

# Untersuchungen zur Antastunsicherheit von Einzelpunkten und Kanten in Farbbildern

Autoren: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Linß, Dr.-Ing. P. Brückner, Dipl.-Ing. Chr. Usbeck

Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Qualitätssicherung  
Industriestraße 27  
98544 Zella-Mehlis

eMail: Gerhard.Linss@shl.tu-ilmenau.de

URL: <http://www.maschinenbau.tu-ilmenau.de/mb/wwwqs/qs.htm>

---

## 1. Einleitung

In vielen Bereichen der industriellen Bildverarbeitung kommen zunehmend Sehsysteme zum Einsatz, die den natürlichen Bildeindruck einer Szene aufnehmen und wiedergeben können. Grund für die sprunghafte Nachfrage und Einsatz von Farbkameras in der Bildverarbeitung ist vor allem die Verfügbarkeit von preisgünstigen, hochauflösenden CCD-Sensoren aus dem Bereich der digitalen Fotografie.

Häufig sind farbbildverarbeitende Systeme dort anzutreffen, wo der Anwender ohne Expertenwissen an die Bedienung eines komplexen Systems herangeführt werden soll.

Ein großer Teil der verfügbaren Bildverarbeitungssysteme ermöglicht zwar die Darstellung eines Farbbildes auf dem Anzeigegerät, arbeitet jedoch systemintern mit monochromen Bilddaten, die durch Transformation der Farbdaten aus dem RGB-Farbraum in den monochromen Wertebereich (Y) hervorgehen. Durch diese Transformation werden die bekannten Algorithmen der Bildverarbeitung zur Kantenortbestimmung auf dem Y-Signal anwendbar. Ein Hauptproblem dieser Vorgehensweise ist die Einschränkung der Kantenortskriterien auf Intensitätskanten im monochromen Bildbereich. Farbübergänge, wie zum Beispiel der Übergang von Rot (R=97, G=0, B=0) nach Blau (R=0, G=0, B=255), gehen durch die Transformation nach Gleichung (1) verloren.

Weiterhin ist beim Vergleich einer Farbkamera mit einer monochromen Kamera gleicher Pixelanzahl aufgrund der unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeit der einzelnen Pixel beim Einsatz einer Ein-Chip-Farbkamera und genannter Transformationsvorschrift ein Verlust an Auflösung zu erwarten.

Schwerpunkt der Forschungsarbeiten sind Untersuchungen zur Antastgenauigkeit bei der Kantenfindung im Y-Signal von monochromen Kameras und Farbkameras und die Untersuchung eines Verfahrens zur Kantenortbestimmung in RGB-Farbbildern.

## 2. Versuchsbeschreibung

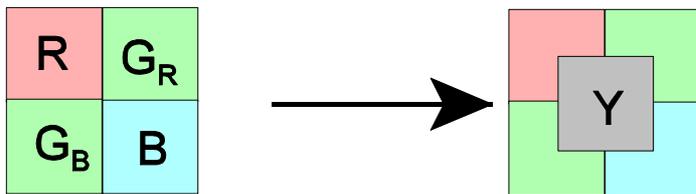
Ausgangspunkt für die Untersuchungen war zunächst der Vergleich der zu erwartenden Antastgenauigkeiten bei der Kantenfindung im Y-Signal aus der Bildinformation eines monochromen und Einchip-Farbsensors. Dabei wurde für die Berechnung des Leuchtdichtesignals (Y) die Standardformel der Farbfernsehtechnik /Mäus 81/ nach Gleichung 1 angesetzt:

$$Y = a_1 * R + a_2 * G + a_3 * B \quad (a_1 = 0,299 ; a_2 = 0,587 ; a_3 = 0,114) \quad (1)$$

Angewandt auf die Farbfilterstruktur der Einchip-Kamera erfolgt die Bestimmung nach Gleichung 2 aus Farbquadrupeln wie in Abbildung 1 verdeutlicht.

$$\begin{aligned}
 Y_{i,j} = & a_1 \cdot R_{\text{int}(\frac{i}{2}) \cdot 2 + 1, \text{int}(\frac{j}{2}) \cdot 2 + 1} + \\
 & a_2 \cdot \left[ G_{\text{int}(\frac{i+1}{2}) \cdot 2, \text{int}(\frac{j}{2}) \cdot 2 + 1} + G_{\text{int}(\frac{i}{2}) \cdot 2 + 1, \text{int}(\frac{j+1}{2}) \cdot 2} \right] + \\
 & a_3 \cdot B_{\text{int}(\frac{i+1}{2}) \cdot 2, \text{int}(\frac{j+1}{2}) \cdot 2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Es entstehen aus  $h \times v$  Pixeln der Farbkamera  $(h-1) \times (v-1)$  digital berechnete Grauwertpixel.



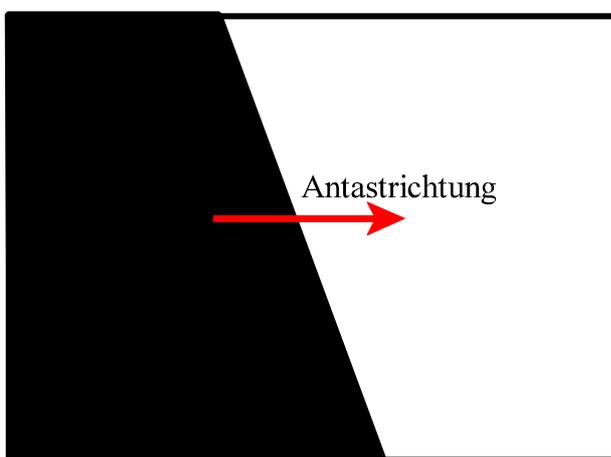
**Abb. 1:** Farbquadrupel Bayer

Diese liegen geometrisch gesehen jeweils an den Kreuzungspunkten der ursprünglichen Rastergeometrie. Jedoch sind Verschiebungen der Schwerpunkte der einzelnen Y-Werte in Abhängigkeit vom Farbfilter zu erwarten.

Darüber hinaus hat die Zusammenfassung von jeweils 4 Pixeln den Charakter einer Mittelwertfilterung.

Gleichzeitig werden zur Darstellung für jedes Farbquadrupel die Farbwerte für Rot = R, Grün =  $0,5 G_B + 0,5 G_R$  und Blau = B berechnet. Bei 8 Bit Verarbeitungstiefe entsteht aus einem 24 Bit RGB-Wert jeweils ein 8 Bit Y-Wert je berechnetem Pixel. Auf das so erzeugte Y-Bild können nun alle für Grauwertbilder verfügbaren Ortsantastverfahren angewandt werden. Ziel der Untersuchung ist nun die theoretische und praktische Bestimmung der Abweichung des Kantenorts, des aus der Farbfilterstruktur berechneten Grauwertbildes zu einem Grauwertbild gleicher Auflösung einer monochromen Kamera.

Für die Bestimmung der Antastgenauigkeit wurde ein statistischer Ansatz über die Streuung und den Mittelwert bei der Kantenantastung in Zeilenrichtung gewählt. Diese Größen ermöglichen eine Aussage über die Trennschärfe in der Abbildung eines Objektpunktes auf ein Pixel /Kühn 97/. Die Trennschärfe ist eine Kameraeigenschaft bzw. eine Eigenschaft des gesamten Bildaufnahmekanals. Durch die Verwendung von Kameras, bei denen die gleiche Sensoransteuerung und der gleiche Sensoraufbau Verwendung findet, kann die Aussage des Ansatzes auf die Trennschärfe des eingesetzten Sensors zurückgeführt werden.



**Abb. 2:** Kantenantastung in Zeilenrichtung

Für die Untersuchung der Messunsicherheit bei der Detektion von Strukturen wurde ein Versuchsaufbau gewählt, bei dem eine schrägliegende Kante in Durchlicht horizontal  $n$ -mal ( $n=100$ ) angetastet wird. Die Schräglage der Kante im Bild gewährleistet, daß in der Abbildung verschiedene Pixelübergänge durchlaufen werden und somit Pixelsprünge durch die Transformation ermittelt werden können. Die Antastung der Kante erfolgte mit dem Verfahren des „maximalen Anstieges“. Zur Ermittlung der Subpixelposition kam das Verfahren der Interpolation und der fotometrischen Mitte zum Einsatz. Hier-

durch ist man auch in der Lage verfahrensbedingte Fehler zu bewerten.

Um signifikante Aussagen bezüglich der Abweichungen machen zu können, wurden verschiedene Forderungen an den Versuchsaufbau gestellt:

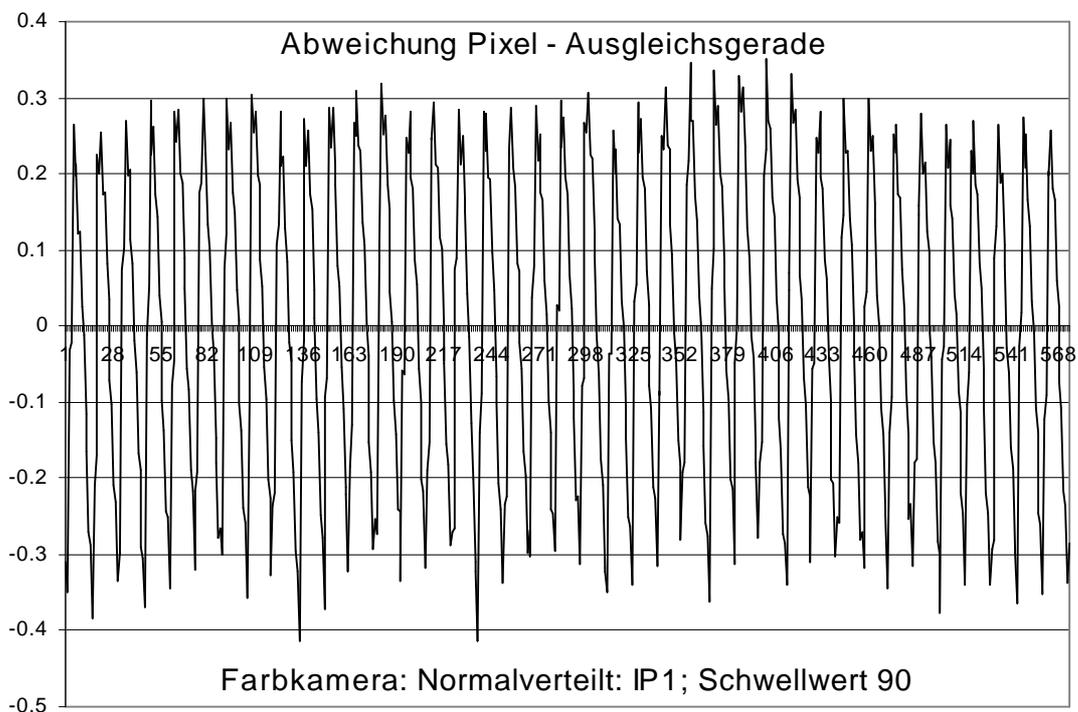
- S Die Beleuchtung des Objektes sollte mit einer Gleichstromquelle betrieben werden, um Antastfehler durch Lichtschwankungen auszuschließen.
- S Die Kantenlage in der Bildebene sollte einstellbar sein, um die annähernd gleiche subpixelgenaue Abbildung des Objektes im Bild zu gewährleisten. Damit ist es möglich, einen näherungsweisen Vergleich für das Pixel an der Position (i,j) zu treffen.
- S Der Versuchsaufbau sollte eine Fokussierung der Kamera ermöglichen, damit die Messungen mit der gleichen Abbildungsschärfe durchführbar sind (Fokuskriterium).

Durch Verwendung des gleichen Matrizenaufbaus, derselben Messanordnungen und derselben Antastkriterien wurde versucht, die nichtrelevanten Fehlereinflüsse für die Gegenüberstellung des monochromen Systems und des Farbsystems zu minimieren.

In der Messanordnung wurde entlang der schrägliegenden Kante in jeder Zeile die Streuung des Kantenortes über n-Messungen und die Lageabweichung von der ermittelten Ausgleichsgeraden (Erwartungswert) entlang der Kante bestimmt.

### 3. Ergebnisse

Abbildung 3 gibt das Resultat einer praktischen Messung im berechneten Grauwertbild wieder. In der Abbildung tritt eine bei der Subpixelbestimmung nach dem Verfahren der Interpolation 1. Ordnung verfahrensbedingte periodische Ortsverschiebung auf. Diese wird überlagert durch die Abweichung der Testkante (Haarlineal) von einer idealen Geraden.



**Abb. 3:** Abweichung des Kantenortes (in Pixeln) im berechneten Grauwertbild einer Farbkamera entlang einer schrägen Kante

Die praktischen Messungen mit der monochromen Kamera und der Farbkamera (Abb. 4-8) zeigen darüber hinaus deutlich, daß der durch die Farbfilterstruktur entstehende zusätzliche Fehler abhängig ist von der messtechnischen Aufgabenstellung und von der Wahl des

Kantenortskriteriums.

Bei der Bestimmung von Geometrieelementen, wie beispielsweise einer Ausgleichsgeraden, aus einer größeren Punktzahl, wird das Messergebnis weniger beeinflusst.

In den Untersuchungen wurde das Verhältnis der monochromen Kamera zur Farbkamera mit 1:2 bei dem Verfahren nach Tabelle 1 und 1:1 bei dem Verfahren nach Tabelle 2 bestimmt. Bei der Antastung einzelner Punkte treten Standardabweichungen in unten gezeigter Größenordnung auf.

Tabelle 1: Kantenortbestimmung mit Schwellwert und Subpixelinterpolation 1. Ordnung

	Standardabweichung (in Pixel)	Standardabweichung (in $\mu\text{m}$ )* <sup>1</sup>	Abweichung vom Formelement (in Pixel)
Farbkamera	0,10437	0,0125747	0.0275002
monochrome Kamera	0,03314	0,00399277	0.0164583

\*<sup>1</sup> ... bezogen auf den Pixelmittenabstand und eine optische Abbildung 1:1

Tabelle 2: Kantenortbestimmung mit Schwellwert und Subpixelverfahren fotometrische Mitte

	Standardabweichung (in Pixel)	Standardabweichung (in $\mu\text{m}$ )* <sup>1</sup>	Abweichung vom Formelement (in Pixel)
Farbkamera	0,06822	0,00821928	0,05335784
monochrome Kamera	0,07151	0,00861566	0,05510597

\*<sup>1</sup> ... bezogen auf den Pixelmittenabstand und eine optische Abbildung 1:1

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse der Antastverfahren mit der monochromen Kamera und der Farbkamera. Die Abbildungen stellen die Streuung des Kantenortes in der jeweiligen Bildzeile (1..572) und die mittlere Abweichung des Kantenortes vom Ausgleichselement der Geraden dar.

#### 4. Literatur

- /Mäus 81/ Mäusel, Rudolf  
Fernsehtechnik: von der Kamera zum Bildschirm / Rudolf Mäusel,  
München: Pflaum, 1981, ISBN 3-7905-0337-1
- /Kühn 97/ Kühn Olaf: Ein Beitrag zur hochauflösenden zweidimensionalen Geometriemessung mit CCD-Zeilensensoren.  
Ilmenau, Techn. Univ., Fak. f. Maschinenbau, Diss., 1997
- /Breu 93/ Breuckmann Bernd,  
Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis  
München: Franzis, 1993, ISBN 3-7723-4861-0

