

Universität Ulm

Fakultät für Mathematik und Wirtschaftswissenschaften

Abteilung angewandte Informationsverarbeitung, Abteilung Stochastik

Dr. J. Mayer, Prof. Dr. V. Schmidt, Prof. Dr. F. Schweiggert,  
Jun. - Prof. Dr. E. Spodarev



Seminararbeit

# Wasserscheiden - Ansätze zur Bildsegmentierung I

Seminar "Bildsegmentierung und Computer Vision"  
im Wintersemester 2005/2006  
Betreuer: Dipl.-Math. Oec. Frank Fleischer

eingereicht

von

**Stefan Sugg**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Diskretisierung	3
2.1.1	Graphen	3
2.1.2	Nachbarschaft	3
2.1.3	Wege	4
2.1.4	Diskrete Distanzfunktion	4
2.1.5	Zusammenhang	5
2.1.6	Grauwertbild	6
2.2	Morphologische Grundlagen	7
2.2.1	Strukturierendes Element	7
2.2.2	Erosion	7
2.2.3	Dilatation	8
2.2.4	Geodätische Erosion	9
2.2.5	Geodätische Dilatation	10
2.2.6	Gradienten	10
2.2.7	Geodätische Einflußzone	11
<b>3</b>	<b>Wasserscheidentransformation</b>	<b>13</b>
3.1	Grundsätzliches	13
3.2	Algorithmus	14
3.3	Vorbereitung des Bildes	17
3.3.1	Gauss-Filter	17
3.3.2	Markerkontrollierte Segmentierung	19
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>21</b>

# 1 Einleitung

Die Segmentierung eines Bildes kann als seine Einteilung in verschiedene Regionen definiert werden, wobei jede Region gewisse Eigenschaften besitzt. Ziel der Segmentierung ist es, die Regionen so zu wählen, dass sie sinnvollen Bildteilen entsprechen.

Mit der Wasserscheidentransformation ist es möglich, das Bild in solche Regionen zu unterteilen. Natürlich gibt es keine Universallösung, um Bilder gut zu segmentieren, da die Kriterien, durch die sich die Regionen ergeben, von Bild zu Bild sehr unterschiedlich sein können. Die Morphologie stellt jedoch einige Werkzeuge zur Verfügung, mit deren Hilfe man ein Bild vorbereiten kann, so dass die Wasserscheidentransformation die gewünschten Ergebnisse liefert.

Unter diesem Gesichtspunkt liefert die Morphologie ein mächtiges Instrumentarium, um Bilder zu segmentieren.

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden einige Größen und Operatoren eingeführt, die als Grundlage für die Bildbearbeitung in Kapitel 3 zu verstehen sind.

### 2.1 Diskretisierung

Um ein Bild digital erfassen zu können, ist es notwendig, nur endlich viele Bildpunkte zu betrachten.

#### 2.1.1 Graphen

Unter einem Graphen versteht man ein 2-Tupel, bestehend aus einer nichtleeren Menge von Knoten  $V = (v_1, \dots, v_n)$  und einer nichtleeren Menge von Kanten  $E = (e_1, \dots, e_m)$ . Eine Kante  $e_i$  verbindet zwei Knoten und kann deshalb auch durch die entsprechenden Knoten  $e_i = (v_j, v_k)$  dargestellt werden. Kanten geben zulässige Bewegungsrichtungen auf der Knotenmenge an. Bei ungerichteten Graphen ist die Bewegung in beiden Richtungen entlang einer Kante zulässig, d.h. die Kante hat keine Orientierung. Da in der Bildverarbeitung nur die Abstände der Knoten, nicht aber die Richtungen der Kanten von Belange sind, betrachtet man hier nur ungerichtete Graphen.



Abbildung 1

a) allgemeiner Graph

b) sechseckiger Graph

c) 4-Nachbarschaftsgraph

#### 2.1.2 Nachbarschaft

Der Begriff der Nachbarschaft besitzt einen sehr intuitiven Zugang. Die Nachbarn eines Knotens  $v_i$  sind alle Knoten, die eine gemeinsame Kante mit  $v_i$  besitzen.

Mathematisch lässt sich diese Menge der Nachbarn durch  $N_G(v_i) = \{v_j \in V \mid (v_i, v_j) \in E\}$  beschreiben. Meistens wird in der Bildverarbeitung ein 4-Nachbarschafts- oder 8-Nachbarschaftsgraph betrachtet, d.h. die Knoten sind wie in Abbildung 1c) quadratisch angeordnet und die Kanten verlaufen horizontal und vertikal. Im 8-Nachbarschaftsgraphen werden durch die Diagonalen zusätzliche Kanten definiert.

### 2.1.3 Wege

Im Abschnitt 2.1.1 wurde schon von zulässigen Bewegungsrichtungen auf einem Graphen gesprochen. Diese Vorstellung der Bewegung auf einem Graphen entlang der Kanten wird durch den Begriff des Weges konkretisiert. Ein Weg  $P = (v_0, \dots, v_l)$  ist eine Folge von Knoten. Dabei ist zu beachten, dass zwei aufeinander folgende Knoten  $v_i$  und  $v_{i+1}$  für  $i = 0, \dots, l-1$  eine gemeinsame Kante  $(v_i, v_{i+1}) \in E$  besitzen müssen. Bei gerichteten Graphen ist auch die Richtung der Kante zu beachten.

Ein Weg gibt also an, auf welchen Kanten man sich bewegt, um von  $v_0$  nach  $v_l$  zu gelangen. Als Länge eines Weges  $P$  bezeichnet man die Anzahl der Kanten, die durchschritten werden, um vom Startknoten zum Endknoten des Weges zu gelangen. Diese des Weges  $P = (v_0, \dots, v_l)$  ist also  $l$ . Insbesondere besitzen Wege zwischen zwei Nachbarknoten die Länge eins.

### 2.1.4 Diskrete Distanzfunktion

Eine diskrete Distanzfunktion ist eine Abbildung  $d_G : V \times V \rightarrow \mathbb{N}_0 \cup \infty$ . Sie ordnet zwei Knoten die Länge des minimalen Weges zu, der diese zwei Knoten verbindet. Falls kein Weg zwischen  $v_i$  und  $v_j$  existiert, so setzt man den Wert der diskreten Distanzfunktion auf unendlich.

Folgendes Beispiel verdeutlicht, dass die Funktionswerte der diskreten Distanzfunktion von der Nachbarschaftsbeziehung des Graphen abhängen.

Die Abbildung zeigt den jeweiligen Abstand zum mittleren Knoten an.

6	5	4	3	4	5	6
5	4	3	2	3	4	5
4	3	2	1	2	3	4
3	2	1	0	1	2	3
4	3	2	1	2	3	4
5	4	3	2	3	4	5
6	5	4	3	4	5	6

3	3	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	3	3

Abbildung 2

a) Distanzfunktion bei 4-Nachbarschaft

b) Distanzfunktion bei 8-Nachbarschaft

### 2.1.5 Zusammenhang

Eine Menge  $V' \subseteq V$  heißt zusammenhängend, falls zwischen allen Knoten  $v_i$  und  $v_j \in V'$  ein Weg in  $V'$  existiert. Auch der Begriff des Zusammenhangs hängt von der betrachteten Nachbarschaftsbeziehung ab. In der folgenden Abbildung ist  $V'$  grau dargestellt.

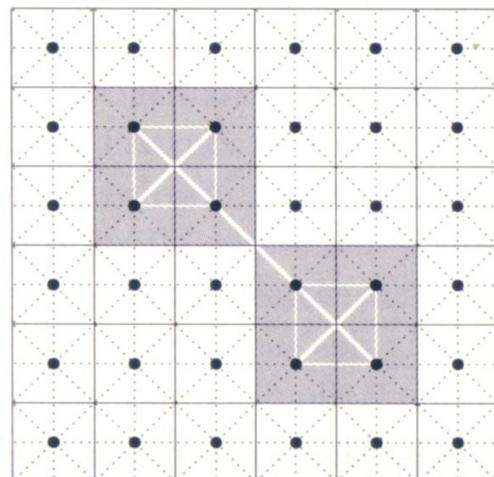
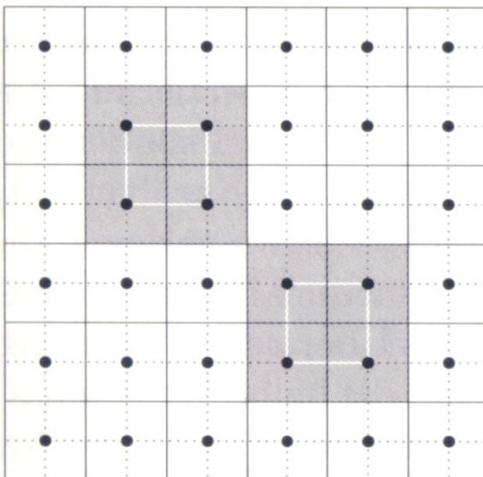


Abbildung 3

a) 4-Nachbarschaft

b) 8-Nachbarschaft

In Abbildung 3a) ist  $V'$  nicht zusammenhängend, da kein Weg in  $V'$  das linke mit dem rechten grauen Quadrat verbindet. Durch die 8-Nachbarschaftsbeziehung in Abbildung 3b) sind auch die Diagonalen zulässige Kanten. Dadurch existiert für alle  $v_i$  und  $v_j \in V'$  ein Weg in  $V'$ . Die Menge ist also zusammenhängend.

### 2.1.6 Grauwertbild

Unter einem Grauwertbild versteht man eine Abbildung  $f : D_f \subset \mathbb{Z}^n \rightarrow \{0, 1, \dots, t_{max}\}$ , die jedem Pixel  $x$  aus der Bildebene  $D_f$  einen Grauwert zwischen 0 und  $t_{max}$  zuordnet, wobei 0 für ein schwarzes Pixel und  $t_{max}$  für ein weißes Pixel steht. Die ganzzahligen Werte dazwischen entsprechen den Graustufen zwischen schwarz und weiß. Ist  $t_{max} = 1$ , so spricht man von einem Binärbild. Üblicherweise verwendet man bei einem Grauwertbild  $t_{max} = 255$ . Dadurch benötigt man für jeden Grauwert genau ein Bit Speicher. Als Knoten des Graphen  $G$  eines Grauwertbildes interpretieren wir nun alle Punkte  $(x, t)$ , für die  $x$  zur Bildebene gehört und  $t = f(x)$  gilt. Die dazugehörigen Kanten ergeben sich aus der verwendeten Nachbarschaftsbeziehung der Bildebene. Wie schon in Abschnitt 2.1.2 angesprochen, wird meist die 4-Nachbarschafts- oder 8-Nachbarschaftsbeziehung verwendet. Als Untergraph  $UG$  bezeichnet man alle Punkte unterhalb des Graphen.

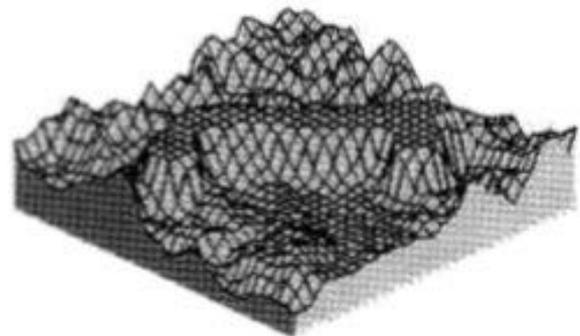


Abbildung 4

Bildebene  $D_f$  des Grauwertbildes  $f$

$$\text{Graph } G(f) = \{(x, t) \in \mathbb{Z}^n \times \mathbb{N}_0 \mid t = f(x)\}$$

Im Folgenden werden wir nur Grauwertbilder betrachten, da die elementare Was-

erscheidentransformation nur auf solche Bilder angewandt werden kann. Bei Farbbildern werden andere Ansätze benötigt.

## 2.2 Morphologische Grundlagen

Die mathematische Morphologie stammt von der Mengentheorie ab. Beschränkt man sich auf diskrete Räume, so kann man grundlegende Größen und Operatoren der Morphologie einführen, ohne dass fundierte Kenntnisse über die Mengentheorie und die Topologie vorausgesetzt werden müssen.

### 2.2.1 Strukturierendes Element

Ein strukturierendes Element ist eine Teilmenge der Bildebene  $D_f$ . Ein strukturierendes Element besitzt immer ein besonders gekennzeichnetes Pixel, das man Bezugspunkt nennt. Enthält das strukturierende Element außer dem Bezugspunkt nur die Nachbarn des Pixels, so spricht man vom elementaren strukturierenden Element. Strukturierende Elemente werden in der Morphologie als Parameter bestimmter Operatoren verwendet. Wird nun einer dieser Operatoren auf ein Bild angewandt, so werden alle Pixel durchlaufen und das jeweilige Pixel wird als Bezugspunkt für das strukturierende Element gesetzt. Dadurch wird nun für jedes Pixel festgelegt, welche Pixel außer dem Bezugspunkt für die Bestimmung des Operatorenwertes an jener Stelle relevant sind. Die zwei grundlegenden Operatoren, die ein strukturierendes Element als Parameter erhalten, heißen Erosion und Dilatation, die im Folgenden vorgestellt werden.

### 2.2.2 Erosion

Bei der Erosion  $\varepsilon_B(f)$  wird der Grauwert  $t$  jedes Pixels  $x$  durch das punktweise Minimum aller Pixel des strukturierenden Elements  $B$  ersetzt. Die Erosion verkleinert den Graphen des Grauwertbildes. Formal lässt sich die Erosion  $\varepsilon_B(f)$  als  $\varepsilon_B(f) = \bigwedge_{b \in B} f_{-b}$  darstellen, wobei  $f_{-b}$  für das um den Vektor  $b$  verschobene Bild und der Operator  $\wedge$  für das punktweise Minimum steht.

Das folgende Beispiel illustriert die Erosion eines eindimensionalen Grauwertbildes  $f$  mit dem elementaren strukturierenden Element  $B$ :

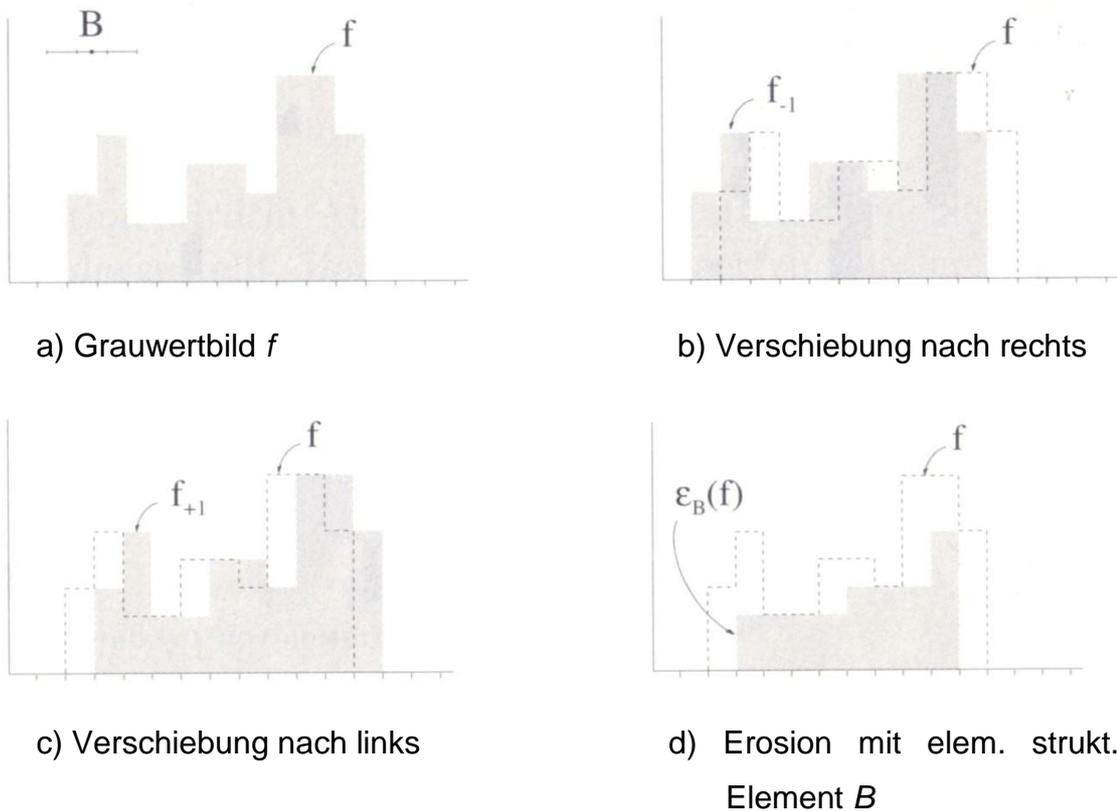


Abbildung 5

### 2.2.3 Dilatation

Durch die Dilatation  $\delta_B(f)$  eines Grauwertbildes  $f$  wird das punktweise Maximum aller Pixel des strukturierenden Elements  $B$  erzeugt. Die Dilatation vergrößert also den Graphen des Grauwertbildes. Analog zur Erosion lässt sich die Dilatation durch  $\delta_B(f) = \bigvee_{b \in B} f_{-b}$  darstellen, wobei nun  $\vee$  für das punktweise Maximum steht.

Das folgende Beispiel veranschaulicht die Dilatation.

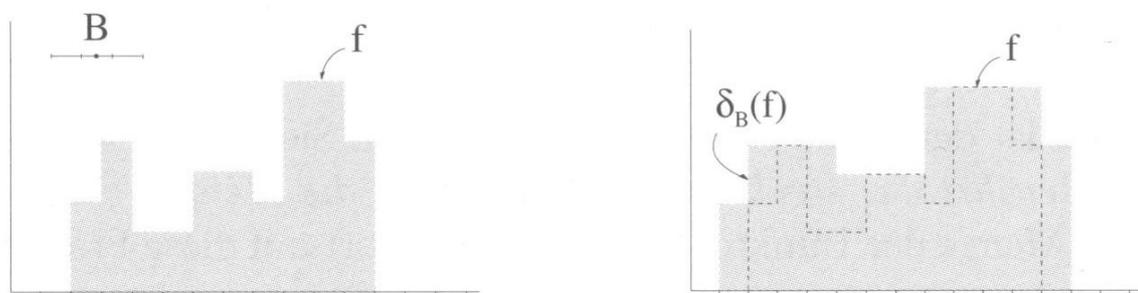


Abbildung 6

Achtung: Die Verknüpfung von Erosion und Dilatation  $\varepsilon_B(\delta_B(f))$  entspricht nur in Sonderfällen dem Bild  $f$ . Im Allgemeinen lässt sich nur sagen, dass  $\varepsilon_B(\delta_B(f)) \geq f$  gilt, wobei diese Ungleichung punktweise zu verstehen ist, d.h. sie gilt für alle  $x \in D_f$ . Diese Verknüpfung wird auch Schließung genannt. Der Operator  $\delta_B(\varepsilon_B(f))$ , der durch Vertauschung von Erosion und Dilatation entsteht, wird Öffnung genannt und ist kleiner oder gleich dem Ausgangsbild  $f$ .

## 2.2.4 Geodätische Erosion

Die geodätische Erosion  $\varepsilon_g^{(1)}(f) = \varepsilon^{(1)} \vee g$  ist ein Operator, dem zusätzlich zum Bild  $f$  auch ein sogenanntes Maskenbild  $g$  als Parameter übergeben wird. Dieses Maskenbild  $g$  muss kleiner als das Markierungsbild  $f$  sein. Das Markierungsbild  $f$  wird durch das elementare strukturierende Element erodiert. Die geodätische Erosion liefert nun das punktweise Maximum vom Maskenbild  $g$  und dem erodierten Bild von  $f$  als Ergebnis.

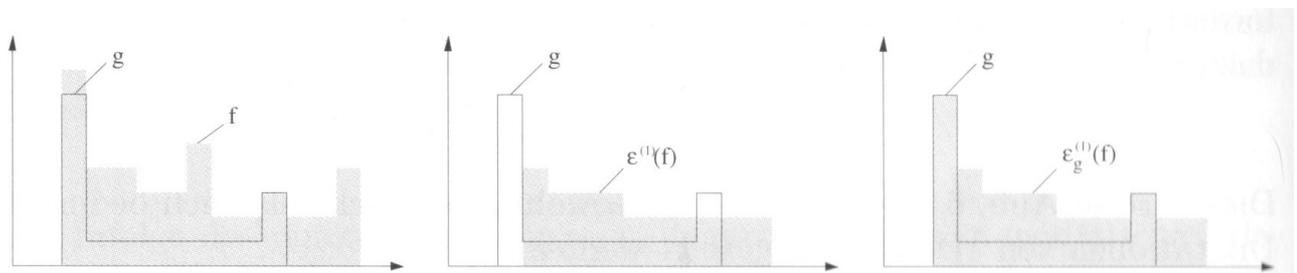


Abbildung 7

- a) Markierungsbild  $f$  und Maskenbild  $g$       b) elementare Erosion      c) geodätische Erosion

Die geodätische Erosion ist ein antiextensiver Operator in  $f$ , d.h.  $\varepsilon_g^{(1)}(f) \leq f$ . Diese Eigenschaft ergibt sich direkt aus dem Betrachten des punktweisen Maximums zwischen zwei Bildern, die beide kleiner als das Markierungsbild  $f$  sind. Zusätzlich dazu ist die geodätische Erosion durch das „Schwarzbild“ (gleiche Bildebene wie  $f$  und alle Grauwerte sind null) nach unten beschränkt. Durch sukzessives Ersetzen des Maskenbildes  $f$  durch  $\varepsilon_g^{(1)}(f)$  und erneutes Bestimmen der geodätischen Ero-

sion stellt sich eine stabile Menge ein. Diese wird mit  $R_g^*(f)$  bezeichnet und heißt Rekonstruktion durch Erosion. Diese Menge wird in Abschnitt 3.3 benötigt, um durch eine geeignete Vorverarbeitung des Bildes bessere Ergebnisse durch die Wasserscheidentransformation zu erreichen.

## 2.2.5 Geodätische Dilatation

Das Pendant zur geodätischen Erosion ist die geodätische Dilatation  $\delta_g^{(1)}(f) = \delta^{(1)}(f) \wedge g$ . Das Maskenbild  $g$  muss hier größer als das Markierungsbild  $f$  sein. Die geodätische Dilatation ist dann ein extensiver Operator in  $f$ . Sie ist durch das „Weißbild“ nach oben beschränkt. Die stabile Menge  $R_g(f)$  nennen wir Rekonstruktion durch Dilatation.

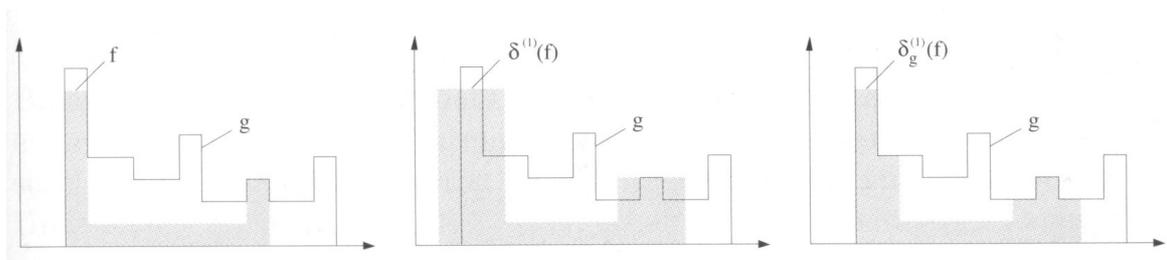


Abbildung 8

- a) Markierungsbild  $f$  und Maskenbild  $g$       b) elementare Dilatation      c) geodätische Dilatation

## 2.2.6 Gradienten

Durch Betrachten des zugehörigen Gradientenbildes können Grauwertschwankungen eines Bildes  $f$  besser detektiert werden. In Abschnitt 3.2 wird der interne Gradient  $\rho^-(f) = f - \varepsilon_B(f)$  aus diesem Grunde verwendet. Der interne Gradient ist an den Stellen größer als Null, an denen Grauwertschwankungen vorliegen.

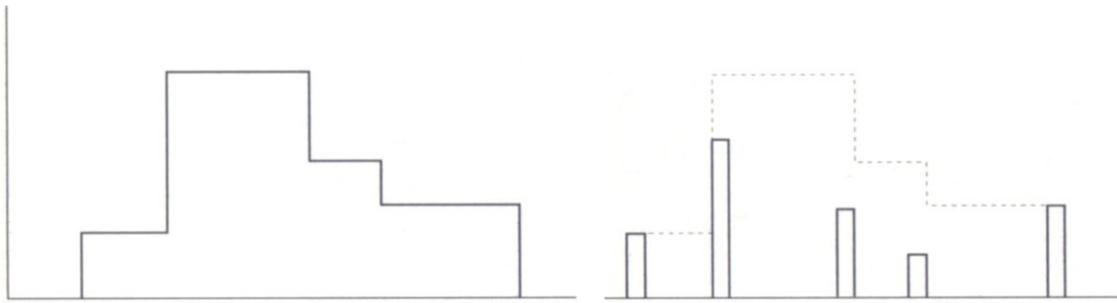


Abbildung 9

a) Bild  $f$

b) interner Gradient

Andere Gradientenoperatoren sind der Beucher-Gradient  $\rho(f) = \delta_B(f) - \varepsilon_B(f)$  und der externe Gradient  $\rho^+(f) = \delta_B(f) - f$ .

### 2.2.7 Geodätische Einflußzone

Die geodätische Einflußzone  $IZ_A(K_i)$  einer zusammenhängenden Komponente  $K_i \subset A$  spielt bei der Wasserscheidentransformation eine wichtige Rolle und wird in Abschnitt 3.2 nochmals aufgegriffen. Unter der geodätische Einflußzone  $IZ_A(K_i)$  einer zusammenhängenden Komponente  $K_i \subset A$  versteht man alle Knoten, deren diskreter Abstand zu  $K_i$  kleiner ist als zu jeder anderen Komponente  $K_j$ . Per Definition ist  $X$  die Vereinigung aller Komponenten.

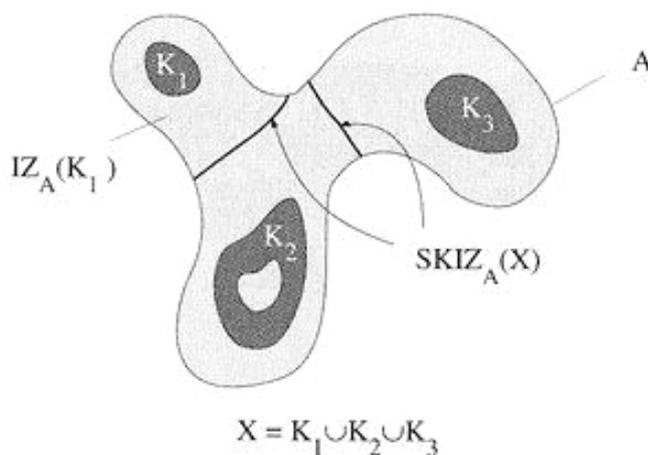


Abbildung 10

Die Grenzen der Einflußzonen, d.h. alle Punkte, die sich nicht eindeutig einer Einflußzone zuordnen lassen, bezeichnet man als geodätisches Skelett  $SKIZ_A(X)$ .

### 3 Wasserscheidentransformation

#### 3.1 Grundsätzliches

Die Idee der Wasserscheidentransformation stammt aus den Geowissenschaften. Als Wasserscheide wird der Grenzverlauf der Einzugsgebiete zweier benachbarter Fluss-Systeme bezeichnet.

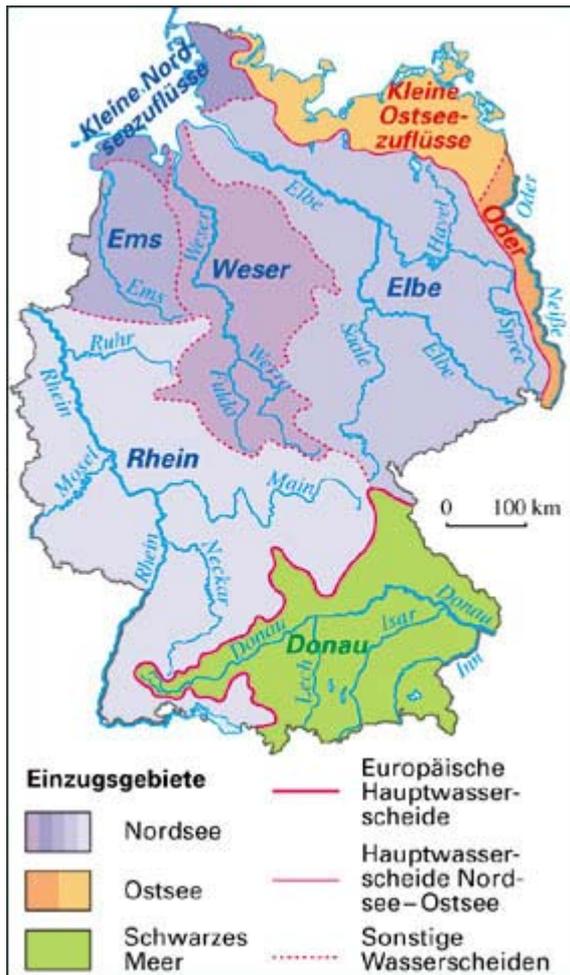


Abbildung 11

Wasserscheiden in Deutschland

Betrachtet man nun den Graphen des Grauwertbild  $f$  als topographisches Höhenmodell, so kann in der Bildverarbeitung diese anschauliche Aufteilung des Bildes in Einflusszonen der Fluss-Systeme zur Bildsegmentierung von  $f$  übertragen werden.

Im Folgenden wird zunächst eine algorithmische Vorgehensweise zu einer sol-

chen Aufteilung des Bildes vorgestellt, bevor auf die Frage eingegangen wird, warum und unter welchen Voraussetzungen die Wasserscheidentransformation gute Ergebnisse liefert.

### 3.2 Algorithmus

Die Segmentierung einer topographischen Oberfläche eines Grauwertbildes  $f$  durch Wasserscheiden entspricht der vollständigen Aufteilung der Bildebene  $D_f$  in disjunkte Auffangbecken.

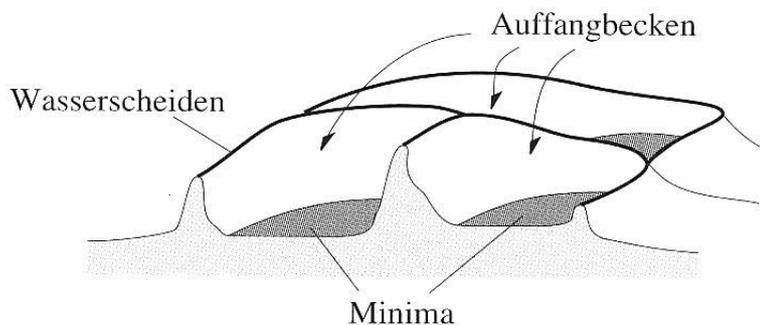


Abbildung 12

Um diese Auffangbecken zu konstruieren, kann man, bildlich gesprochen, auf jeden Knoten  $(x,t) \in G(f)$  einen Regentropfen fallen lassen. Dieser Regentropfen wird solange in die Richtung des stärksten Gefälles fließen, bis er ein lokales Minimum erreicht. Diese Richtung ist diejenige des betragsmäßig größten Gradienten. Die gesamte Punktmenge  $AB(M_i) \subset D_f$  deren Regentropfen im gleichen Minimum  $M_i \subset D_f$  ankommen wird als Auffangbecken bezeichnet. Ein lokales Minimum ist dabei eine größtmögliche zusammenhängende Teilmenge der Bildebene, die keine Abstiegsrichtung besitzt, d.h. die Grauwerte aller Nachbarpixel sind echt größer als der Grauwert des Minimums. Insbesondere besteht ein Minimum nicht notwendigerweise aus einem Pixel.

Bei der algorithmischen Umsetzung dieser Vorgehensweise stößt man auf das Problem, dass die größte Abstiegsrichtung nicht eindeutig definiert sein muss. Die Wasserscheiden werden deshalb unter Hilfenahme eines anderen Szenarios simuliert.

Man betrachtet nun wieder das Grauwertbild unter der Annahme, dass alle Minima bekannt sind. Diese Minima werden als Quellen interpretiert. Wenn man nun den Graphen, ausgehend vom niedrigsten Grauwert flutet, so entstehen Seen. An den Stellen, an denen das Wasser von zwei Seen aufeinander stößt, befindet sich eine Wasserscheide.

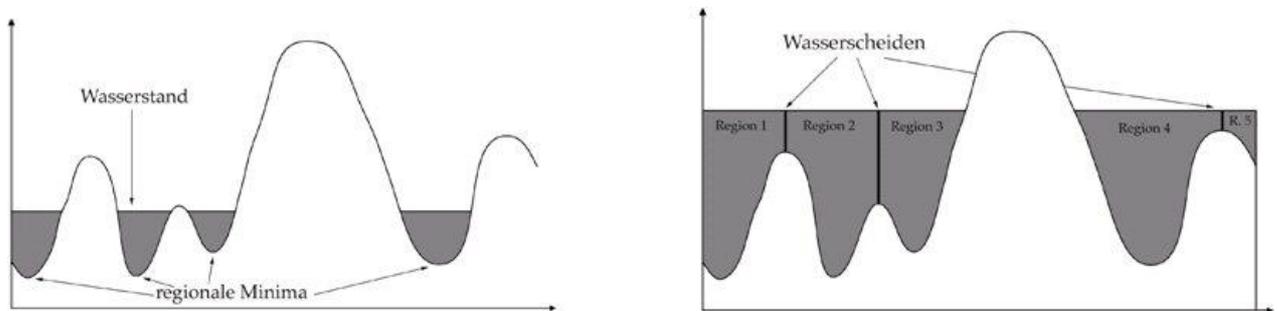


Abbildung13

Zur Formalisierung dieses Überflutungsprozesses verwendet man folgende Größen:

- §  $AB_h(M_i) \subset D_f$  sei die Teilmenge des Auffangbeckens zum Minimum  $M_i$ , deren Grauwert kleiner oder gleich  $h$  ist;
- §  $X_h \subset D_f$  bezeichne die Untermenge, deren Grauwert kleiner oder gleich  $h$  ist.

Mit diesen Größen ist es möglich, eine Rekursion für die Zuteilung der Pixel in die Auffangbecken zu geben.

Sei  $Y$  eine größtmögliche zusammenhängende Komponente von  $X_{h+1}$  und alle Bildpunkte bis zur Höhe  $h$  seien den entsprechenden Auffangbecken zugeordnet, dann gibt es drei mögliche Fälle, wie  $Y \setminus X_h$  zugeordnet werden muss:

- §  $Y \cap X_h = \emptyset$ , d.h.  $Y$  besitzt keine Pixel der Höhe  $h$  oder niedriger und solche Pixel befinden sich auch nicht in der Nachbarschaft von  $Y$ , da  $Y$  größtmöglich ist. Es entsteht also ein neues Auffangbecken.

- §  $Y \cap X_h \neq \emptyset$  und zusammenhängend, d.h.  $Y \setminus X_h$  erweitert das schon bestehende Auffangbecken  $Y \cap X_h$ .
- §  $Y \cap X_h \neq \emptyset$  und nicht zusammenhängend, d.h. dass durch  $Y \setminus X_h$  mindestens zwei bestehende Auffangbecken  $AB(M_i)$  und  $AB(M_j)$  vereinigt werden. Die Pixel der Menge  $Y \cap X_h \neq \emptyset$  wird gemäß den geodätischen Einflußzonen (Abschnitt 2.2.7) auf die bestehenden Auffangbecken aufgeteilt.

Die Abbildung 14 verdeutlicht das Vorgehen an einem Grauwertbild.

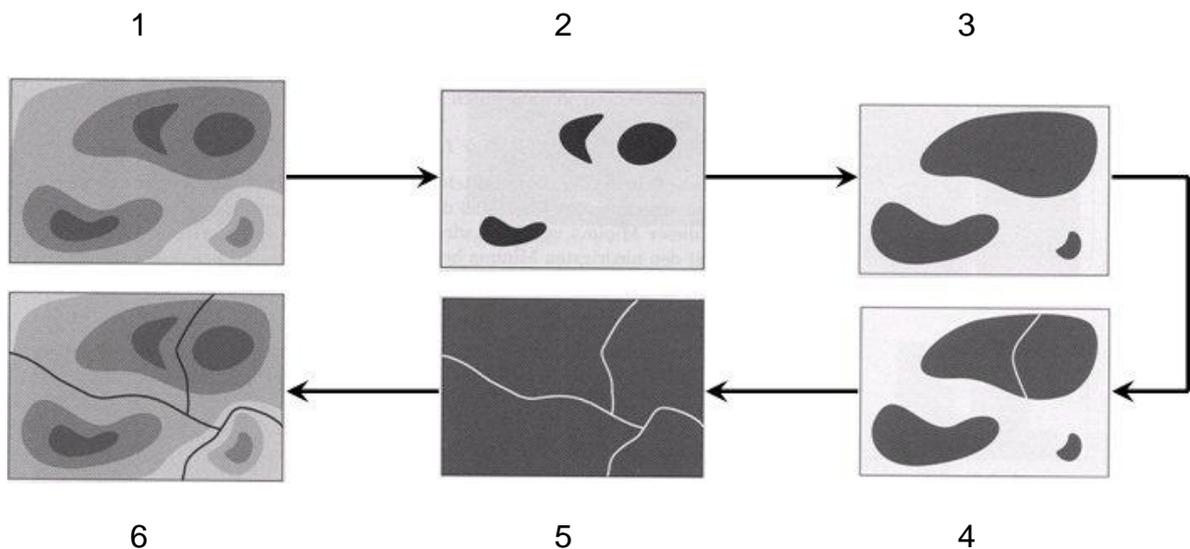


Abbildung 14

- § Das Ausgangsbild 1 besitzt vier Grauwerte.
- § Zu Beginn der Rekursion (Bild 2) stellt jede zusammenhängende Komponente von  $X_1$  ein separates Auffangbecken dar.
- § Nun wird  $X_2$  bestimmt (Bild 3).
- § Die obere Komponente von  $X_2$  wird gemäß der geodätischen Einflußzonen auf zwei Auffangbecken aufgeteilt; die untere linke Komponente erweitert

ein bestehendes Auffangbecken und durch die untere rechte Komponente entsteht ein neues Auffangbecken (Bild 4).

§ Führt man die Rekursion nun fort, bis  $X_4$  vollständig den Auffangbecken zugeteilt worden ist, dann erhält man als Ergebnis die Wasserscheiden (Bild5).

§ Um die Aufteilung des Bildes durch die Wasserscheiden besser nachvollziehen zu können, ist es sinnvoll die Wasserscheiden in das Ausgangsbild zu zeichnen (Bild6).

Die Wasserscheidentransformation liefert für jedes Bildminimum ein separates Auffangbecken. In den meisten Fällen repräsentiert jedoch nicht jedes Minimum ein relevantes Bildobjekt. Dadurch ergibt sich bei der Wasserscheidentransformation oftmals eine unerwünschte Übersegmentierung des Bildes, der durch geeignete Vorbearbeitung des Bildes entgegengewirkt werden kann.

### 3.3 Vorbereitung des Bildes

#### 3.3.1 Gauss-Filter

Abbildung 15 zeigt beispielhaft die Übersegmentierung eines Bildes. Im Ausgangsbild ist das Zytoskelett einer Zelle zu sehen. Die weiß dargestellten Fasern sollen durch die Wasserscheidentransformation extrahiert werden. Im Ergebnisbild sind die Wasserscheiden rot dargestellt. Wie leicht zu erkennen ist, weicht das Ergebnis der Wasserscheidentransformation durch die Übersegmentierung des Bildes doch stark vom gewünschten Ergebnis ab.

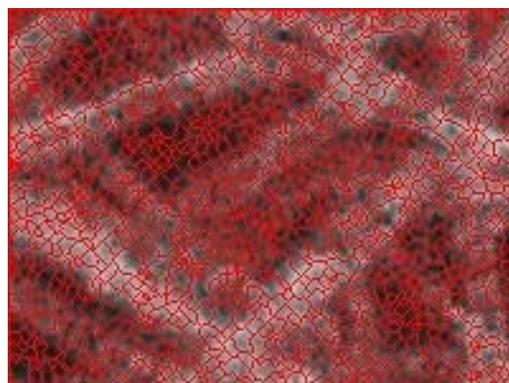
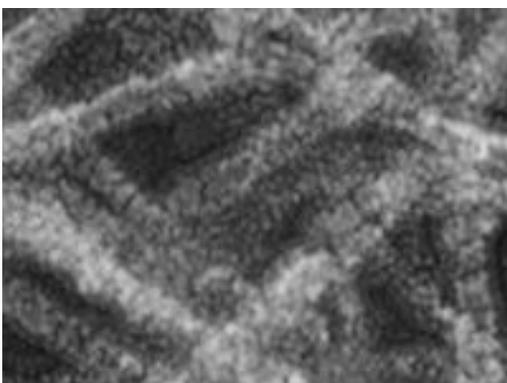


Abbildung 15

a) Ausgangsbild

b) Wasserscheidentransformierte

Ein erster Ansatz, die Anzahl der Minima zu verringern, kann nun darin bestehen, das Bild mit einem Gaußfilter zu glätten. Der Gaußfilter ordnet dabei jedem Pixel das gewichtete Mittel der Grauwerte seiner Nachbarn zu. Die Gewichte bilden dabei eine Approximation an die Gaußverteilung. Dadurch kann die Anzahl der Bildminima schon drastisch reduziert werden. Abbildung 16 zeigt, dass ein so geglättetes Bild schon wesentlich bessere Ergebnisse liefern kann.

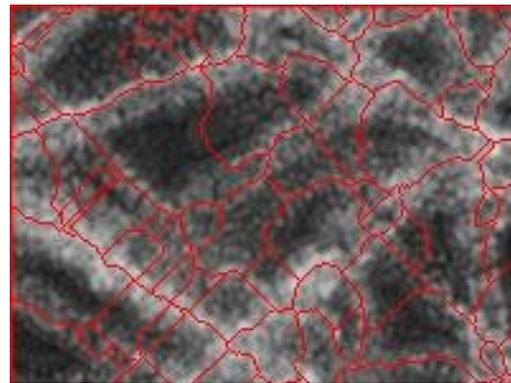
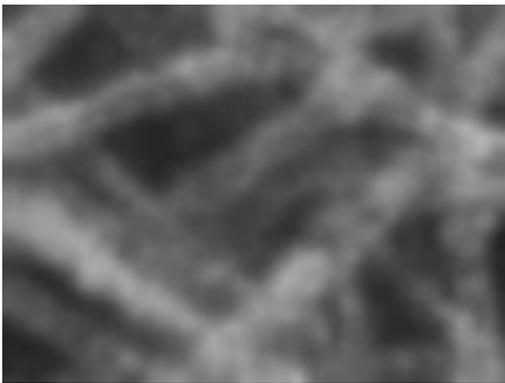


Abbildung 16

a) geglättetes Bild

b) Wasserscheidentransformierte

Im folgenden Beispiel (Abbildung 17) soll das Ausgangsbild durch die Wasserscheidentransformation derart bearbeitet werden, dass die Wasserscheidentransformierte des Bildes in jedem Auffangbecken genau eine zusammenhängende schwarze Komponente enthält.

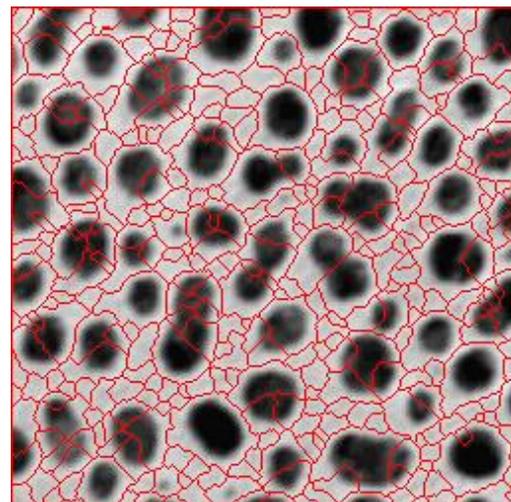
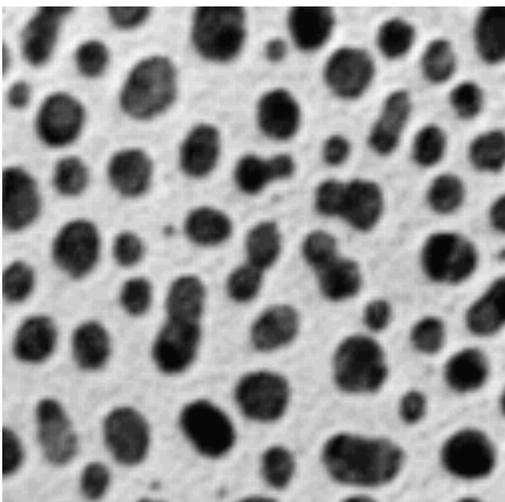


Abbildung 17

a) Ausgangsbild

b) Wasserscheidentransformierte

Ohne Vorverarbeitung des Bildes entstehen wieder zu viele Auffangbecken auf Grund irrelevanter Bildminima. Wird das Bild mit einem Gaußfilter geglättet, lassen sich wieder wesentlich bessere Ergebnisse erzielen.

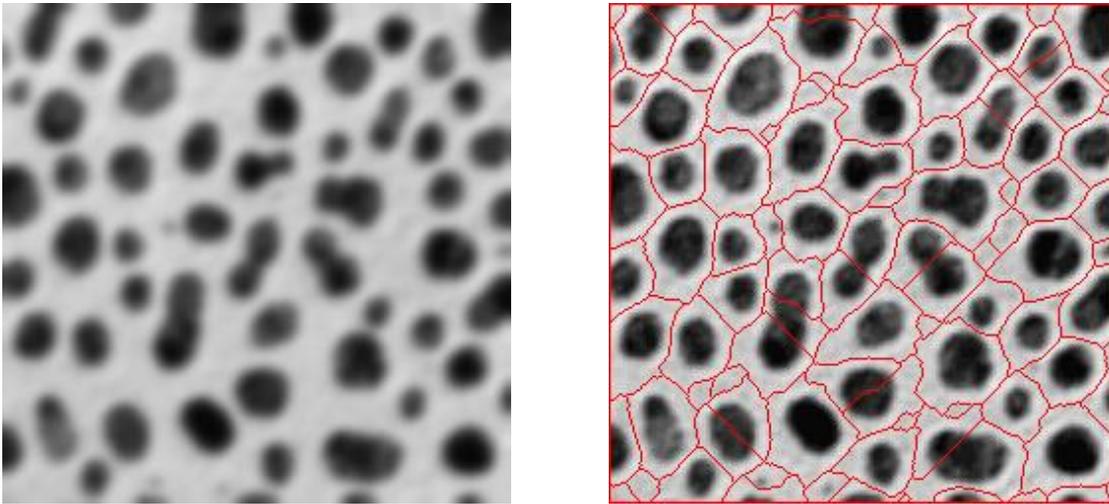


Abbildung 18

a) geglättetes Bild

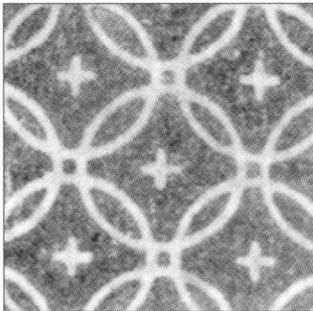
b) Wasserscheidentransformierte

Dieses Verfahren muss jedoch nicht die gewünschten Ergebnisse liefern, da der Benutzer selbst keinen Einfluß darauf hat, welche Minima erhalten bleiben und welche durch die Glättung verschwinden.

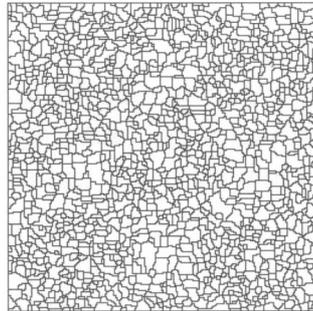
### 3.3.2 Markerkontrollierte Segmentierung

Die Idee, dass der Benutzer die relevanten Bildminima selbst kennzeichnen möchte, macht sich der Ansatz der markerkontrollierten Segmentierung zueigen. Durch die Minimaauferlegungstechnik wird das Bild so bearbeitet, dass nur die vom Benutzer markierten Minima erhalten bleiben. Dies geschieht mittels Rekonstruktion durch Erosion. Das Markierungsbild  $f_m$  wird so gewählt, dass alle relevanten Bildminima den Wert null erhalten und alle andern Pixel den maximalen Grauwert. Als Maskenbild verwendet man das punktweise Minimum vom Ausgangsbild  $f$  und dem Markierungsbild  $f_m$ . Bestimmt man nun die Rekonstruktion durch Erosion, erhält man eine Näherung an das Ausgangsbild  $f$  bei dem nur an den markierten

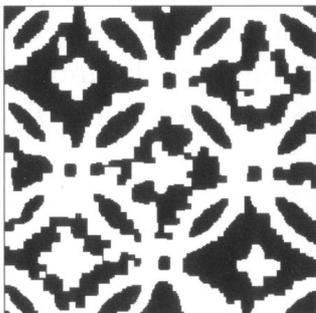
Stellen Minima auftreten. Das folgende Beispiel verdeutlicht die Mächtigkeit dieses Instruments.



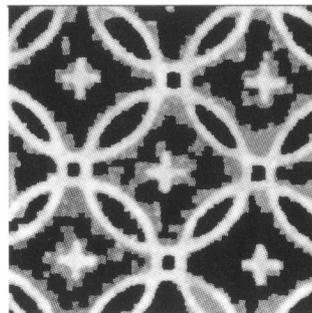
a) Ausgangsbild



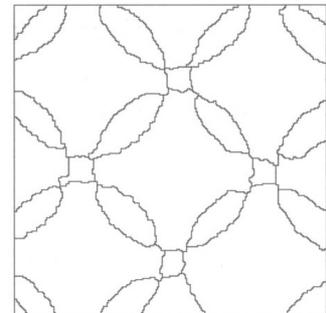
b) Wasserscheidentransformierte



c) Markierungsbild



b) Rekonstruktion  
durch Erosion



c) Wasserscheiden-  
transformierte

Abbildung 19

Die elementare Wasserscheidentransformation, auf das Ausgangsbild angewandt, liefert recht schlechte Ergebnisse. Durch die geschickte Wahl des Markierungsbildes ergibt sich eine wesentlich aussagekräftigere Wasserscheidentransformierte. Die richtige Wahl des Markierungsbildes ist hier der Schlüssel zum Erfolg und diese hängt meist von der Erfahrung des Benutzers im Umgang mit der Wasserscheidentransformation ab.

## 4 Literaturverzeichnis

P. Soille,

„Morphologische Bildverarbeitung“, Springer 1998

J. Roerdink, A. Meijster,

„The Watershed Transform: Definitions, Algorithms and  
Parallelization Strategies“, IOS Press