

# Ein Verfahren zur automatischen Detektion von kubischen Verknüpfungsobjekten in digitalen Farbmessbildern

FRANK BOOCHS<sup>1</sup>

*Zusammenfassung: Der Beitrag stellt ein Verfahren vor, mit dessen Hilfe kubische Verknüpfungsobjekte in terrestrischen Messbildern erkannt und für die Orientierung der Messbilder eingesetzt werden können. Mit dem Verfahren wird das Ziel verfolgt, Einschränkungen hinsichtlich der Verknüpfung von Messbildern aufzuheben, die durch Sichtbarkeits- und Abbildungsprobleme bei den heute üblicherweise eingesetzten ebenen Signalen entstehen können. Dazu ist eine Lösung entwickelt worden, die in Farbbildern räumliche Signale erkennt und die Koordinaten der Targets für die Zuordnung und Bildorientierung bereitstellt. Im Beitrag wird das Vorgehen im Zusammenhang mit der Bildanalyse beschrieben und an Bildbeispielen dokumentiert.*

## 1. Motivation

In der Mehrzahl der industriellen oder terrestrischen Anwendungen in der Photogrammetrie werden die Objekte durch viele, im Verbund angeordnete Messbilder erfasst (vgl. Abb.1). Die Nutzung dieser Messbilder setzt deren Verschmelzung zu einem stabilen, in einem festgelegten Koordinatensystem definierten Verband voraus. Basisinformation für die Bestimmung der Orientierung sind die Bildkoordinaten von Verknüpfungspunkten sowie Passpunkten und die damit verbundenen Bildstrahlen.

In digitalen Bildern erfolgt die Auffindung von Verknüpfungspunkten oft automatisch unter Verwendung unterschiedlicher Methoden der Bildverarbeitung. Diese Methoden benutzen im allgemeinen spezielle Modelle zur Erkennung der fast immer im Objektraum durch Signale (Targets) gekennzeichneten Verknüpfungspunkte. Dabei wird entweder direkt das Erscheinungsbild der Targets modelliert oder eine in den Signalen enthaltene geometrische Form. Die Leistungsfähigkeit der hierzu existierenden Algorithmen hat einen hohen Stand erreicht und man findet sie durchgängig in Anwendungen, die digitales Bildmaterial einsetzen.

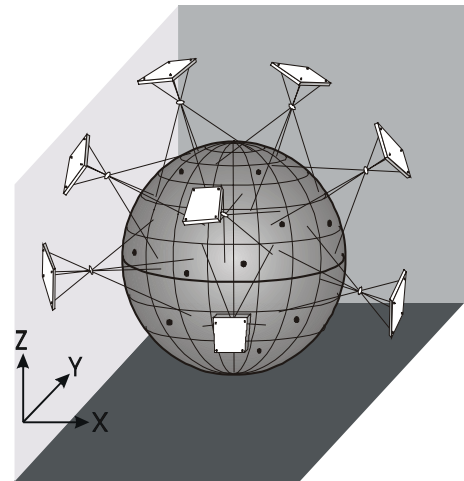


Abb. 1: Ein 3D-Objekt mit beliebig angeordneten Bildern

Die Verfahren unterliegen natürlich den Gesetzmäßigkeiten der Statistik und liefern immer dann gute Resultate, wenn die Daten gut mit dem benutzten Targetmodell übereinstimmen. Mit abnehmender Korrespondenz verschlechtern sich die Ergebnisse oder es kommt zum Versagen. Ursachen für fehlende Übereinstimmung sind beispielsweise starke Beeinträchtigungen der Bild-

<sup>1</sup> Prof. Dr.-Ing. Frank Boochs, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz, Holzstr. 36, 55116 Mainz, [boochs@geoinform.fh-mainz.de](mailto:boochs@geoinform.fh-mainz.de)

qualität oder Abweichungen von dem zugrunde gelegten Geometriemodell. Letzteres kann beispielsweise auf die Wirkung der Zentralprojektion zurückzuführen sein.

Mitverantwortlich für eventuell auftretende Probleme ist die Tatsache, dass die zur Anwendung kommenden Signale ebene Flächen darstellen. Die Geometrie der Abbildungen ist dabei von der gegenseitigen Ausrichtung von Aufnahme und Target abhängig und verändert sich mit jedem Bild. Falls die Targets aus stark verschiedenen Perspektiven aufgenommen wurden lassen sie sich ggf. nicht mehr identifizieren. Dies führt zur Verschlechterung der Verknüpfungssituation oder kann schlimmstenfalls eine Verknüpfung ganz verhindern.

Diese Schwierigkeit kann durch kubische Verknüpfungselemente umgangen werden. Kubische Targets bilden sich in alle Richtungen ausreichend gut ab und können eine Verknüpfung dann noch erlauben, wenn ebene versagen. Allerdings wachsen durch die kubische Form der Targets die Anforderungen an die Bildverarbeitung erheblich. Es muss nicht nur eine 3D-Geometrie im 2D modelliert werden, sondern auch topologische Betrachtungen sind anzustellen, um die Ausrichtung der Targets berücksichtigen zu können. Hierzu ist ein Lösungsansatz entwickelt worden, der im folgenden vorgestellt wird.

## 2. Konzeption

### 2.1. Generell

Kubische Verknüpfungselemente vermeiden die Probleme nicht ausreichend oder zu stark verzerrt abgebildeter Flächen, weil sie mehrere Flächen besitzen (vgl. Abb. 2). Darunter gibt es immer mindestens eine, die einem Messbild ausreichend gut zugewandt ist und eine Identifikation des Targets erlauben kann. Folglich ist aber auch davon auszugehen, dass je nach Bildanordnung verschiedene Flächen abgebildet werden, die in der Bildanalyse auch entsprechend als unterschiedliche Teile ein und desselben Objektes zu behandeln sind. Damit spielt für die Analyse die Beziehung der detektierten Bestandteile zum Targetobjekt selbst auch eine Rolle, weshalb eine stabile Lösung die komplette 3D-Geometrie des Targets betrachten und verarbeiten muss.

Für die Bildverarbeitung reicht daher nicht die Identifikation einer einzelnen Fläche sondern es muss das gesamte räumliche Objekt erkannt und in seiner räumlichen Beziehung zum Messbild entschlüsselt werden.

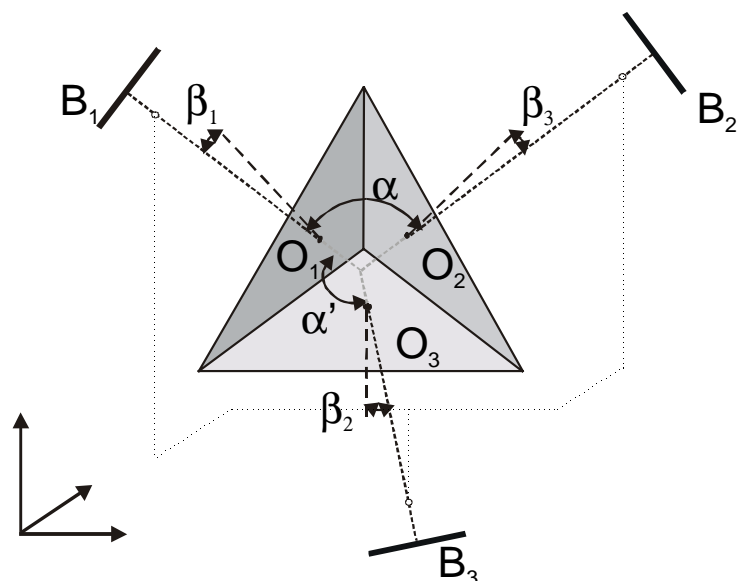


Abb. 2: Mögliche Sichtbeziehungen zu kubischen Targets

### 2.2. Vorgaben

Die Lösung baut auf einige Vorgaben, die im wesentlichen gewisse Vereinfachungen erlauben. Es handelt sich um Randbedingungen, die auch unter praktischen Bedingungen keine unvertret-

baren Einschränkungen zur Folge haben, sondern lediglich das Verfahren robuster machen und die Komplexität des Modelles in Grenzen halten.

Zu den verwendeten Vorgaben zählen:

- I. Einsatz von Farbbildmaterial
- II. Verwendung von einfachen und symmetrischen Targets
- III. Benutzung speziell angefertigter Targets
- IV. Einbeziehung der geometrischen Daten zu den Targets

(I) Die Benutzung von Farbe ist aus zwei Gründen nötig:

- es nimmt der Kontrast zu, mit dem sich Targets von ihrer Umgebung abheben, womit die Erkennungsleistung verbessert, bzw. erst möglich wird
- der Farbraum gibt ausreichend Spielraum zur optischen Gestaltung der verschiedenen Targetseiten. Hiermit wird für ausreichende Eindeutigkeit der einzelnen Targetfläche gesorgt, ohne die eine Berücksichtigung der Targettopologie nicht zu erreichen wäre.

(II) Die geometrische Einfachheit der Targets führt zu entsprechend simplen Bildstrukturen. Folglich sind die im Algorithmus zu beherrschenden Geometrien weniger komplex und vereinfachen die Bewertung der Strukturen bzw. steigern die Eindeutigkeit und Sicherheit im Erkennungsprozess.

(III) Mit der Anfertigung von Targets wird primär der Praxisbezug berücksichtigt. Untersuchungen zur Bildqualität und ihrer Abhängigkeit von äußeren Faktoren wie Zusammensetzung und Stärke der Beleuchtung uvm. haben gezeigt, dass mit starken Schwankungen im Erscheinungsbild von Objekten zu rechnen ist. Vorkehrungen zur Begrenzung der Schwankungen sind deshalb angebracht und ein Weg dahin führt über optimiert gestaltete und als bekannt eingeführte Targetobjekte.

(IV) Schließlich spielt auch das geometrische Wissen zum Aufbau der Targets eine wichtige Rolle. Daraus lassen sich Bedingungen formulieren, die sowohl im Zusammenhang mit der Bildanalyse, als auch im späteren Zuordnungsprozess nützlich sind.

## **3. Lösungsweg**

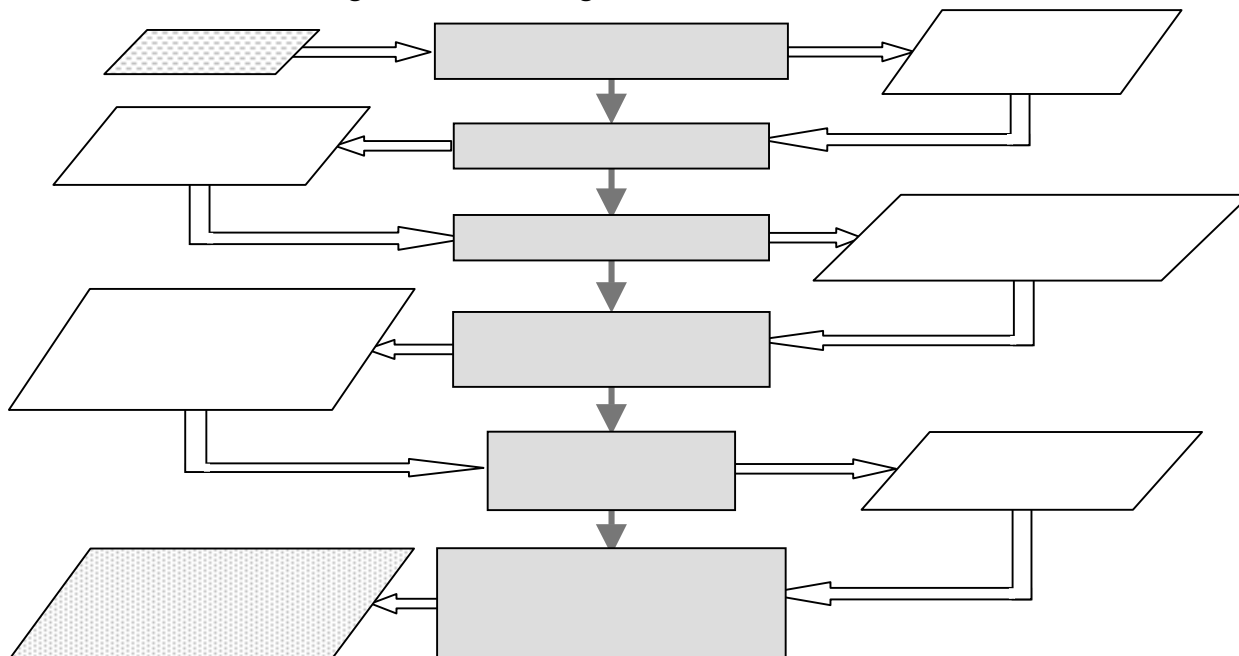
### **3.1. Allgemein**

Mit diesen Vorgaben folgt für den Algorithmus, dass er in Farbbildern anhand der Farbinformation potentielle Targetkandidaten lokalisieren und anschließend anhand der verschiedenen Randbedingungen die Übereinstimmung mit dem korrekten Erscheinungsbild eines Targets verifizieren muss. Durch den einfachen geometrischen Aufbau und die charakteristischen Übergänge zwischen benachbarten Farbflächen eines Targets, die sich im Bild als Farbkanten darstellen, empfiehlt sich das Konzept auf Kanten im Farbraum und ihre weitere Prozessierung zuzuschneiden. Dies hat zu dem gewählten Ablauf geführt (vgl. Abb. 3), dessen einzelne Arbeitsschritte im folgenden kurz umrissen und an Bildbeispielen dokumentiert werden.

### **3.2. Verfahrensschritte**

#### **3.2.1. Extraktion von Bildkanten**

Aufgabe des ersten Arbeitsschrittes ist die zuverlässige Extraktion von linienhaften Strukturen. Durch den geometrischen Aufbau der Targets müssen sich auch die zu den Würfeln gehörenden Kanten darunter befinden. Ziel dieser Maßnahme ist die Reduzierung des Bildinhaltes auf relevante geometrische Strukturen. Dabei ist Sorge zu tragen, dass möglichst nur auch solche erhalten bleiben, die mit Targets in Verbindung stehen könnten. Andererseits dürfen die Kriterien



nicht zu eng gefasst sein, damit nicht auch die Bestandteile der gesuchten Objekte aussortiert werden. Der Nachteil dieses Schrittes ist die starke Abhängigkeit vom Bildinhalt. Je nach Qualität der Aufnahme und dem gegebenen Hintergrund kann die Menge der aufgespurten Strukturen erheblich schwanken.

Der Extraktionsprozess umfasst eine Reihe von Rechenschritten, die insgesamt die verlangte Funktionalität sicherstellen. Dazu gehört u.a. auch die Beseitigung von störenden Rauschteilen (GARNICA ET. AL., 2000), womit der Einfluss störender und zu überflüssigen Kanten führenden Farbschwankungen reduziert wird. Grundlage für das hier angewandte Verfahren sind die Arbeiten von CANNY (1986). Es wurde auf die Verwendung von Farbdaten adaptiert und umfasst die Schritte Bildglättung, Berechnung der Farbgradienten, Unterdrückung der Hintergrundinformation, Ausdünnung des Kantenbildes und die Bildung von Umringslinien (vgl. Abb. 4).

### 3.2.2. Vektorisierung

Das Ziel dieser Operation muss die Erzeugung möglichst langer Vektoren sein, um die Kanten gut annähern zu können. Andererseits dürfen die Vektoren nicht zu stark vom Verlauf der Linienzüge abweichen und es darf auch nicht zu viel Linieninformation dabei verloren gehen. In der Literatur (BÄSSMANN, 1989; HENRICSSON, 1996) sind Lösungsvorschläge bekannt, die auch für die vorliegenden Aufgabenstellung in angepasster Form zum Einsatz gekommen sind.

### 3.2.3. Farbattributierung

Nach der Vektorisierung liegen die Voraussetzungen für die geometrischen Betrachtungen zu den im Bild gefundenen Kantenstücken vor. Es muss allerdings davon ausgegangen werden, dass trotz Einsatz von Farbbildern, die gefundenen Farbkanten nicht alleine den Targets zuzurechnen sind. In Abhängigkeit von der Struktur des Bildhintergrundes können ggf. auch sehr viele weitere



Abbildung 4: Wirkung der Kantenfilterung (Farbabb. siehe CD des Tagungsbandes)

Farbkanten existieren, die allerdings für die weitere Verarbeitung unerwünscht und störend sind. Diese gilt es zu eliminieren. Zu diesem Zweck werden die Kanten einer Farb- und Homogenitätsbetrachtung unterzogen. Diese greift auf die unmittelbar an die Kante angrenzende Nachbarschaft zu und prüft in dieser, ob dort Farbflächen vorliegen, die mit den potentiellen Farbwerten einer Würfel­fläche übereinstimmen und homogen sind. Nur passende Kanten überleben diesen Verarbeitungsschritt und erhalten die dabei gefundenen Farbmerkmale als Attribute zugewiesen (vgl. Abb. 5).

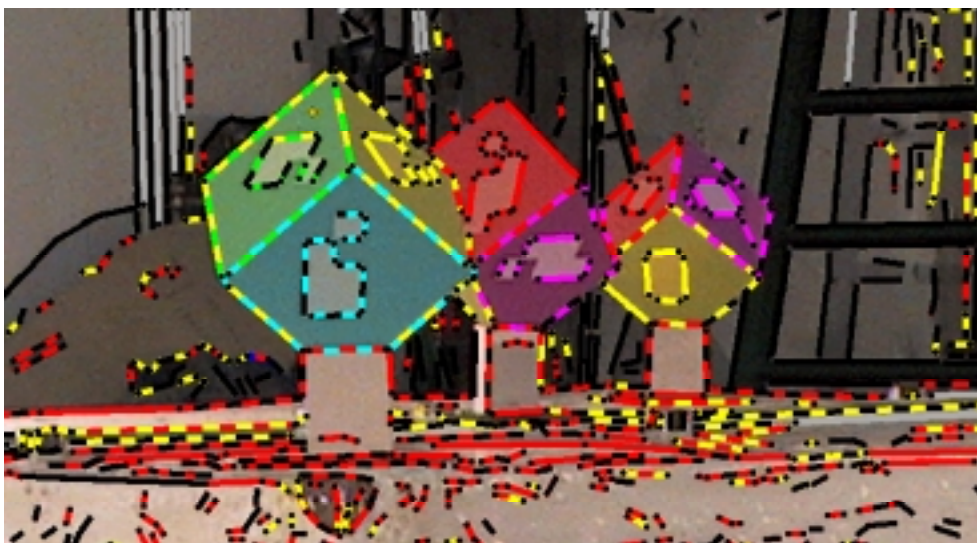


Abbildung 5: Kanten mit Farbattributen (Farbabb. siehe CD des Tagungsbandes)

### 3.2.4. Selektion von Targetkandidaten

Die bisherigen Maßnahmen erreichen eine Reduktion des Inhaltes auf farbbehaftete Kantenbestandteile unter denen sich auch die zu den Targets zählenden befinden. Allerdings sind immer noch einige andere, unerwünschte Inhalte vorhanden, die in den farblich zulässigen Wertebereich fallen.

Die nicht vollständige Isolierung der gewünschten Farbkanten liegt auch in der Beschreibung von Farbe als solches begründet. Subjektiv betrachtet erscheint beispielsweise der Hintergrund in Abb. 5 als eher farblos. In der Repräsentation als Farbwert sind die vom menschlichen Betrachter als bräunlich eingestuften Flächen aber teilweise gelb und teilweise als rot klassifiziert. Beides zwar mit geringer Sättigung, aber mit zutreffender Farbe. Deshalb sind die Möglichkeiten der rein auf die Farbe bezogenen Analyse nur noch mit einigen weiteren, umfangreichen Maßnahmen zu verbessern.

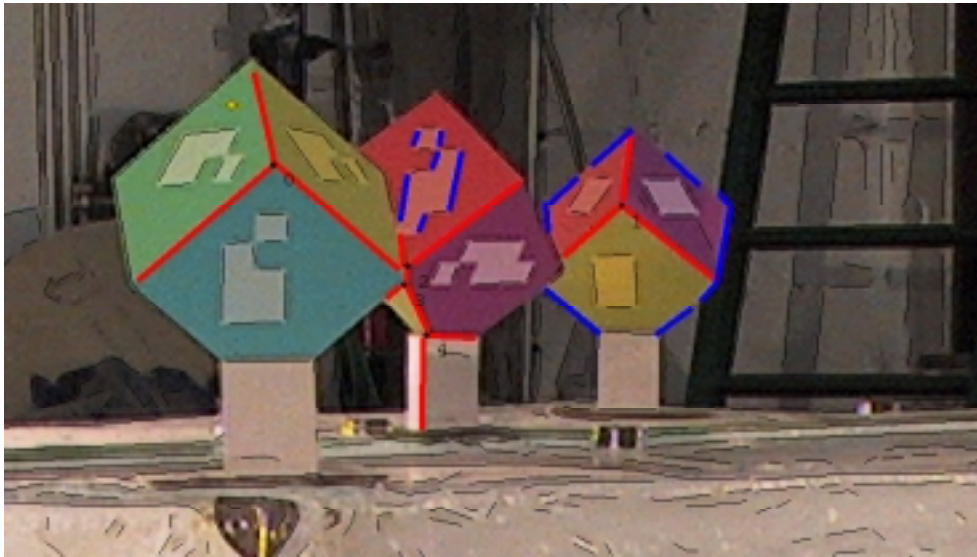


Abbildung 6: zentrale Würfelpunkte (Farbabb. siehe CD des Tagungsbandes)

An dieser Stelle empfiehlt sich, die Geometrie der Objekte ins Spiel zu bringen. Diese erlaubt einige Bedingungen zu formulieren, denen die gefundenen Kanten genügen müssen. Im wesentlichen sind in den Bedingungen die Aussagen zur Parallelität, zur Rechtwinkligkeit und zu den Längenbeziehungen von Würfelpunkten enthalten.

Der Einstieg in die geometrisch ausgelegte Analyse erfolgt mit der Suche nach einer charakteristischen Würfecke. Es wird jene Ecke gesucht, die im inneren eines Würfels liegt und von der nur Farbkanten abgehen, die auf beiden Seiten von Würfel- flächen benachbart sind. Von dort gehen sternförmig drei farbigen Kanten ab, weshalb dieser Ankerpunkt als Farbstern bezeichnet werden soll. In Abbildung 6 ist das Selektionsergebnis für den auch in Abb. 5 gezeigten Bildausschnitt wiedergegeben. Man erkennt eine sehr weitgehende Reduktion auf die interessierenden Kanten. Allerdings sind, wie für den mittleren Würfel zu sehen ist, diese Ecken auch noch nicht zwangsläufig alle korrekt. Weitere Maßnahmen müssen deshalb folgen.

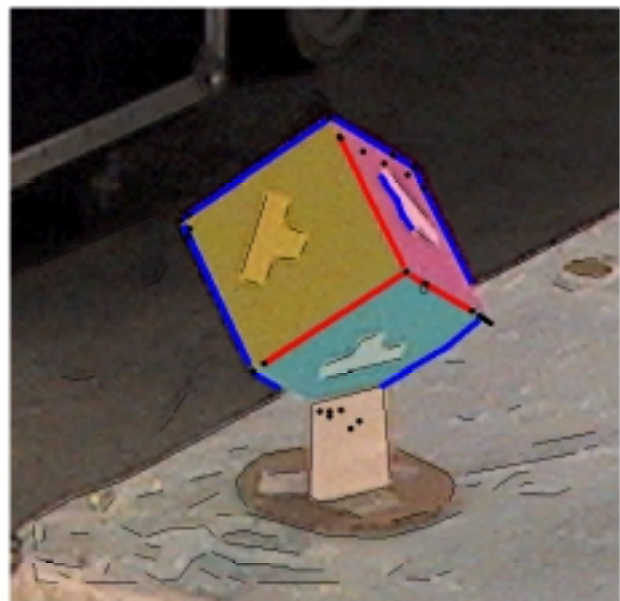


Abbildung 7: Elemente einer Targethypothese (Farbabb. siehe CD des Tagungsbandes)

### 3.2.5. Bildung von Targethypthesen

Im nächsten Analyseschritt werden weitere Informationen für die Prüfung der Targetobjekte gesammelt. Die dazu nötigen Elemente stammen wiederum aus dem geometrischen Aufbau von Würfeln. Speziell wird hier auf die Existenz weiterer, zu den Kanten des Farbsterns parallele Linien zurückgegriffen, die sich dann auch paarweise schneiden müssen und in diesen Schnitten die verbleibenden Eckpunkte eines Targets bilden. Im Hinblick auf die unter praktischen Bedingungen zu erwartende Unvollständigkeit von abgebildeten Targets muss diese Maßnahme allerdings auch verdeckte Ecken und nur teilweise erkannte Linien berücksichtigen können.

Das Ergebnis einer solchen Suche ist in Abbildung 7 zu sehen. Die selektierten Parallelen sind blau gekennzeichnet und die eingetragenen schwarzen Punkte bezeichnen die Kandidaten für die Würfecken.

### 3.2.6. Verifikation der Targethypothesen

Schließlich werden die verschiedenen Targethypothesen geprüft. Eine einzelne Hypothese stammt aus der Berechnung der Würfelgeometrie für einen Satz von Eckpunkten. Es werden alle denkbaren Kombinationen durchgerechnet und nach der Plausibilität bewertet. Letztere bezieht farbmetrische und geometrische Aussagen ein. Damit wird das Objekt mit dem Würfel ähnlichstem Aufbau gesucht, dessen Bestandteile das nötige Aussehen besitzen. Die Bewertung führt zu einer Prioritätenliste, an deren oberster Stelle die plausibelste Hypothese und damit das zu wählende Targetobjekt steht.

Diese Hypothese wird einer geometrischen Verfeinerung unterzogen mit der die Würfelkanten verbessert werden. Diese liegen bisher nur als Ergebnis der Kantenfindung und der Vektorisierung vor. Damit wird aber keine Rücksicht auf den streng geradlinigen Verlauf einer Kante genommen. Es ist deshalb die

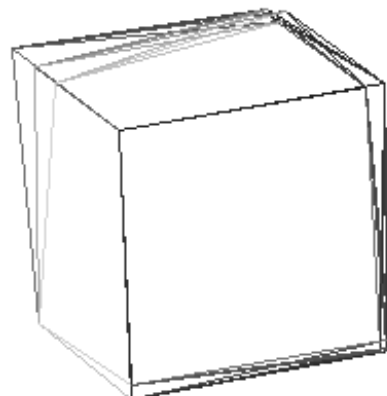
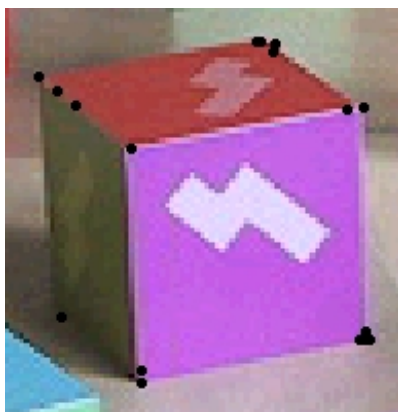


Abbildung 8: Potentielle Würfecken und korrespondierende Targethypothesen (Farbabb. siehe CD des Tagungsbandes)

Geometrie aller Kanten durch individuelle Ausgleichungen zu verbessern, mit deren Hilfe jeweils eine bestangepasste Gerade in jeden Kantenbereich gelegt wird. Aus den so bestimmten Kanten werden die Eckpunkte durch Schnitt gerechnet.

### 3.2.7. Codeerkennung, Koordinatenbestimmung

Als letzte Maßnahme werden die noch fehlenden Informationen ermittelt. Dazu zählt beispielsweise die Würfelkennung, die als Markierung auf allen Seiten aufgebracht sein kann (vgl. Abb. 8 links).

Ein weiterer Schritt besteht in der Ermittlung der Koordinaten jenes Eckpunktes, der vom Bild abgewandt liegt und daher nicht abgebildet ist. Seine Position lässt sich aus den sichtbaren Ecken und Kanten ableiten.

An dieser Stelle sind die Berechnungen für ein einzelnes Targetobjekt abgeschlossen. Es liegt nun mit seinen acht Eckpunkten und seiner evtl. vorhandenen TargetID vor.

### **3.3. Weiterverarbeitung**

Das Ergebnis der Bildanalyse ist ein Datensatz in dem für jedes Bild des zu orientierenden Verbandes die gefundenen Targets mit den Koordinaten von all ihren Ecken und den ggf. vorhandenen Codes enthalten sind. Innerhalb des kompletten Orientierungsverfahrens (BOOCHS, 2001) verbleiben allerdings noch zwei weitere Schritte, bis zur Bestimmung der gesuchten Orientierungsdaten.

Zum einen bedarf es eines Zuordnungsprozesses, der die Korrespondenz der Targets bzw. ihrer Eckpunkte in den diversen Bildern klärt und zum anderen ist eine Bildtriangulation anzuschließen. Letzteres ist ein Schritt, der auf erprobte und leistungsfähige Programme zurückgreifen kann. Derzeit ist eine Schnittstelle zum Orientierungspaket CAP integriert (HINSKEN ET. AL., 1992).

Der Zuordnungsprozess besteht aus einem fortschreitenden Gruppierungsverfahren, das mit der Vereinigung aller Targets zu einer einzigen Gruppe endet. Das Gruppierungsverfahren selbst besitzt verschiedene Werkzeuge, um die Beziehung zwischen Bildern und den darin enthaltenen Punkten zu ermitteln. Im Unterschied zu den bekannten Zuordnungsverfahren profitiert das hier entwickelte Vorgehen zusätzlich von der räumlichen Ausdehnung der Targets und von dem bekannten geometrischen Aufbau. Diese Informationen erlauben durchgreifende Plausibilitätstests, die den Ablauf der Zuordnung sehr robust und damit auch den Ablauf effizient machen.

## **4. Fazit**

Die hier vorgestellte Lösung zeigt, wie kubische Verknüpfungsobjekte in Bildern erfolgreich detektiert und für die Orientierung terrestrischer Bildverbände eingesetzt werden können. Der Aufsatz präsentiert den bildanalytischen Teil eines Verfahrens, das als Gesamtlösung auch die Bildzuordnung und Orientierung übernimmt (I3MAINZ, 2001). Das Verfahren soll nach weiteren Praxistests ab dem Jahr 2002 auch als kommerziell verfügbare Lösung zur Verfügung gestellt werden können.

## **5. Literaturverzeichnis**

- BÄSSMANN H., BESSLICH PH., 1989: Kontur orientierte Verfahren in der Digitalen Bildverarbeitung - Springer-Verlag.
- BOOCHS F., 2001: A new solution for the automatic orientation of arbitrary arranged images - Optical 3D-Measurement Techniques, Vol. 5.
- CANNY J.F., 1986: A computational approach to edge detection - IEEE, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No.6.
- GARNICA C., BOOCHS F., TWARDOCHLIB M, 2000: A new approach to edge-preserving smoothing for edge extraction and image segmentation - IAPRS, Vol. 33, No.3.



HENRICSSON, O., 1996: Analysis of Image Structures using Color Attributes and Similarity Relations - Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilungen Nr. 59.

HINSKEN, L., COGAN, L., KOTOWSKI, R., 1992: A new MS-DOS based integrated software package for triangulation and data collection for close range applications - IAPRS, Vol. 29, No. 5.

I3MAINZ, 2001: <http://www.i3mainz.fh-mainz.de/projekte/3dtarget.html>

## **6. Danksagung**

Die präsentierten Entwicklungen waren Gegenstand eines Forschungsprojektes der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation unter der Vertragsnummer 8312-38 6261/319. Der Autor bedankt sich bei der Stiftung für die umfangreiche Finanzierung, ohne die diese Arbeiten nicht möglich gewesen wären.