

Universität Augsburg



(Semi-)automatische Segmentierung in historischen Wappensammlungen

Jürgen Vogel, Wolf-Tilo Balke, Werner Kießling

Report 1999-03

September 1999



Institut für Informatik
D – 86135 Augsburg

Copyright ©

Jürgen Vogel, Wolf-Tilo Balke,
Werner Kießling

Institut für Informatik
Universität Augsburg
D-86135 Augsburg, Germany
<http://www.Informatik.Uni-Augsburg.DE>
— all rights reserved —

(Semi-) automatische Segmentierung in historischen Wappensammlungen

Jürgen Vogel, Wolf-Tilo Balke, Werner Kießling

Institut für Informatik, Universität Augsburg

{vogel, balke, kiessling}@informatik.uni-augsburg.de

Zusammenfassung

Ein neuer Ansatz zur Suche in stetig wachsenden multimedialen Datenbeständen ist die bildinhaltliche Datenbankrecherche. Diese verwendet anstatt der klassischen textuellen Erschließung graphische Merkmale, um Bilder anzufragen. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes HERON¹ wird ein solches System zur Recherche in einer historischer Wappensammlung realisiert. Dabei ist es wichtig, Wappenbildern mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung Informationen über auftretende Formelemente zu entnehmen, die das wesentlichste Merkmal für die Recherche in heraldische Datenbanken darstellen. Mit Hilfe des Bildanalysepakets MVTec Halcon wurde ein automatisches Verfahren zur Farbbestimmung von monochromen heraldischen Bildvorlagen, sowie ein semiautomatisches Verfahren zur Segmentierung heraldischer Figuren realisiert.

1 Einführung

Im Zeitalter multimedialer Information entstehen immer größere digitale Bibliotheksarchive, die den Benutzern z.B. Graphiken oder Photographien zur Verfügung stellen. Der traditionelle Weg zum Auffinden von Bildern ist die manuelle Verschlagwortung des Bildinhaltes unter Verwendung eines vordefinierten Vokabulars, welches größtenteils durch komplexe Grammatiken formuliert ist (z.B. ICONCLASS [Str94]). Suchanfragen müssen dann exakt auf dieses vordefinierte Vokabular zurückgreifen. Da die Erstellung des Schlagwortkataloges aber sehr arbeitsaufwendig (somit auch kostenintensiv) und die Anfrage fehleranfällig, subjektiv und für Benutzer mit fehlendem Expertenvokabular sogar unmöglich ist, wird in jüngster Zeit ein natürlicher Ansatz verfolgt, der der intuitiven Vorstellung des Anfragenden eher gerecht wird. Die automatische Charakterisierung von Bildern hinsichtlich beschreibender graphischer Merkmale (sog. Features), wie z.B. Farbe, Oberflächenstruktur, Form oder Layout, soll

¹ HERON wird im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Verteilte Verarbeitung und Vermittlung digitaler Dokumente“ von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gefördert.

<http://HERON.Informatik.Uni-Augsburg.de>

einen intuitiven und leicht verständlichen Zugang zu Bildarchiven auch ohne Expertenwissen ermöglichen.

Die Wahl und Gewichtung der bildbeschreibenden Merkmale ist in der Praxis von großer Wichtigkeit. Wahrnehmungspsychologische Untersuchungen [Arn74] belegen, daß die bei Kindern noch vornehmlich auf Farben ausgerichtete visuelle Wahrnehmung mit zunehmender Enkulturation sehr stark auf Formen geprägt wird. Andererseits jedoch bieten kommerzielle bildinhaltliche Systeme (z.B. QBIC [FB+94], Photobook [PPS94], Virage [BF+96], Informix [Inf97]) nur rudimentäre oder überhaupt keine formbasierte Recherche an. Ein Grund dafür ist, daß beim Einsatz von Form-Features der wenig performante Einsatz von hochdimensionalen Featurevektoren notwendig ist, wohingegen z.B. die farbbasierte Recherche sehr effizient ablaufen kann. Vor allem aber bereitet bei der Formerfassung das automatische Erkennen von Konturen in einem Bild, die sogenannte Autosegmentierung, große Schwierigkeiten. Bisher muß dieser beim Anlegen einer Datenbank durchzuführende Schritt manuell ausgeführt werden. Dabei wird jede Objektkontur jedes einzelnen Bildes von Hand umrandet, was extrem zeitaufwendig und wenig effizient ist.

Die Lösung des Autosegmentierungsproblemles spielt eine entscheidende Rolle in der Entwicklung von bildinhaltlichen Suchsystemen, die Form-Features [MKL95] unterstützen. Da in der digitalen Bildverarbeitung keine allgemeinen, praxistauglichen Segmentierungsverfahren bekannt sind, muß bei deren Entwicklung das Augenmerk auf anwendungsspezifische Besonderheiten thematisch eingegrenzten Bildmaterials gerichtet werden.

Das interdisziplinäre HERON-Projekt [KE+98, KB+99] entwickelt Informationstechnologien, die in erster Linie Kunsthistoriker bei ihrer Arbeit mit umfangreichem Bildmaterial unterstützen. Dabei wurde die Heraldik (Wappenkunde) als erstes Anwendungsgebiet ausgewählt, denn dieses Teilgebiet der Kunstgeschichte ist in besonderem Maße auf die Benutzung von Bildmaterial angewiesen. Im Rahmen diese Projekts wurde die bildinhaltliche Suche in Wappensammlungen unter Bezugnahme auf die Features *Farbe*, *Textur*, *Layout* und *Form* untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß Formelemente in der Heraldik das wesentlichste Merkmal sind um relevante Ergebnismenge zu erzielen.

In Rahmen des HERON-Projekts wurden Ansätze zur Lösung der geschilderten Segmentierungsproblematik entwickelt [UBK99]. Dazu wurde auf die digitale Bildverarbeitung, die ein breites Spektrum von ausgereiften und praxiserprobten Werkzeugen zur Verfügung stellt, zurückgegriffen. Zur Implementierung prototypischer Algorithmen wurde das Bildanalyse-system Halcon in der Version 5.1 auf dem Betriebssystem Windows NT benutzt. Es wurde von der Firma MVTec auf den Markt gebracht und dient in erster Linie der Entwicklung eigenständiger industrieller Applikationen, aber auch der allgemeinen Entwicklung im Image Processing Bereich [MVT98]. Halcon besteht im wesentlichen aus einer umfassenden Bibliothek von Bildbearbeitungsoperatoren und dem *Computer Aided Vision Engineering (CAVE)* Tool *HDevelop*. Hierbei handelt es sich um eine graphische Benutzeroberfläche zum interaktiven Design von Bildanalyseprogrammen.

Im folgenden Kapitel wird das Segmentierungsproblem spezifiziert und die nutzbare Semantik des heraldischen Anwendungsgebietes aufgezeigt. Kapitel 3 stellt grundsätzliche Vorgehensweisen zur Lösung der heraldischen Segmentierung vor. Eine grundsätzlich notwendige Vorbearbeitung des Bildmaterials zeigt Kapitel 4. Die Segmentierung durch Einfärbung von Wappenschilden ist Gegenstand von Kapitel 5, während Kapitel 6 sich mit der Segmentierung durch Entfernung der Hintergrundschraffierung beschäftigt. In Kapitel 7 wird dann eine Zusammenfassung gegeben und offene Probleme in der heraldischen Segmentierung aufgezeigt.

2 Segmentierungsproblem und Anwendungssemantik

2.1 Das Segmentierungsproblem

Unter *Bildsegmentierung* versteht man denjenigen Teil des Bildanalyseprozesses, der Regionen mit bestimmten, für den jeweiligen Anwendungsfall signifikanten Eigenschaften extrahiert [Rad93]. Dabei handelt es sich um Klassifikatoren, die Bildpunkte in Klassen – im Normalfall zusammenhängende Gebiete – einteilen, die durch bestimmte Eigenschaften ausgezeichnet sind. Das Ergebnis einer Segmentierung ist meistens eine oder mehrere binäre Masken, die, über das Originalbild gelegt, die Bestandteile der jeweiligen Segmente abdecken.

Von einer Segmentierung wird gefordert, daß zwischen allen Punkten, die in einem Segment liegen, eine Äquivalenzrelation besteht. Also stellt die Segmentierung eine *Zerlegung einer Menge von Punkten* (dem Bild) in *Äquivalenzklassen* (den segmentierten Objekten) dar. Diese Zerlegung muß vollständig und eindeutig sein und jeden Bildpunkt genau einer Klasse zuordnen, d.h. jeder Punkt gehört genau einem Segment an und die Segmente dürfen sich nicht überlappen. Die geforderte Vollständigkeit wird häufig durch die Definition eines Hintergrundes erreicht, dem alle noch nicht klassifizierten Punkte zugeordnet werden.

Wird die Zugehörigkeit zu einer Äquivalenzklasse „aufgeweicht“, also der Grad der Zugehörigkeit jedes Bildpunktes zu einer Klasse angegeben, so verbindet sich die Idee der Klassifikation mit der Fuzzy-Theorie [Rad93]. Dies ist in Segmentierungsverfahren vor allem dann der Fall, wenn Schwellwerte gefunden werden müssen, die festlegen, ab welchen Maßwerten eine Zuweisung zu einer Klasse geschehen soll.

Beispiele für bereits erfolgreich verwirklichte Segmentierungsverfahren sind die optische Zeichenerkennung (OCR), bei der aus Graustufenbildern zusammenhängende Regionen (Buchstaben) extrahiert werden, um sie anschließend anhand gewisser Merkmale zu ‚benennen‘, oder die Segmentierung von Landkarten [KT90]. Auch in der medizinischen Bildverarbeitung werden Systeme entwickelt, die aus dreidimensionalen Tomographiedaten Objekte (z.B. Tumore) segmentieren sollen [SW97].

2.2 Charakteristika heraldischen Bildmaterials

Heraldisches Bildmaterial zeichnet sich im allgemeinen durch eine extrem *standardisierte Bildsprache* aus, die einerseits stark stilisierte Bildformen gebraucht und andererseits eine streng formalisierten verbalen Beschreibungssprache dieser Formen und ihrer Bedeutung besitzt [GJ78]. Die dargestellten Bildinhalte von Wappen entstammen, zumal im Bereich der historischen Wappen, einem begrenzten Vokabular. Verwendung finden neben abstrakt-geometrischen Formen (z.B. geometrische Teilung des Schildes, Balken, Sparren) meist aus der natürlichen Umwelt des Menschen abgeleitete Einzelformen (Mond, Sterne, Berg, Tiere, Pflanzen, Alltagsgegenstände etc.).

In der Heraldik treten im wesentlichen nur 9 Farben für Wappen auf (gold/gelb, silber/weiß, rot, blau, grün, schwarz, blau, orange und purpur) [GJ78]. Die hauptsächliche Schwierigkeit in der Farbanalyse ist allerdings, daß historische Wappenbilder in den Referenzwerken nur in

den seltensten Fällen farbig dargestellt, sondern weitaus häufiger ihre Farben lediglich durch *Schraffierungen* codiert sind (cf. [S1856], [B1660]).

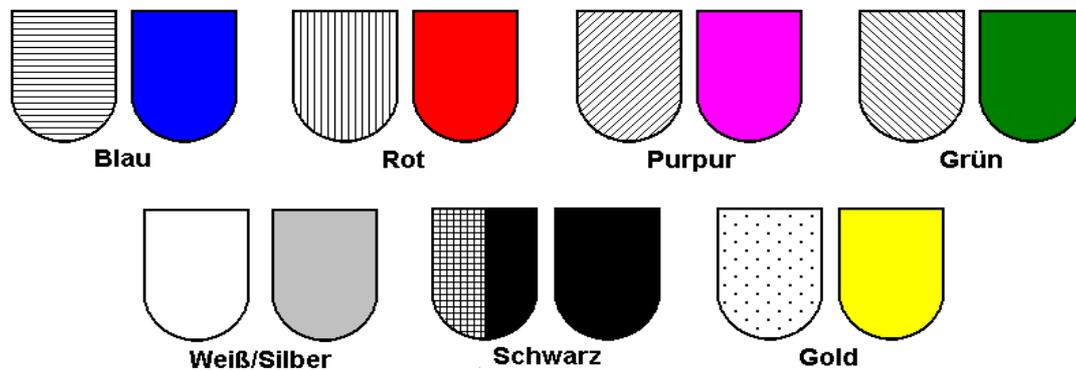


Abb.1: In einfarbigen Wappendarstellungen werden Farben durch Texturen codiert

Die Schraffierungen sollen in einfarbigen Zeichnungen verschiedenfarbige Flächen voneinander unterscheidbar machen. Diese Art der Darstellung ist durch heraldische Regeln festgelegt: Den heraldischen Farben werden eindeutig bestimmte Texturen zugeordnet [GJ78]. Abb.1 zeigt, daß die Farben Blau, Grün, Rot und Purpur durch Schraffierungen der Richtungen 0° , 45° , 90° und 135° symbolisiert werden. Für Schwarz existiert sowohl die Repräsentation durch Kreuzschraffierung, als auch durch homogene schwarze Flächen. Die sogenannten *Metalle* Silber und Gold werden durch eine weiße Fläche bzw. durch gepunktete Flächen dargestellt. In seltenen Fällen treten noch die Farben Orange und Braun auf, welche in der Heraldik allerdings keine große Rolle spielen.

Solche Schraffierungen stellen für gängige Segmentierungsverfahren ein erhebliches Problem dar [Bal97]. Diese beruhen auf der Annahme, daß zu segmentierende Flächen in einer (fast) einheitlichen Farbe vorliegen und ihre Umrandung einen deutlichen Farbunterschied zum Hintergrund darstellt. Leider gehen Schraffierungen fast immer direkt in die Objektkonturen über und machen so auch den Einsatz von z.B. Line-Tracking-Verfahren unmöglich.

3 Segmentierung von Wappenbildern

3.1 Einfärbung von Schraffierungen

Ein geeignetes Segmentierungsverfahren kann also auf der Tatsache aufbauen, daß Schraffierungen einfarbiger Wappen nicht willkürlich gewählt sind, sondern in Form von Texturen vollständige Farbinformationen enthalten. Eine naheliegende Möglichkeit ist die Einfärbung schraffierter Flächen mit den ihrer Textur entsprechenden heraldischen Farben (vgl. Abb. 2). Das so erzeugte Farbbild kann anschließend auf konventionelle Weise (z.B. durch Thresholdingverfahren) segmentiert werden.

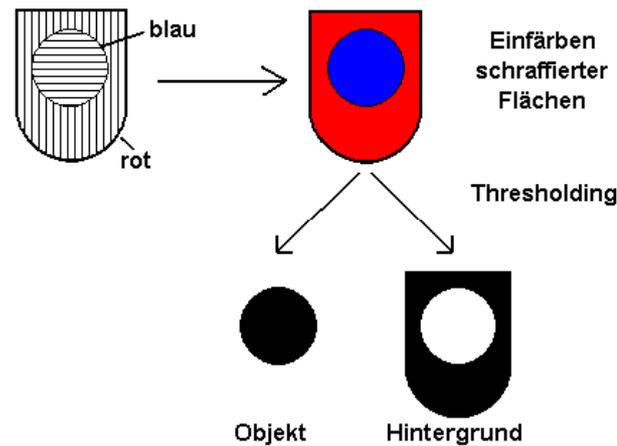


Abb. 2: Segmentierung durch Einfärben von Schraffierungen

Ergänzend sind noch vorverarbeitende Schritte zur Störungsfilterung sowie eine abschließende Klassifizierung zwischen Objekt und Hintergrund notwendig.

Segmentierung durch Einfärben schraffierter Flächen

1. *Vorverarbeitung* des Wappenbildes
2. *Einfärben* schraffierter Flächen mit den ihrer Textur entsprechenden Farben
3. *Segmentierung* des Farbbildes durch Thresholding
4. *Klassifizierung* in Vorder- und Hintergrund

3.2 Hintergrundtexturentfernung

Eine alternative Methode zur Einfärbung schraffierter Flächen ist die Texturentfernung. Die Textur, die als Hintergrundtextur erkannt wurde, wird entfernt, woraufhin die zu segmentierenden Objekte freiliegen. Auf ihre Form kann jetzt direkt mit herkömmlichen Verfahren zugegriffen werden. Wichtig ist dabei, daß bekannt ist, welche Textur den Hintergrund ausmacht. Neben der auch hier notwendigen Vorverarbeitung ist im Anschluß an die Segmentierung eine Nachbearbeitungsphase, in der Löcher aufgefüllt und Kanten geglättet werden, nötig.

Segmentierung durch Texturentfernung

1. *Vorverarbeitung* des Wappenbildes
2. Erkennung der *Hintergrundtextur*
3. *Schraffierungsentfernung*
4. *Nachbearbeitung*

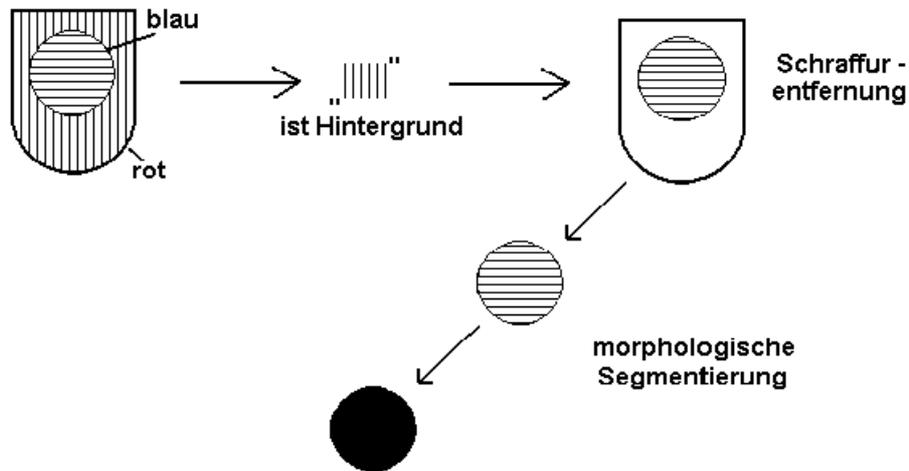


Abb. 3: Entfernen von Hintergrundtextur und Segmentierung der freigelegten Objekte

4 Vorverarbeitung - Entfernen des Schildrandes

Der erste Schritt, der bei der automatischen Segmentierung eines Wappenschildes vorgenommen werden muß, ist die Entfernung des jeweiligen Randes. Der Rand eines Wappenschildes enthält keine für die Segmentierung relevanten Informationen. Da er sich zudem als störend bei der Freilegung von Figuren erweist, muß er in einer Vorverarbeitungsphase entfernt werden.

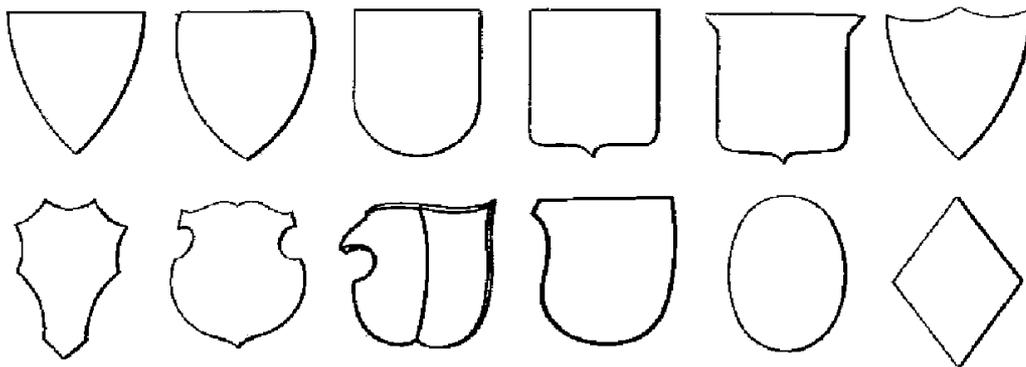


Abb.4: Häufige Gestaltungsformen des Wappenrandes [GJ78]

Die Form von Wappenschilden war im Laufe der Zeit einem stetigem Wandel unterworfen (vgl. Abb. 4). Aufgrund der künstlerischen Ausgestaltung fallen zudem häufig, zur Erzeugung eines räumlichen Effektes, einige Seiten des Schildrandes dicker aus als andere. Es ergeben sich deshalb folgende *Anforderungen* an einen Algorithmus zur Randentfernung:

- Eine automatische Randentfernung muß unabhängig von der Form des Schildrandes ablaufen
- Es muss einstellbar sein, ob an einer Seite der Randabtrag stärker ablaufen soll.

Morphologische Operatoren eignen sich sehr gut zu einer solchen Bearbeitung, da sie einerseits nur auf den Randpunkten eines Objektes operieren, andererseits aber durch die freie Wahl ihres Strukturelements eine gute Steuerung dieses Prozesses zulassen [Vog99].

Der Algorithmus zur Randentfernung

- a) *Einlesen* des Wappens aus der Sammlung. Dabei wird gegebenenfalls noch eine *Konvertierung* in ein von Halcon gefordertes Format durchgeführt.
- b) Erzeugung einer vollständig *gefüllten Region Schild*, die in Form und Abmessung exakt dem jeweiligen Wappen entspricht. Dazu wird das Wappen durch *Schwellwertbildung* in eine Region verwandelt, der Rand geglättet und die Region anschließend aufgefüllt, um die eventuell verbleibenden Löcher zu schließen.
- c) Jetzt werden von Schild durch Erosion *alle Randpunkte entfernt*. Dieser Schritt wird einem gewähltem Wert entsprechend oft wiederholt.
- d) In einem weiteren Schritt werden nur diejenigen Randpunkte eliminiert, die an einer *durch das Strukturelement gewählten Seite* liegen. Dies geschieht durch eine geeignete Wahl des Strukturelementes. Auch dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.

Der Forderung *i)* nach Unabhängigkeit von der Randform wird in Schritt *a)* und *c)* Rechnung getragen, Schritt *d)* erfüllt Forderung *ii)*. Weiter gewährleistet die individuelle Einstellbarkeit der Parameter die leichte Anpassbarkeit an verschiedene Wappensammlungen. Sind diese einmal gewählt, so gelten sie meist für die komplette Sammlung, da Eigenschaften wie Randdicke, Schatten rechts etc. in einer Sammlung selbst über variierende Randformen hinweg konstant bleiben. Abbildung 5 zeigt die Randentfernung mit den Phasen des vorgestellten Algorithmus. Im einfachsten Fall, wenn ein isoliertes Objekt auf silbernem, also unschraffiertem Schild vorliegt, kann dies bereits zu einer erfolgreichen Segmentierung führen

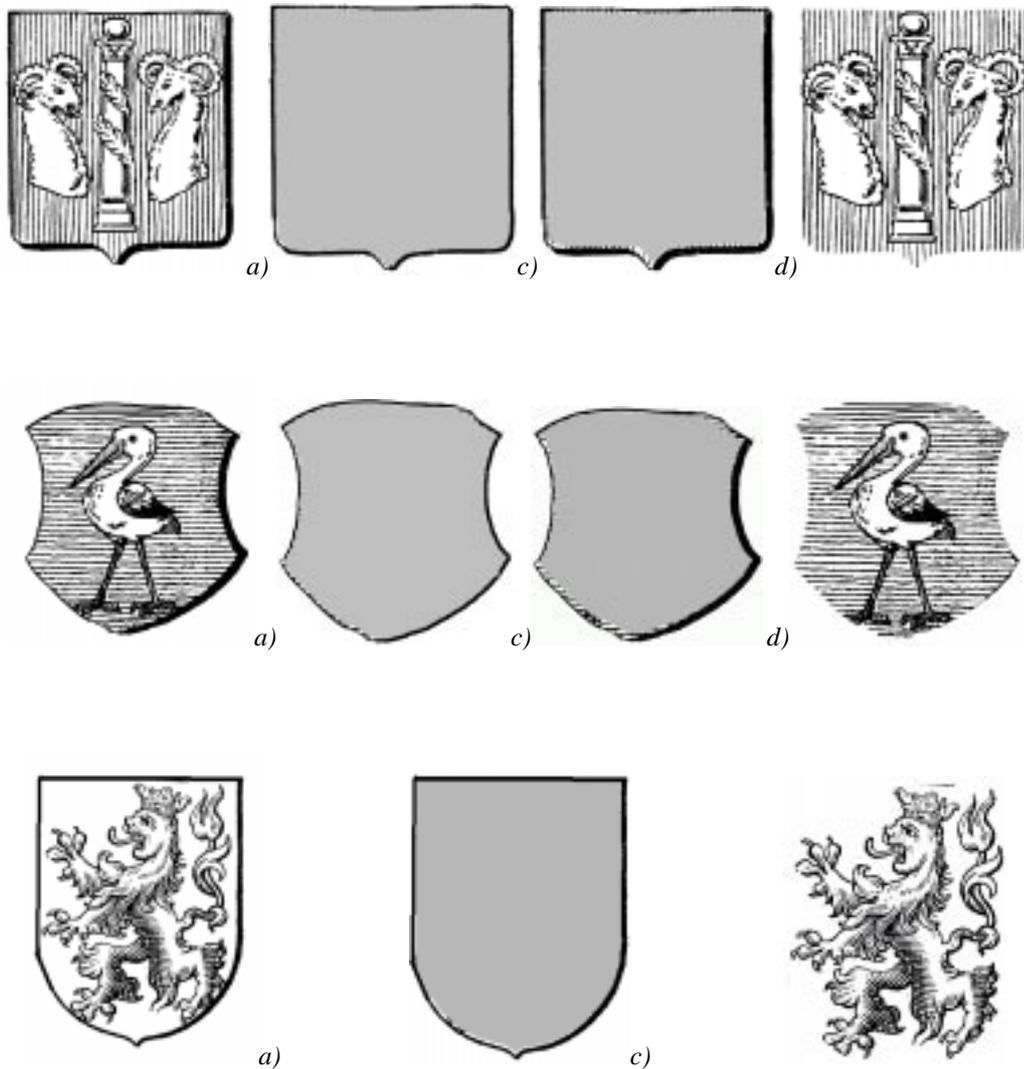


Abb. 5: Die Randentfernung läuft unabhängig von der Schildform ab.

5 Segmentierung durch Einfärben schraffierter Flächen

Dieser Abschnitt stellt ein Verfahren vor, welches schraffierte Flächen erkennt und mit der korrespondierenden heraldischen Farbe einfärbt. Ziel ist die Konstruktion von Farbbildern, die mit konventionellen Schwellwertverfahren an den Farbgrenzen segmentiert werden können. Da Schraffierungen durch ihre Richtung charakterisiert sind, liegt die Anwendung richtungssensibler Operatoren nahe.

5.1 Richtungssensible Filter auf lokalen Umgebungen

Unter Schraffierung versteht man eine lokale Eigenschaft, die in einer gewissen Umgebung eines zu untersuchenden Punkts definiert ist. Bei einer Schraffierungserkennung muß das In-

teresse also auf die Nachbarschaft eines Bildpunktes gerichtet werden. Dies wird durch ein Operatorfenster realisiert, welches das zu untersuchende Bild abtastet und festlegt, welcher Bereich Gegenstand weiterer Untersuchungen werden soll (vgl. Abb.6).

Auf einen so selektierten Bildausschnitt wird nun ein richtungssensibler Filter unter verschiedenen Winkeln angewandt. Aus dem gefilterten Bild läßt sich ein Maß - z.B. die Anzahl der nach der Filterung zurückbleibenden Pixel - ermitteln, welches eine Aussage darüber gestattet, inwiefern sich die Direktionalität des Bildausschnittes mit der Filterrichtung deckt. Nach mehrmaliger Filterung in jeweils den heraldischen Schraffierungen entsprechenden Winkeln ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$) deuten große Maßzahlen auf eine dominante Schraffierungsrichtung hin, so daß einem vorläufigen Texturbild an der jeweiligen Stelle der entsprechende Farbwert zugewiesen werden kann. Tritt keine Richtung besonders hervor, so bleibt die Farbe des Bildausschnittes unbestimmt.

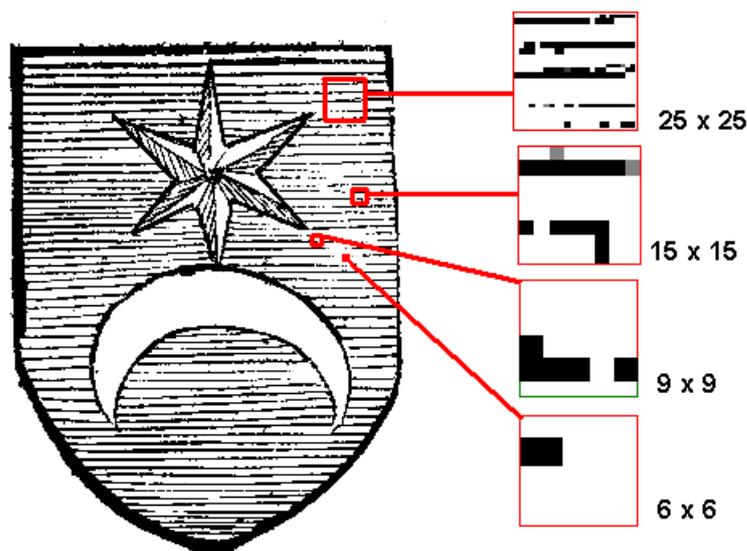


Abb.6: Operatorfenster unterschiedlicher Größe liefern Ausschnitte des betrachteten Bildes.

Zur Verbesserung des Ergebnisses muß das vorläufige Texturbild nachbearbeitet werden: Nur zusammenhängende Regionen einer jeweiligen Farbe werden akzeptiert, vereinzelte kleine Farbgebiete werden entfernt und das endgültige Texturbild entsteht.

5.2 Optimierung der Fenstergröße

Die Existenz und Richtung einer unter einem Fenster liegenden Schraffierung kann nicht unabhängig von der Größe des Fensters beliebig genau ermittelt werden. Exemplarisch werden Resultate von Fenstern der Größe 25×25 , 9×9 , 6×6 bzw. 3×3 Pixel miteinander verglichen. Woraus z.B. die horizontal schraffierten Ausschnitte in Abb.6 hervorgehen.

Das vorgestellte Verfahren liefert - über das gesamte Wappenbild gemittelt - folgende Schraffierungsverteilung:

Fenstergröße [n × n]	Winkel	0°	45°	90°	135°	Genauigkeit [max ₁ /max ₂]
	S.-Maß					
25×25		217	14	4	9	15.5
9×9		29	6	0	3	4.8
6×6		18	6	0	4	3
3×3		1	0	0	0	∅

Tabelle 1: Schraffierungsmaße in Abhängigkeit von der Größe des Operatorfensters

Die Entscheidungsgenauigkeit und die Auflösung des Texturbildes hängen von der Fenstergröße ab. Je kleiner das Operatorfenster gewählt wird, desto höher ist die Auflösung des resultierenden eingefärbten Bildes, jedoch desto geringer ist die Entscheidungsgenauigkeit der Farbzweisung. Dies veranschaulicht die graphische Darstellung von Tabelle 1:

Für die meisten Fenstergrößen hebt sich der Schraffierungswert für 0° in Tabelle 1 deutlich von den übrigen Werten ab, was auf eine Schraffierung in horizontaler Richtung hinweist. Offensichtlich nimmt das Verhältnis zwischen größtem und zweitgrößtem Wert mit kleiner werdendem Fenster ab. Dieses Verhältnis kann zur Entscheidung über die Dominanz einer bestimmten Schraffierungsrichtung herangezogen werden und gibt direkten Aufschluß über die Erkennungsgenauigkeit des Verfahrens. Bei einer Fenstergröße von 3×3 Pixeln wird deutlich, daß bei zu kleinen Fenstergrößen keine ausreichend sichere Aussage bezüglich Schraffierungsrichtungen mehr gemacht werden kann.

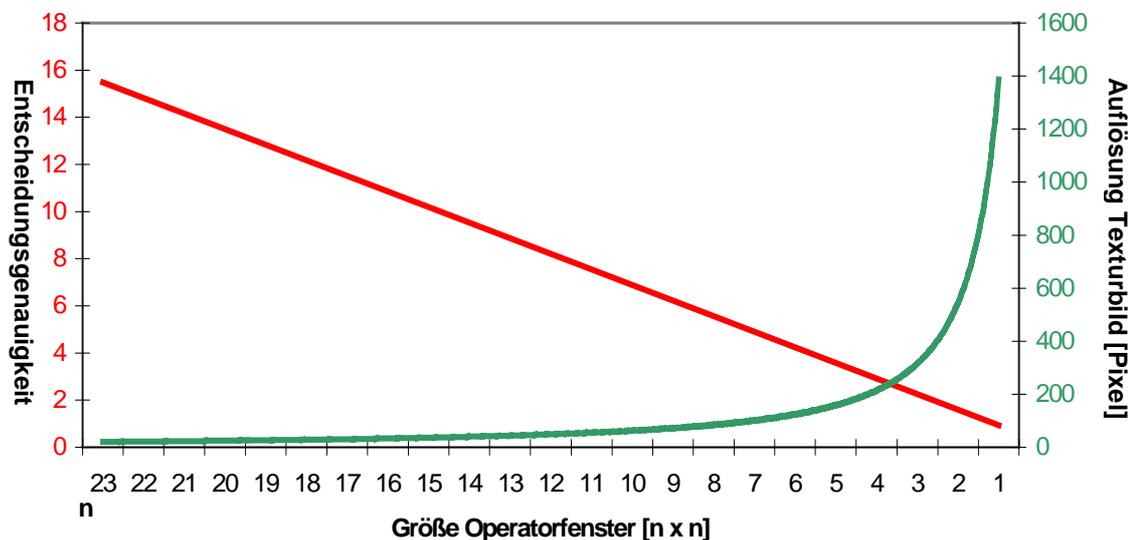


Abb.7: Eine Verkleinerung des Operatorfensters vergrößert die Auflösung des Texturbildes um den Preis sinkender Genauigkeit der Farberkennung.

Das Diagramm in Abb.7 veranschaulicht, wie eine Verkleinerung des Fensters zu deutlichem Absinken der Entscheidungsgenauigkeit führt, die Unterschreitung gewisser Mindestabmessungen – die in der Größenordnung der Schraffierungsdistanz liegen – macht eine Detektion sogar völlig unmöglich. Andererseits jedoch verringert sich mit größer werdendem Fenster

die Auflösung des Ergebnisbildes und damit auch die Trennschärfe einer nachfolgenden Segmentierung.

5.3 Segmentierungsergebnisse und Anwendungen

Die Anwendung dieses Verfahrens zur Segmentierung von Objektformen zeigt, daß ein akzeptabler Kompromiß bezüglich der Größenwahl des Operatorfensters kaum zu finden ist. Ist das Fenster klein genug für eine gute Segmentierung, so wird die Farberkennung zu ungenau. Wählt man es entsprechend größer, ist keine hinreichend trennscharfe Segmentierung mehr möglich. Das Verhältnis der schraffierten Flächen zueinander und die Erkennung der dominanten Richtungen erlauben es jedoch, die gewonnenen Informationen zur Erzeugung von Texturbildern (vgl. Abb. 8) für Farbhistogramme und graphische Indices zu nutzen.

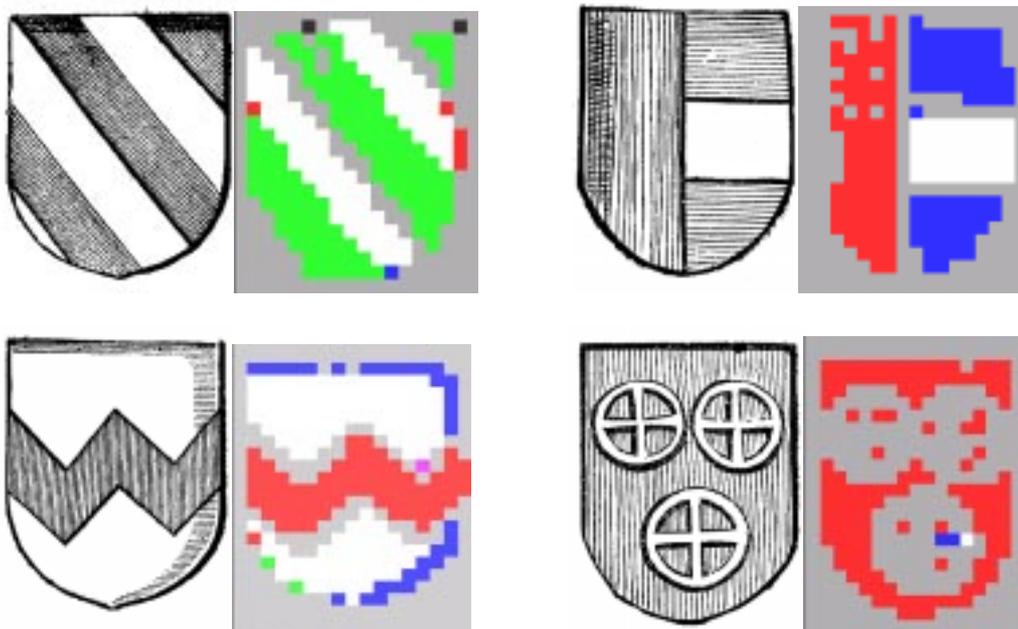


Abb.8: Durch Operatorfenster erzeugte Texturbilder

Farbhistogramme repräsentieren die Farbanteile innerhalb eines Bildes. Soll die Verteilung von Farbschraffierungen, Silber und Schwarz ermittelt werden, so kann das im (evtl. nachbearbeitete) Texturbild herangezogen werden. Um die darin vorkommende Farbverteilung zu bestimmen, braucht lediglich die einer Farbe entsprechende Fläche bestimmt zu werden. Der Anteil kreuzschraffierter, bzw. goldener Flächen an der Gesamtfläche eines Wappenschildes kann sogar ohne die Operatorfenstermethode bestimmt werden. Hier werden die von der Schraffierung erzeugten weißen, bzw. schwarzen Punkte gewisser Größe global gezählt und so ein Maß für den Anteil abgeschätzt. Testreihen des Verfahrens ergaben, daß die absoluten Werte der Farbanteile in der Praxis zwar sehr stark von der Qualität der Vorlage abhängen, relativ zueinander betrachtet ergab sich jedoch fast immer eine gute Aussage über die im Wappen enthaltenen Farbanteile.

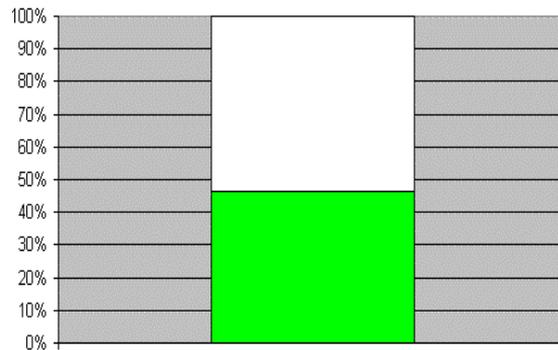


Abb.9: Ein Wappen (aus Abb. 8) und sein abgeleitetes Farbhistogramm

Die erzeugten Texturbilder geben auch guten Aufschluß über die räumliche Anordnung der vorkommenden Farben (Farb-Layout, Positional Color) und können als sog. graphischer Index für Query by Visual Example oder Query by Sketch dienen [HK92].

6 Segmentierung durch Texturentfernung

Ein zweiter Ansatz ist die Segmentierung durch Entfernung von Texturen. Bei der Texturentfernung beschränkt man sich auf die Entfernung der Hintergrundtextur, da sonst die Gefahr der übermäßigen Beschädigung von heraldischen Figuren besteht. Ziel ist die Freilegung der Figuren, deren Form dann von außen direkt (z.B. mittels morphologischer Verfahren) segmentiert werden kann.

6.1 Fünf Fälle von Texturentfernungsproblemen in der Heraldik

In Anlehnung an die heraldischen Texturen (vgl. Abb.1) ergeben sich fünf Fälle von Texturentfernungsproblemen. Sie beziehen sich dabei auf die Hintergrund-, also die Schildfarbe, auf der sich die zu segmentierenden Objekte abzeichnen (vgl. Abb.10). Die Objekte selbst können dabei wiederum mit vom Hintergrund abweichenden Texturen versehen sein.

1. **Silber:** Der betrachtete Schildteil ist frei von jeglicher Schraffierung, was den einfachsten Fall für eine nachfolgende Formsegmentierung darstellt.
2. **Schwarz:** Auf schwarzem Schild liegen helle Objekte.
3. **KreuzSchraffierung** ist eine weitere Möglichkeit der Darstellung von schwarzen Schilden.
4. **Gold** wird durch schwarze Punkte auf weißem Hintergrund dargestellt.
5. **FarbSchraffierung:** Der Schild ist schraffiert. Die Richtung der Schraffierung korrespondiert mit der Originalfarbe des Schildes.

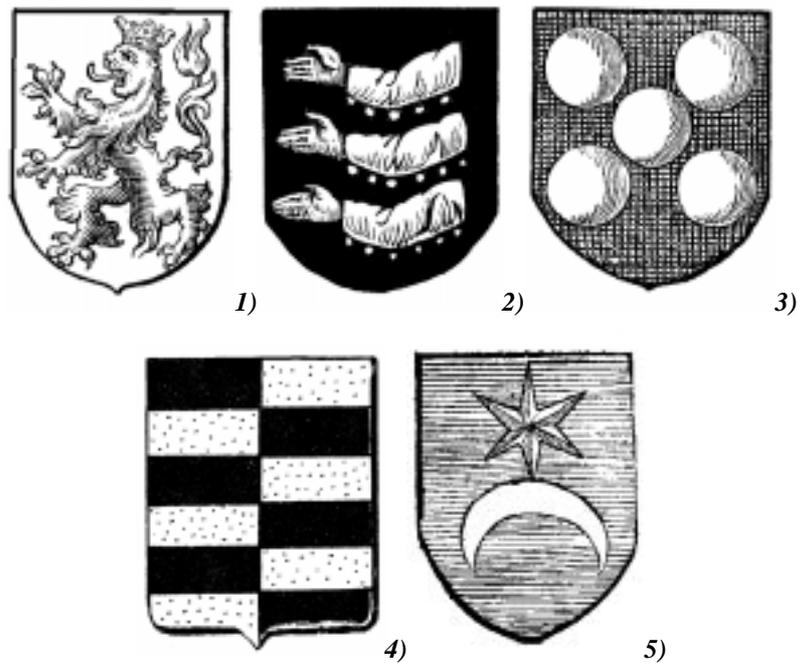


Abb.10: Beispiele für die fünf Fälle von Texturentfernungsproblemen

Damit die Texturentfernung korrekt ablaufen kann, also das jeweils richtige Segmentierungsverfahren angewandt wird, muß festgestellt werden, welcher der fünf Fälle vorliegt. Diese Erkennung der Hintergrundfarbe kann durch Untersuchung des Schildrandes erfolgen. Da in Form des Farbhistogrammes bereits die Menge der im Schild vorkommenden Farben ermittelt wurde, können die Ergebnisse verwendet werden, um aus dieser Menge eine Auswahl zu treffen.

6.2 Bestimmung der Hintergrundfarbe und Textur

In der Heraldik sind Figuren um das Zentrum des Schildes angeordnet und die Randbereiche sind (größtenteils) unbelegt. Beschränkt man seine Betrachtungen nun auf den Schildrand (vgl. Abb.11) und führt an ihm eine Farbuntersuchung analog zum Gesamtbild durch, so erhält man die Hintergrundfarbe.

Diese Erkennung kann durch einen formalisierten Entscheidungsprozess dargestellt werden. Seine Grundlage sind sowohl die Randmerkmale als auch das Histogramm (vgl. Abb.12). Sind die Randmerkmale für Weiß, dominante Richtung, Gitter, Gold oder Schwarz besonders groß, so wird diese Farbe als Schildfarbe angenommen. Häufig wird der Wert für die dominante Richtung von am Wappenrand liegenden Verzierungen gestört. Diese Verfälschung kann durch eine Abfrage, ob die Farbe der dominanten Richtung im Histogramm enthalten ist, korrigiert werden. In etwa 20% der Fälle liefert diese Kette keine Entscheidung; dann sollte der Maximalwert des Farbhistogramms als Schildfarbe angenommen werden. Tests an einer Wappensammlung [B1660] ergaben, daß die Schildfarbe von nur etwa 3% der Wappen falsch eingeschätzt wurde. In über 95% der Fälle wurde die Hintergrundfarbe korrekt erkannt.



Abb.11: Isolation des Randbereiches

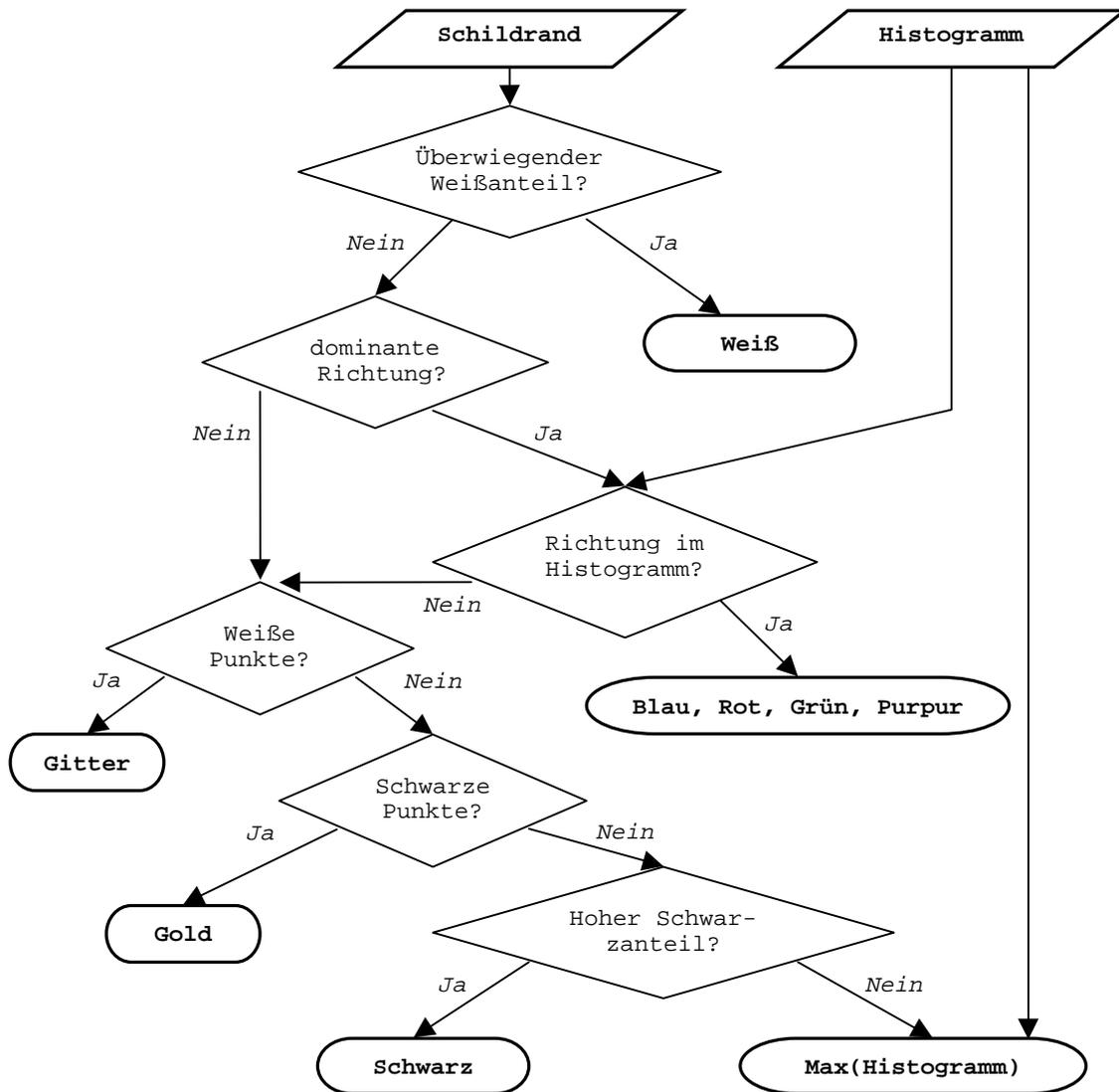


Abb. 12: Flussdiagramm zur Bestimmung der Schildfarbe

6.3 Texturentfernung

Nach erfolgreicher Erkennung der Textur des Hintergrundes kann diese entfernt werden. Grundlegendes Verfahren wird die Segmentierung auf silbernem Schildhintergrund sein, wo alle heraldischen Figuren freiliegen und z.B. durch morphologische Verfahren von außen segmentiert werden können. Alle anderen Fälle sollen durch Entfernung störender Hintergrundtexturen auf diesen Fall zurückgeführt werden.

Silber

Der einfachste Fall eines Segmentierungsproblems sind auf weißem, unschraffiertem, in der Heraldik also silbernem Hintergrund vorliegende Objekte. Der hierfür entwickelte Algorithmus kann mittels morphologischer Verfahren direkt auf die Form der Objekte zugreifen (vgl. Abb. 13).

Segmentierung auf silbernem Hintergrund

- a) Einlesen des zu verarbeitenden Wappens.
- b) Entfernung des Schildrandes.
- c) Das Wappen wird in seine von unverbundenen Regionen aufgespalten. Diejenigen von ihnen, deren Fläche ein gewisses Mindestmaß unterschreitet, werden entfernt.
- d) Brüchige Stellen in den Objektkonturen werden geschlossen. Die Gefahr der Verbindung von nicht zusammen gehörenden Objekten besteht nicht, da jedes Objekt für sich behandelt wird.
- e) Auffüllen kleiner Löcher. Bedingung ist, daß die Fläche der jeweiligen Löcher einen Maximalwert nicht übersteigt.

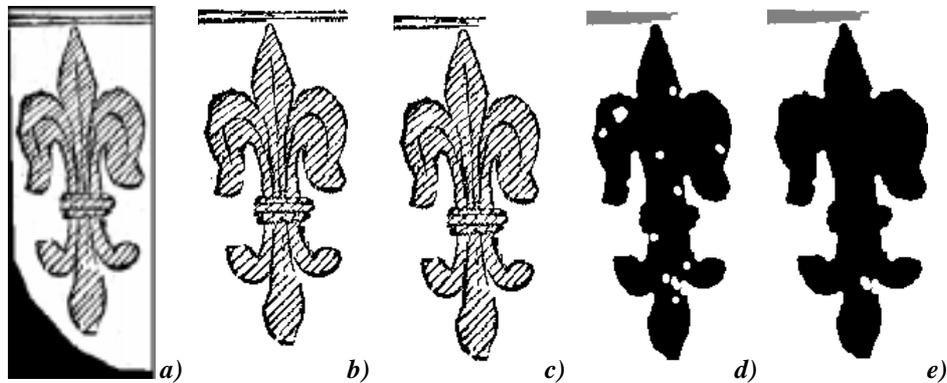


Abb.13: Verlauf der Segmentierung einer Lilie auf silbernem Schild

Schwarz

Der Fall von Segmentierung auf schwarzem Hintergrund läßt sich durch eine leichte Transformation in den von silbernem überführen. Nach der Randentfernung wird ein Zwischenschritt eingefügt, der die Grauwerte des Wappens invertiert. Somit erhalten wir jetzt schwarze oder schraffierte Objekte auf weißem Hintergrund, und die Segmentierung kann wieder wie zuvor ablaufen (vgl. Abb.14).



Abb.14: Invertierung eines Wappens auf schwarzem Schild mit anschließender Segmentierung

Kreuzschraffierung

Für die zweite Variante der Schwarzrepräsentation ist ebenfalls eine Invertierung sinnvoll. Nach erfolgter Invertierung hat die Formsegmentierung jedoch Probleme mit den zwischen den Schnittpunkten der Gitterlinien entstehenden Punkten. Die Größe dieser Punkte schwankt zwar von Wappen zu Wappen, ist aber innerhalb eines jeden ziemlich konstant. Ihre Form ist sehr kompakt. Zur Entfernung der Punkte müssen also – nach der Invertierung des Bildes – alle unverbundenen Flächen, die den Kriterien entsprechen, herausgenommen werden. Die Schwellwerte für die Kriterien Größe und Form (Kompaktheit) können dabei dynamisch für jedes Bild einer Sammlung gewählt werden. Nach Eliminierung der so erkannten Gitterpunkte kann mit der Segmentierung analog zum Fall silberner Wappenschilde weiter verfahren werden (vgl. Abb. 15).

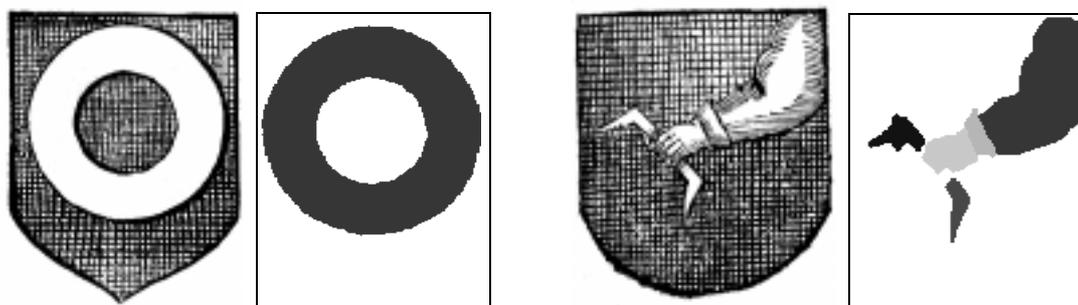


Abb.15: Segmentierung von Objekten auf kreuzschraffiertem Schild

Gold

Goldene Wappenschilde können als inverser Fall zum kreuzschraffierten Hintergrund angesehen werden. Da Gold durch schwarze Punkte auf weißem Schild dargestellt wird, brauchen also lediglich die Punkte nach ihrer Erkennung entfernt zu werden. Es bleibt ein Wappen auf unschraffiertem Hintergrund zurück und die Segmentierung kann ablaufen (vgl. Abb. 16).

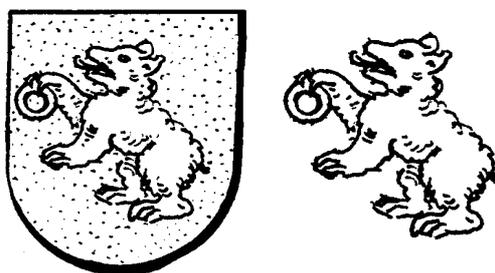


Abb. 16: Segmentierung auf goldenem Feld

Farbschraffierung

Liegen Objekte auf schraffiertem Schild, so ist die Entfernung dieser Farbschraffierung notwendig, um die Objekte segmentieren zu können. Es ergeben sich drei *Forderungen an Schraffierungsentfernungsverfahren*:

- *Richtungssensibilität*: Schraffierungsentfernungsverfahren müssen auf die Richtung der zu entfernenden Schraffierung eingehen. Schraffierungen, welche nicht der Hintergrundfarbe entsprechen sollen erhalten bleiben.
- *Mindestanzahl*: Schraffierungslinien treten in einer gewissen Häufigkeit auf. Zur Bestimmung von Parallelität und Frequenz sind mindestens zwei Linien notwendig.
- *Schraffierungsfrequenz*: Linien in Schraffierungen haben einen fixen Abstand zueinander, welcher sie von gleichgerichteten, ebenfalls parallelen Linien unterscheidet.

Es wurden in [Vog99] diverse Verfahren zur schraffierungsentfernung verglichen, eine perceptionelle Analyse der Segmentierungsergebnisse ergab jedoch die Fouriertransformation mit anschließender Filterung im Frequenzraum als adäquate Schraffierungsentfernungsmethode. Fourierfilter sind als Masken, die Teilbereiche des Frequenzraums abdecken, realisiert. Im Frequenzraum entspricht der Schraffierungsrichtung eine Ursprungsgerade im selben Winkel, der Schraffierungsfrequenz entspricht der Abstand zum Ursprung. Da für jede Schraffierungsrichtung auch Oberwellen mit transformiert werden, treten mehrere Ballungen pro Richtung auf. Da der Abstand eines Flecks vom Zentrum des Fourierbildes indirekt proportional zur Frequenz der UrsprungsSchraffierung ist, ermöglicht das Fourierbild einen direkten Zugriff auf Richtung und Frequenz der repräsentierten Schraffierungen.

Soll ein Frequenzraumfilter also auf Schraffierungen gewisser Richtung und Frequenz eingestellt werden, so muß eine entsprechende Filtermaske gestaltet werden. Sie ist punktsymmetrisch zum Ursprung, die Abstände der abzudeckenden Flächen vom Ursprung entsprechen der Schraffierungsfrequenz und deren Oberwellen, der Winkel der Richtung der zu bearbeitenden Schraffierung. Wird eine Maske angewendet, werden alle unter ihr liegenden Bereiche des Bildes im Frequenzraum auf den Durchschnittsgrauwert des Hintergrundes gesetzt. Nach der Rücktransformation des gefilterten Bildes zeichnen sich bestimmte schraffierte Flächen grau ab. In andere Richtungen schraffierte Flächen bleiben praktisch unverändert. Damit kann eine Schwellwertsegmentierung erfolgreich eingesetzt werden (vgl. Abb. 17).

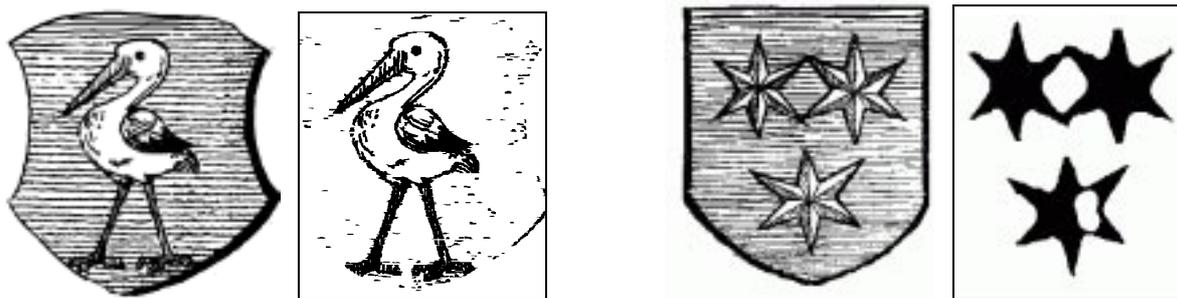


Abb.17: Segmentierung durch Filterung im Frequenzraum

6.4 Nachbearbeitung

Nach Segmentierung in den Fällen weißer, goldener, schwarzer und gegitterter Wappenschilder liegen in den meisten Fällen bereits zufriedenstellende Ergebnisse in Form von Objektmasken vor. Durch die Elimination von Schraffierungslinien werden jedoch die freigelegten Objekte stellenweise beschädigt. Die Objektkonturen liegen nur bruchstückhaft vor und müssen zu einer geschlossenen Konturlinie vervollständigt werden, bevor ein Auffüllvorgang

auch in diesem Fall die Objektmaske liefern kann. Für solche Vervollständigungen können Line-Completion-Verfahren wie etwa die Hough-Transformation [Cas96] genutzt werden. Diese Verfahren verbinden benachbarte Teilstücke von Objektkonturen. Zusätzlich zu den segmentierten Objekten steht dabei in diesem Fall das Originalbild vor der Texturentfernung als Abgleichmöglichkeit zur Verfügung.

Die Qualität der Ergebnisse hängt allerdings nicht nur vom Texturentfernungsverfahren, sondern auch stark von der Beschaffenheit der Originalvorlage ab. Generell sind beschädigte Objekte auf bruchstückhaften Schraffierungen praktisch kaum segmentierbar, während Figuren, die sich auf deutlichen Texturen abzeichnen, sehr gut segmentiert werden können. Testreihen an [B1660] ergaben, daß etwa 50%-60% der untersuchten Wappen hinreichend gut segmentiert werden konnten. Bei diesen beschränkte sich die notwendige Nachbearbeitung auf ein bloßes Annehmen oder Ablehnen der segmentierten Objekte.

Zusätzlich bereiten in der Segmentierung sich überlappende Formen große Schwierigkeiten. Der Mensch erkennt bekannte Formen und Objekte beim Betrachten des Bildes und bringt somit Wissen über mögliche zu segmentierende Objekte ein. Ohne solches Wissen ist kein System in der Lage, solche Fälle in der Praxis zu lösen [AB+95], [AS98].

Sind schließlich die Figuren der Wappen korrekt segmentiert, kann den Objekten ihre Farbe zugeordnet werden. Zu deren Bestimmung wurde derselbe Algorithmus wie zur Untersuchung des Schildrandes verwendet. Da hier die gesuchten Objekte bereits segmentiert sind, kann auf eine komplizierte Entscheidungskette verzichtet werden. Dem Verfahren zur Analyse der Farbinformationen wird anstelle des Gesamtschildes oder des Schildrandbereiches das zu untersuchende Objekt übergeben und es werden wieder Informationen über das weiß-schwarz-Verhältnis, die Anzahl der Gitterpunkte und eine dominierende Schraffierungsrichtung zurückgeliefert, denen eine Farbe zugeordnet werden kann.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel war die Entwicklung von Verfahren zur Bildsegmentierung in einer heraldischen Sammlung. Da die Entwicklung effektiver automatischer Segmentierungsmethoden zur Anwendung auf allgemeine Bilder ist trotz intensiver Forschung auf diesem Gebiet bisher nicht gelungen ist, wurde spezielle Anwendungssemantik der Wappenbilder eingebracht. Das Bildanalysepaket MVTEC Halcon stellte sich als adäquates Werkzeug zur Segmentierung heraus. Es deckt ein sehr breites Spektrum an digitalen Bildbearbeitungsverfahren ab und erlaubt eine schnelle Umsetzung und Evaluation von Konzepten.

Es wurden zwei Verfahren zur Segmentierung vorgestellt. Das erste geht den Weg der Einfärbung schraffierter Flächen und konnte aufgrund mangelhafter Trennschärfe keine befriedigenden Ergebnisse in der Segmentierung liefern. Zur Analyse der Farbinformation konnte jedoch auf diese Weise ein automatisches Verfahren entwickelt werden, welches aussagekräftige Farbhistogramme aus monochromen Wappenbildern extrahiert und zudem in der Lage ist, die darin auftretenden Farben sehr sicher nach Objekt- bzw. Hintergrundzugehörigkeit zu differenzieren. Somit wird erstmals auch eine farbbasierte Suche in monochromen Wappensammlungen möglich.

Der zweite Lösungsansatz hatte die Entfernung von Textur zum Ziel. Dazu wurden morphologische Methoden angewandt, eine Methode zur Erkennung der Hintergrundtextur und ein Verfahren zur Filterung von Schraffierungen im Fourierraum entwickelt. Tests an einer heral-

dischen Sammlung ergaben zwar, daß eine Segmentierung mit dieser Methode nur semiautomatisch zu lösen ist, in den meisten Fällen ließ sich die menschliche Interaktion allerdings auf eine bloße Bestätigung oder Ablehnung des Ergebnisses beschränken. Damit werden die Kosten in der Erfassung digitalisierter Bildbestände wesentlich verringert werden.

Allgemein treten bei Segmentierungsvorgängen Schwierigkeiten mit sich überlappenden Objekten auf. Probleme bereite ebenfalls die oft schlechte Qualität der historischen Vorlagen. Die Schraffierungsabstände und Liniendicken sind nicht konstant, weshalb die Schraffierungsentfernung oft unvollständig abläuft. Auch hängen Feinabstimmungen wie Operatorfenstergrößen sehr von der Wappensammlung ab. Bei einem Wechsel der Sammlung (z.B. andere Größen der Schilde) müssen diese sehr empfindlich einzustellenden Parameter neu angepasst werden. Weiter sind Objektkonturen in vielen Fällen unvollständig oder werden durch die Schraffierungsentfernung beschädigt, weshalb Objekten keine korrekten Form-Features entnommen werden können. Line-completion-Verfahren, wie die Hough-Transformation, können dieses Problem durch Verbinden benachbarter Konturen lösen, zumal ihnen zusätzlich zu den segmentierten Objekten das Originalbild als Abgleichmöglichkeit zur Verfügung steht.

8 Literatur

- [AB+95] Ashley, Barber, Flickner, Hafner, Lee, Niblack, Petkovic. Automatic and Semi-Automatic Methods for Image Annotation and Retrieval in QBIC. Technical Report RJ-9951. IBM Almaden Research Center 1995
- [Arn74] Arnheim. Art and Visual Perception: Apsychology of the Creative Eye, University of California. London 1974
- [B1660] Bucelin. Germania Topo-Chrono-Stemmatographica Sacra et Profana. Vol. 1-4. Görlinus. Ulm 1660-1678
- [Bal97] Balke. Untersuchungen zur bildinhaltlichen Datenbankrecherche in einer Wappensammlung anhand des IBM Ultimedia Managers. Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 1997
- [BF+96] Bach, Fuller, Gupta, Hampapur, Horowitz, Humphrey, Jain, Shu. Virage Image Search Engine: An Open Framework for Image Management. In: Storage and Retrieval for Image and Video Databases (SPIE) 1996, pp. 76-87, 1996
- [Cas96] Castleman. Digital image processing. Prentice-Hall Inc. 1996
- [EBG98] Eakins, Boardman, Graham. Similarity Retrieval of Trademark Images. Technical Report. University of Northumbria. Newcastle 1998
- [FB+94] Faloutsos, Barber, Flickner, Hafner, Niblack, Petkovic, Equitz. Efficient and Effective Querying by Image Content, Journal of Intelligent Information Systems, Vol. 3 (1994), pp. 231-262
- [GJ78] Galbreath, Jéquier. Lehrbuch der Heraldik, Augsburg 1978

- [HK92] Hirata, Kato. Query by Visual Example, Advances in Database Technology EDBT '92, Heidelberg 1992
- [Inf97] Informix Software, Inc. Excalibur Image DataBlade Module (User's Guide), Informix Press 1997
- [KE+98] Kießling, Erber-Urch, Balke, Birke, Wagner. The HERON Project – Multimedia Database Support for History and Human Sciences. In: 28. Annual Conference of the German Computer Society (GI): INFORMATIK98, LNCS, Magdeburg, Germany, September 1998. Published in Dassow, Kruse (edit.). Informatik '98: Informatik zwischen Bild und Sprache, pp. 309-318, Heidelberg 1998
- [KB+99] Kießling, Balke, Birke, Urch, Wagner. Das HERON-Projekt – Ein Zwischenbericht. Technischer Bericht 1999-4, Institut für Informatik. Universität Augsburg 1999
- [KT90] Kasturi, Trivedi (Hrsg). Image analysis applications. Marcel Dekker Inc. New York 1990.
- [MKL95] Mehtre, Kankanhalli, Lee. Shape Measures For Content Based Image Retrieval: A Comparison, Technical Report TR95-195-0, Institute of Systems Science, National University of Singapore 1995
- [MVT98] Machine Vision Technologies (MVTec). HALCON Version 5.1 User's Manual. München 1998
- [PPS94] Pentland, Picard, Sclaroff. Photobook: Tools for content-based manipulation of image databases. Proc. SPIE Conf. on Storage and Retrieval of Image and Video Databases II, pp. 34-47, San Jose 1994
- [Rad93] Radig (Hrsg), Levi, Eckstein, Meyer-Gruhl. Handbuch der Informatik Band 6.4: Verarbeiten und Verstehen von Bildern. Oldenbourg. München 1993
- [S1856] J. Siebmacher's grosses und allgemeines Wappenbuch. Neu hrsg. von Otto Titan von Hefner. Nürnberg 1856 ff.
- [Str94] Straten van Roelof. Iconography Indexing Iconclass, Foleor Publishers, Leiden/Niederlande 1994
- [SW97] Spektrum der Wissenschaft. Medizinische Bildverarbeitung. Vol 6/97. Pp. 102 ff. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft. 1997
- [UBK99] Urch, Balke, Kießling. Erfahrungen in der Digitalisierung und Erschließung einer historischen Wappensammlungen, Technischer Bericht 1999-1, Institut für Informatik. Universität Augsburg 1999
- [Vog99] Vogel. Automatische und semiautomatische Segmentierung von Wappenbildern mittels MVTec Halcon. Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 1999