

appeared in  
10. Workshop Farbbildverarbeitung 2004, Koblenz, Online-Proceedings  
<http://www.uni-koblenz.de/icv/fws2004/>

## Symmetrie als kognitives Bildmerkmal

Kai Hübner

Bremer Institut für Sichere Systeme, FB3  
Universität Bremen, Postfach 330440, 28334 Bremen  
khuebner@informatik.uni-bremen.de

**Zusammenfassung.** Symmetrie ist in der Natur sowie im alltäglichen Leben ein in vielfältiger Weise vorhandenes und weitverbreitetes Merkmal, an dessen Ergründung und Verwertung bereits in unterschiedlichen Domänen geforscht wurde. Auf dem Gebiet der maschinellen Bildverarbeitung beschreibt die Symmetrie im Gegensatz zu bekannteren Verfahren der Merkmalsextraktion wie der Kantenerkennung ein regionales Merkmal, dessen Aussagekraft mit der betrachteten Region wächst. Der daraus entstehende Nachteil vieler Ansätze ist daher im hohen Aufwand an Rechenzeit zu sehen, begründet durch die notwendigerweise weitreichenderen Operatoren zur Symmetrienerkennung. In der Literatur aufgezeigte psychophysische Experimente zur Symmetrieanalyse bekräftigen die These, dass vertikale und horizontale Spiegelsymmetrien die bedeutendsten Symmetriemerkmale in der menschlichen Wahrnehmung darstellen. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurden in bisheriger Arbeit diese Symmetriearten in einen eigenen Ansatz eingebunden, mit dem somit ein einfacher, schneller und kompakter Operator zur Verfügung gestellt wird. Im diesem Beitrag wird Symmetrie als Merkmal motiviert, sowie erzielte Ergebnisse des Symmetrieoperators vorgestellt.

### 1 Einführung und Motivation

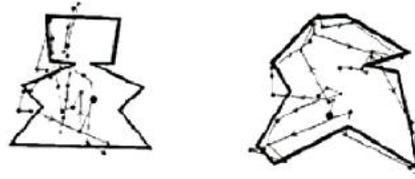
Viele Gegenstände des täglichen Gebrauchs besitzen eine auf die ein oder andere Art symmetrische Struktur. Tiere und Menschen nutzen Symmetrie als Landmarke zur visuellen Exploration von Objekten und Umgebungen. Bis heute wurden viele unterschiedliche Aspekte der Symmetrie in verschiedenen Domänen erforscht, angefangen in der Biologie [12, 8, 5], auf den Gebieten der Psychologie und Psychophysik [15, 14] und der Mathematik<sup>1</sup>, sowie auch in der maschinellen Bildverarbeitung. In Letzterem wird die Symmetrie bevorzugt als zweidimensionales Aufmerksamkeitsmerkmal zur Detektierung von signifikanten Regionen (sog. „Regions-of-Interest“) oder zur Orientierungserkennung von Objekten eingesetzt. Dabei werden in erster Linie reflektive Symmetrien (Spiegelsymmetrien) genutzt, aber auch Ansätze zur Erkennung rotationaler Symmetrien (Drehsymmetrien) sind in der Literatur zu finden.

Locher und Nodine [14] ermittelten anhand von Testreihen, dass insbesondere Spiegelsymmetrien und deren Orientierung von wichtiger Bedeutung für das menschliche Sehen sind. Es konnte gezeigt werden, dass Menschen bei Vorhandensein von horizontaler oder vertikaler Symmetrie in einer Szene die Symmetrieachsen äußerst schnell

---

<sup>1</sup> Viele Aspekte, die sich auf Natur und Mathematik beziehen, finden sich z.B. im Buch „Denkt Gott symmetrisch? - Das Ebenmaß in Mathematik und Natur“ von Stewart und Golubitsky [18]

erkennen und zur weiteren visuellen Exploration der Szene ausnutzen können (siehe Abb. 1). An diesem Beispiel lässt sich die Existenz und Effektivität der Eigenschaft des menschlichen Auges, Symmetrien zu erkennen und auch auszunutzen, deutlich nachvollziehen.



**Abb. 1.** Visuelle Exploration einer vertikal symmetrischen (links) und einer asymmetrischen Figur (rechts) [14].

Palmer und Hemenway [15] betrachteten in ähnlichen Experimenten die Erkennungszeit von unterschiedlich orientierten Polygonen. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass besonders der Detektierung von Spiegelsymmetrien eine hohe Bedeutung zukommt. Die Unterschiede in der Erkennung der Figuren zeigen auf, dass vom Menschen vertikale Spiegelsymmetrie<sup>2</sup> sehr oft und wesentlich schneller visuell erkannt wird als horizontale Spiegelsymmetrie, diese wiederum besser und schneller als sonstige Spiegelsymmetrien.

Diese beiden Arbeiten sind beispielhaft für weitere, die Symmetrie als visuelles Merkmal aus biologischer und psychophysischer Sicht motivieren (siehe z.B. Arbeiten von Barlow und Reeves [1], Csathó et al. [4] oder ein gesammeltes *Special Issue on The Perception of Symmetry* [19]).

## 2 Verwandte Arbeiten

Neben ihrem Einfluss auf die menschliche Wahrnehmung wurde die Symmetrie bereits in verschiedensten Anwendungen der maschinellen Bildverarbeitung betrachtet. Es finden sich einige einführende Arbeiten, die Symmetrie als Merkmal in unterschiedlichsten Anwendungen motivieren [20, 17, 13]. Im Folgenden werden Ideen, Ergebnisse und Probleme einer Auswahl einschlägiger Ansätze zur Symmetriestimmung vorgestellt.

Reisfeld et al. [17] definieren eine verallgemeinerte Symmetrietransformation, die Spiegelsymmetrie zur Extraktion von Aufmerksamkeitsbereichen verwendet. Der zweidimensionale Operator beinhaltet sowohl Symmetrie- als auch Gradienteninformation. Dadurch entsteht neben dem Problem der Komplexität (2D-Faltung) zudem der Nachteil, dass symmetrische, aber schwach kontrastierte Regionen (z.B. Wände) kaum Beachtung finden (Beispiel in Abb. 3(b)).

Di Gesù und Valenti präsentieren eine diskrete Symmetrie-Transformation (DST), beschleunigt durch die Auswahl nicht uniformer Bildbereiche. Das hieraus resultierende Symmetriebild wird hier für Aufgaben der Gesichtserkennung, Bildsegmentierung

<sup>2</sup> Unter vertikaler Spiegelsymmetrie wird durchgängig eine Spiegelsymmetrie an einer vertikalen Achse verstanden (siehe auch Beispiel in Abb. 1).

und Objektklassifikation [6] sowie der Bewegungsanalyse [7] weiterverwendet. Wie beim vorigen Ansatz auch, bestehen die wesentlichen Probleme in der Mächtigkeit und Parametrisierbarkeit des Operators, die sich in langsamer Berechnung und Unhandlichkeit niederschlagen (Beispiel in Abb. 3(c)).

Von Chetverikov [2, 3] wird als Basis der Symmetrienerkennung ein Regularitätswert anhand der symmetrischen Struktur einer Textur bestimmt. Dieser Ansatz erweist sich als sehr aufwändig, da für jeden Bildpunkt eine Umgebung bezüglich ihrer Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) analysiert werden muss. Erst basierend auf diesem Ergebnis wird eine Symmetriestruktur bestimmt, welche die Texturorientierung beschreibt. Für die Extraktion von Merkmalspunkten ist dieser Ansatz eher ungeeignet, nicht nur wegen der Aufwändigkeit des Verfahrens, sondern auch aufgrund der Tatsache, dass das hier extrahierte Merkmal eine Textur als Gesamtbild beschreibt (siehe Abb. 4).

Bereits aus diesen ausgewählten Arbeiten ist zu erkennen, dass sich viele Ansätze zur Symmetriestimmung teilweise stark in den angewandten Methoden und somit auch in der Art der Resultate unterscheiden. Einige Ergebnisse beschreiben die Symmetriermittlung für ein Bild einer Textur oder eines Objektes vor einem einfarbigen Hintergrund und sind damit ohne objektextrahierende Vorverarbeitungsschritte eher ungeeignet für die im Bereich Robotersehen erwünschte Bestimmung von Landmarken aus Szenenbildern. Viele Methoden lassen Spiegelsymmetrie beliebiger Orientierung einfließen oder geben erste Ansätze zur Extraktion drehsymmetrischer Eigenschaften (siehe z.B. Arbeiten von Johansson et al. [11]) und sind somit sehr rechenaufwändig.

### 3 Methode

Mit dem im Folgenden beschriebenen Ansatz wird dagegen ein einfacher, schneller und kompakter Operator zur Verfügung gestellt, der Symmetriewerte beliebiger Objekte ermittelt und den Echtzeitanforderungen von Roboteranwendungen trotzdem entgegenkommt. Die genannten psychologischen Experimente zeigen, dass vertikale und horizontale Spiegelsymmetrien die wichtigsten Symmetriemerkmale in der menschlichen Wahrnehmung sind. Auf der Basis dieser Ergebnisse werden nur diese speziellen Symmetriearten in den Operator eingebunden. Diese Auswahl zeigt sich auch als vorteilhaft, wenn in Betracht gezogen wird, dass ein digitales Bild durch ein zweidimensionales Feld horizontal und vertikal angeordneter Bildelemente dargestellt wird und Probleme wie Interpolation und die Benutzung trigonometrischer Funktionen nicht auftreten. Somit müssen zur Bestimmung der vertikalen Symmetrieeigenschaften<sup>3</sup> eines Pixels  $p_{x,y}$  nur Bildpunkte in derselben Bildreihe  $R(y)$  in Betracht gezogen werden. Entsprechend für horizontale Symmetrie die Bildpunkte in derselben Bildspalte  $C(x)$ . Da sich die Methoden aber entsprechen, wird im Weiteren nur auf den vertikalen Fall eingegangen.

Ein wichtiger Aspekt des Robotersehens ist die Verarbeitung von Realbildern. Da diese im Allgemeinen verrauscht sind, würde ein Operator zur Bestimmung exakter Symmetrie inakzeptable Ergebnisse liefern. Aus diesem Grund wird der folgende Operator, basierend auf einer normalisierten mittleren quadratischen Fehlerfunktion, zur Ermittlung von vertikaler Symmetrie vorgeschlagen:

$$S_v(p_{x,y}, m) = 1 - \frac{1}{N \cdot m} \sum_{i=1}^m \sigma(i, m) \cdot g_v(p_{x-i,y}, p_{x+i,y})^2 \quad (1)$$

<sup>3</sup> Im Folgenden wird unter Symmetrie generell Spiegelsymmetrie verstanden.

$N$  beschreibt eine Normalisierungskonstante, die gemäß der Farbtiefe des Bildes und abhängig von einer zur Gewichtung der Fehler genutzten radialen Basisfunktion  $\sigma(i, m)$  gewählt werden muss. Hierdurch wird ein normierter Symmetriewert gewährleistet, der für Analyse und Weiterverarbeitung von Vorteil ist. Die Maskengröße  $m$  gibt die für die Symmetriebestimmung einzubeziehende Umgebung an, in der ein Symmetriewert für  $p(x, y)$  bestimmt werden soll. Die Differenz zwischen zwei sich gegenüberliegenden Bildpunkten wird durch die Gradientenfunktion  $g_v$  bestimmt, gängigerweise als Euklidische Distanz zwischen den entsprechenden Farbvektoren  $\mathbf{p}_{x-i,y}$  und  $\mathbf{p}_{x+i,y}$ :

$$g_v(\mathbf{p}_{x-i,y}, \mathbf{p}_{x+i,y}) = \begin{cases} \|\mathbf{p}_{x-i,y} - \mathbf{p}_{x+i,y}\| & \text{if } p_{x-i,y} \in R(y) \wedge p_{x+i,y} \in R(y) \\ c & \text{sonst,} \end{cases} \quad (2)$$

wobei  $c$  den maximal errechenbaren Fehler beschreibt. Dadurch wird die Gesamtfehlerfunktion anteilig stark angehoben, sobald ein Bildpunkt in Betracht gezogen wird, der außerhalb des Bildes liegt. Ein Beispielresultat des Operators ist in Abb. 3(d) zu sehen. Insbesondere sind hier folgende Punkte die Operatorgröße betreffend zu beachten:

- Symmetrie ist ein Merkmal, das mit der Größe der betrachteten Region an Bedeutung gewinnt. Je kleiner  $m$ , desto weniger aussagekräftig ist der ermittelte Wert.
- Größere Masken fallen häufiger neben den sichtbaren Bildbereich. Durch diese Unsicherheiten werden Werte am Bildrand stärker geschwächt.
- Je größer  $m$  gewählt wird, desto aufwändiger die Berechnung und desto höher die Störungsanfälligkeit, z.B. durch Schattenwurf, Verdeckung oder perspektivische Verzerrung.

Die diesbezügliche Schwäche weisen die meisten der Ansätze auf, daher beschreibt die Wahl von  $m$  den wesentlichen Nachteil der bekannten Methoden aus der Bildverarbeitung. Fast durchgängig wird ein Operator einer auszuwählenden Maskenweite verwendet, um Symmetrie in einem zuvor definierten Bereich zu ermitteln. A priori ist es aber ohne Vorwissen unmöglich, genau die Maskenweite zu wählen, die das beste Ergebnis liefert. Die Qualität des Ergebnisses hängt von der Übereinstimmung der Maskenweite mit der im Bild anzufindenden Weite der symmetrischen Region ab.

Eine interessantere Möglichkeit der Merkmalsextraktion besteht in der Detektierung von Symmetrieachsen als visuelle Landmarken. In den durch den Operator erzeugten Symmetriebildern können die Achsen nicht notwendigerweise dort gefunden werden, wo hohe Symmetriewerte auftreten, aber dort, wo diese ein Maximum annehmen. Obwohl die Extraktion von Extremwerten eines Symmetriebildes leichtes Rauschen in den erzeugten Binärbildern verursacht, ist sie wesentlich signifikanter als die Anwendung eines Schwellwertes, da der optimale Schwellwert von Anwendung zu Anwendung oder sogar von Bild zu Bild variieren kann.

## 4 Anwendung

Ein Großteil der bisherigen Anwendungen des beschriebenen Operators nutzt Symmetrieachsen als Merkmal statt der Symmetriewerte an sich [9]. In [10] wurde für die Domäne des RoboCup<sup>4</sup> ein Verfahren vorgestellt, welches Linien basierend auf diesem

<sup>4</sup> RoboCup ist eine internationale Initiative zur Förderung der Forschung in den Bereichen Künstliche Intelligenz und Autonome Mobile Roboter, die vor allem durch ihre Aktivität im Roboterfußball großes Interesse hervorruft.

Symmetrieoperator extrahiert. Die durch Symmetrie erkannten Linien können sinnvoll als neues Perzept genutzt werden und sich in weiteren Anwendungen einbringen lassen. Während die zuvor genannten Arbeiten die Ausarbeitung und die Fähigkeiten des entwickelten Symmetrieoperators an sich wiedergeben, wurden Symmetriemerkmale auch auf Panoramabildern berechnet und in darauf aufbauenden Verfahren verwendet. In [16] wurden in einem omnidirektionalen Sichtsystem Symmetriemerkmale für Anwendungen der mobilen Robotik genutzt.

Als neue Anwendung soll hier die Idee motiviert werden, Symmetrie als Datenreduktionsansatz zur Farbklassifikation zu nutzen. Dabei wird die These vertreten, dass durch Symmetrie ausgezeichnete Bildpunkte einen Großteil der signifikanten Farbinformation des Gesamtbildes beinhalten. Zur Prüfung dieses Ansatzes wurde ein semi-automatischer Linde-Buzo-Gray-Algorithmus auf Basis des  $k$ -means-Clusterverfahrens zur Farbklassifikation implementiert. In einem Quellbild vorhandene Farbwerte werden in den YUV-Farbraum übertragen und die sich dort bildenden Punktwolken entsprechend des LBG-Algorithmus als Normalverteilungen angenähert. Die Approximation geschieht automatisch, die Beurteilung und eventuelle Aufspaltung zur erneuten automatischen Anpassung der gefundenen Farbklassen dagegen manuell. Im ersten Schritt (Abb. 5 oben) wird diese Klassifikation auf den Gesamtdaten ausgeführt, im zweiten (Abb. 5 mittig) dann separat mit den auf Symmetrieachsen reduzierten Daten. Abschließend wird eine Farbklassifizierung der Gesamtdaten anhand der im zweiten Schritt ermittelten Farbklassen durchgeführt (Abb. 5 unten).

	Vollständig	Reduziert	Anteil
<i>Datenpunkte</i>	25.344	1.619	6 %
<i>Farbeinträge</i>	752	186	25 %
<i>Ermittelte Klassen</i>	7	13(8)	186 %
<i>Klassifikationsrate</i>	1	0.96	96 %

**Tabelle 1.** Vergleich vollständiger und auf Symmetrien reduzierter Klassifikation (siehe Abb. 5).

Wie auch im Vergleich in Tab. 1 zu erkennen, ist es durch Symmetrieachsendetektion in diesem Beispiel möglich, durch einen Bruchteil der Daten immer noch eine gute Klassifikation zu erreichen. Mit einem optimal klassifizierten Bild wurden die Ergebnisse nicht verglichen, es fällt allerdings auf, dass viele der im vollständigen Fall falsch klassifizierten Daten, die häufig auf den unscharfen Randbereichen liegen, im reduzierten Falle in fünf unbestimmte Klassen aussortiert werden konnten.

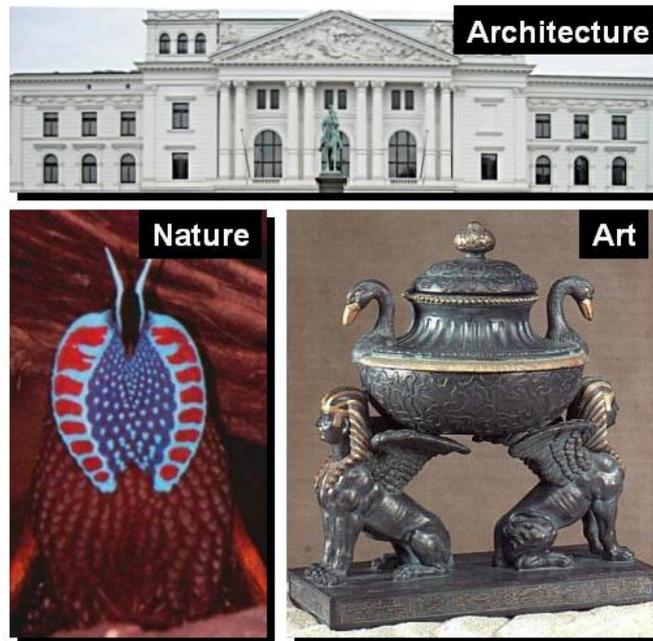
## 5 Zusammenfassung

Symmetrie ist ein nützliches, biologisch motiviertes Merkmal. Die Signifikanz spezieller Spiegelsymmetrien spiegelt sich auch in den Ergebnissen des implementierten Operators wider. Jedoch besitzt der vorgestellte Operator wie auch verwandte Ansätze das Problem der Wahl der Operatorgröße. In zukünftiger Arbeit soll ein laufweitenbasierter Operator entwickelt werden, der als Merkmal die Größe der Umgebung zurückgibt, in der noch ein annehmbares Maß an Symmetrie herrscht, um das genannte Problem zu umgehen. Der Fokus der auf einem Symmetrieoperator basierenden Anwendungen

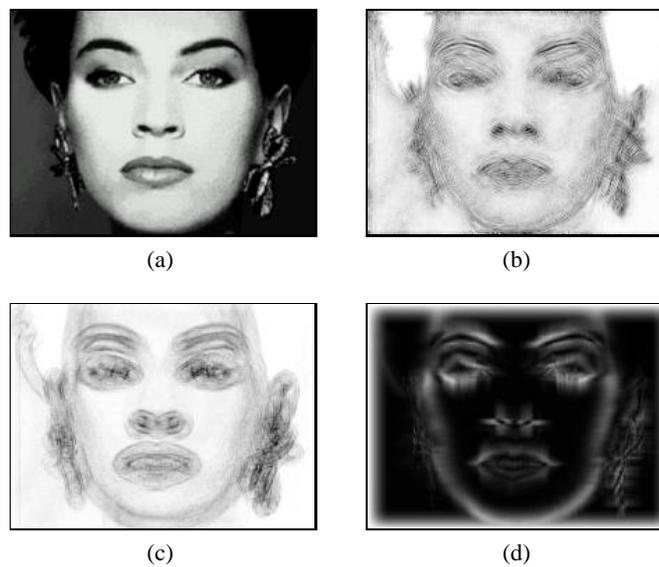
liegt auf der Merkmalsextraktion zur Bestimmung von Landmarken. Mit der vorgestellten Idee zur Farbklassifikation sind die Eigenschaften der Datenreduktion anhand von Symmetrieachsen an einem Beispiel aufgezeigt worden. Eine weitere Ausarbeitung dieses Ansatzes ist allerdings nicht geplant, da sich weitere Ziele auf die Bestimmung von Symmetrielandmarken für Anwendungen der mobilen Robotik konzentrieren.

## Literatur

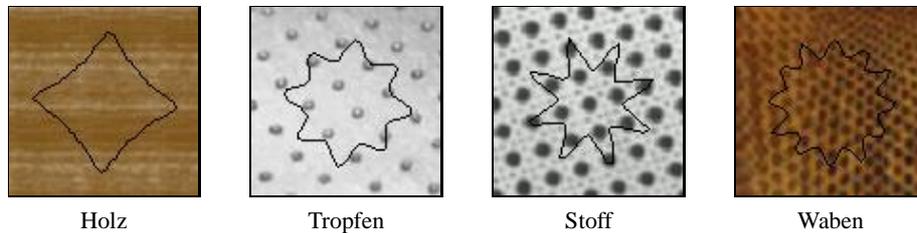
1. H. B. Barlow and B. C. Reeves. The Versatility and Absolute Efficiency of Detecting Mirror Symmetry in Random Dot Displays. *Vision Research*, 19:783–793, 1979.
2. D. Chetverikov. Fundamental Structural Features in the Visual World. In *Proceedings of the International Workshop on Fundamental Structural Properties in Image and Pattern Analysis*, pages 47–58, Budapest, 1999.
3. D. Chetverikov. Texture Analysis Using Feature Based Pairwise Interaction Maps. *Pattern Recognition, Special Issue on Color and Texture*, 32:487–502, 1999.
4. Á. Csathó, G. van der Vloed, and P. A. van der Helm. Blobs strengthen repetition but weaken symmetry. *Vision Research*, 43:993–1007, 2003.
5. J. D. Delius and B. Nowak. Visual Symmetry Recognition by Pigeons. In *Psychological Research*, volume 44, pages 199–212, 1982.
6. V. Di Gesù and C. Valenti. The Discrete Symmetry Transform in Computer Vision. Technical report, DMA Università di Palermo, 1995.
7. V. Di Gesù and C. Valenti. A New Symmetry Operator for the Analysis of Sequences of Images. 1996.
8. M. Enquist and A. Arak. Symmetry, beauty and evolution. *Nature*, 372:169–172, 1994.
9. K. Huebner. A 1-Dimensional Symmetry Operator for Image Feature Extraction in Robot Applications. *The 16th Int. Conf. on Vision Interface (VI'03)*, pages 286–291, June 2003.
10. K. Huebner. A Symmetry Operator and its Application to the RoboCup. In D. Polani, B. Browning, A. Bonarini, and K. Yoshida, editors, *RoboCup 2003: Robot Soccer World Cup VII*, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, 2004.
11. B. Johansson. Rotational Symmetries, a Quick Tutorial. December 2003.
12. M. Kirkpatrick and G. G. Rosenthal. Symmetry without fear. *Nature*, 372:134–135, 1994.
13. Y. Liu. *Computational Symmetry*, chapter 21 of *Symmetry 2000*, pages 231–245. Wenner-Gren International Series, Portland Press, London, December 2000. CMU RI-00-31.
14. P. Locher and C. Nodine. The Perceptual Value of Symmetry. *Comput. Math. Applic.*, 17:475–484, 1989.
15. S. E. Palmer and K. Hemenway. Orientation and Symmetry: Effects of Multiple, Rotational, and Near Symmetries. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4(4):691–702, 1978.
16. D. Popescu, K. Huebner, and J. Zhang. Real-time Intelligent Vision Sensor for Robot Navigation Using Symmetry Features. In *5th International FLINS Conference on Computational Intelligent System for Applied Research*, pages 421–428, 2002.
17. D. Reissfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun. Context Free Attentional Operators: the Generalized Symmetry Transform. *International Journal of Computer Vision*, 14:119–130, 1995.
18. I. Stewart and M. Golubitsky. *Denkt Gott symmetrisch ?* Birkhäuser Verlag, 1992. German translation of the book *Fearful Symmetry: Is God a Geometer?* by Stewart/Golubitsky, ISBN 3-7643-2783-9.
19. C. W. Tyler, editor. *Spatial Vision*, volume 8(4), chapter Special Issue on The Perception of Symmetry. 1994.
20. H. Zabrodsky. Symmetry - A Review. Technical report, Department of Computer Science, The Hebrew University of Jerusalem, May 1990.



**Abb. 2.** Beispiele für Symmetrie im Alltag aus Architektur, Natur und Kunst.



**Abb. 3.** Symmetrieegebnisse verschiedener Operatoren: (a) Originalbild [6] (b) Generalized Symmetry Transform (Reisfeld et al. [17]) (c) Discrete Symmetry Transform (Di Gesù und Valenti [6]) (d) 1D-Operator [9]. Dunklere Grautöne entsprechen jeweils höheren Symmetriewerten.



Holz

Tropfen

Stoff

Waben

**Abb. 4.** Symmetriediagramme einiger Texturbeispiele (Algorithmus von Chetverikov [3]).

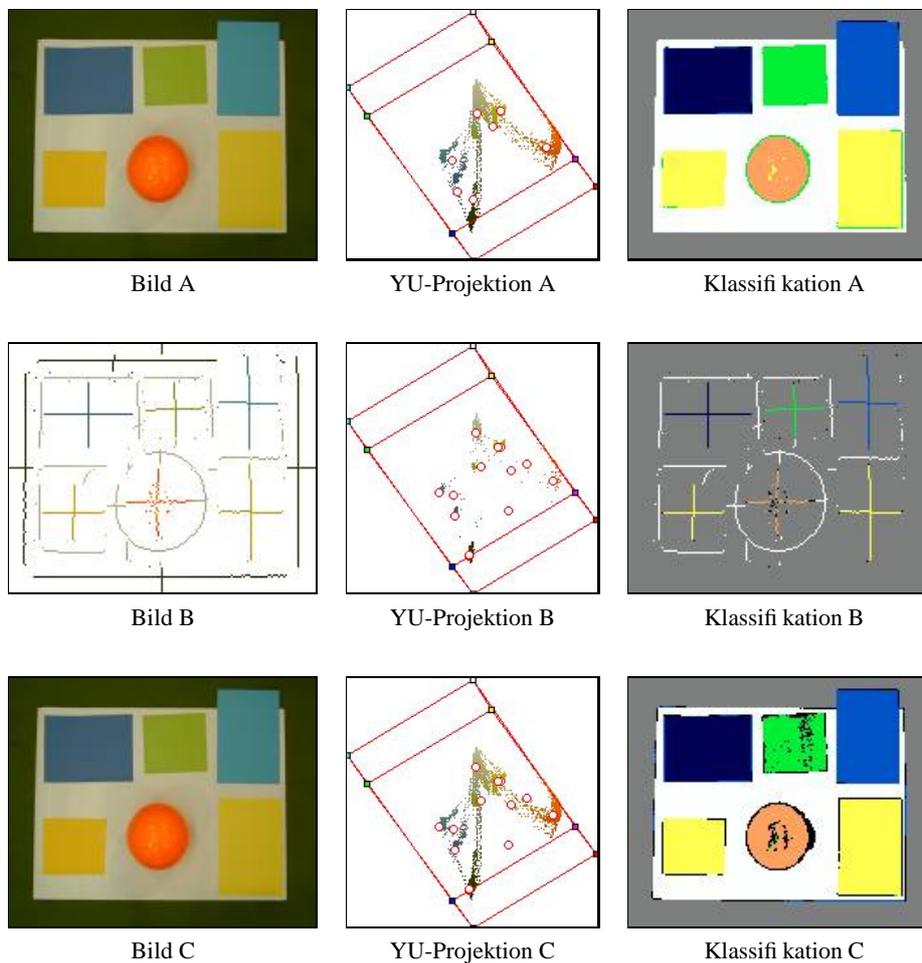


Bild A

YU-Projektion A

Klassifikation A

Bild B

YU-Projektion B

Klassifikation B

Bild C

YU-Projektion C

Klassifikation C

**Abb. 5.** Oben: Vollständige Klassifikation. Mitte: Auf Symmetrieachsen reduzierte Klassifikation. Unten: Klassifikation des vollständigen Bildes anhand der reduzierten Klassen. In der mittleren Spalte jeweils die Projektion des YUV Farbraums auf die YU-Ebene inklusive der ermittelten Farbklassen als Kreise.