color texture feature extraction and selection for soccer image segmentation. IEEE ICIP, 2000



- Integrative Farbtexturanalyse
  - Van de Wouwer G, Scheunders P, Livens S, Van Dyck D: Wavelet Correlation Signatures for Color Texture Characterization, Pat. Recog. 32, 443-451, 1999
  - Vasquez VMR: Approaches to color- and texture-based image classification. Opt. Eng. 41(7), 1480-1490, 2002
  - Yu H, Li M, Zhang H-J, Feng J: Color texture moments for content-based image retrieval, IEEE ICIP, 929-932, 2002
- Komplexe und quaternionische Farben
  - Frey H: Digitale Bildverarbeitung in Farbräumen, Diss., Technische Universität München, 1988
  - McCabe A, Caelli T, West G, Reeves A: Theory of Spatiochromatic Image Encoding and Feature Extraction. J. Opt. Soc. Am. A 17(10), 1744-1754, 2000
  - Shi L, Funt B: Quaternion color texture segmentation. Comp. Vis. Imag. Underst. 107, 88-96, 2007