

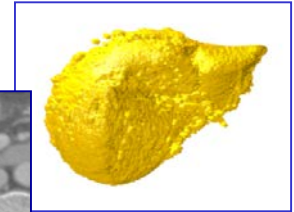
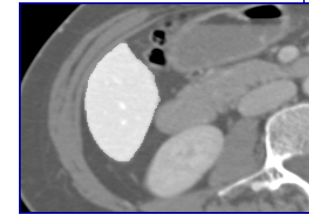
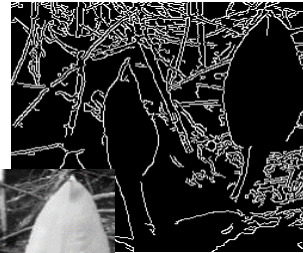
„Bildverarbeitung“

Hochschule Niederrhein

Morphologische Operationen

Roter Faden durch die Vorlesung

- Bildaufnahme
- Histogramme
- Grauwertmodifikation
- Glättungsfilter
- Kantenfilter
- Nichtlineare Filter
- Segmentierung
- **Morphologische Operationen**
- Fourier Transformation
- Anwendung der FFT
- Probeklausur



8 Morphologische Operationen

Morphologisch: die äußere **Gestalt** betreffend

morphologische Operationen:

- Gestaltverändernde Operationen → setzt die Extraktion einer Gestalt voraus (d.h. hauptsächlich für Binärbilder entwickelt)

Ziel von morphologischen Operationen:

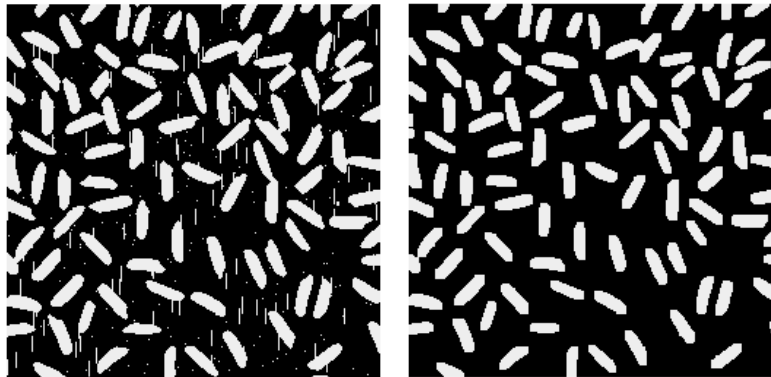
- Veränderung der Gestalt, um Störungen nach einer Segmentierung zu beseitigen
- Berechnung von Formmerkmalen
- Suche nach bestimmten Formen (also: Analyse)

8 Morphologische Operationen

Aufgabe: Objekte zählen

Probleme:

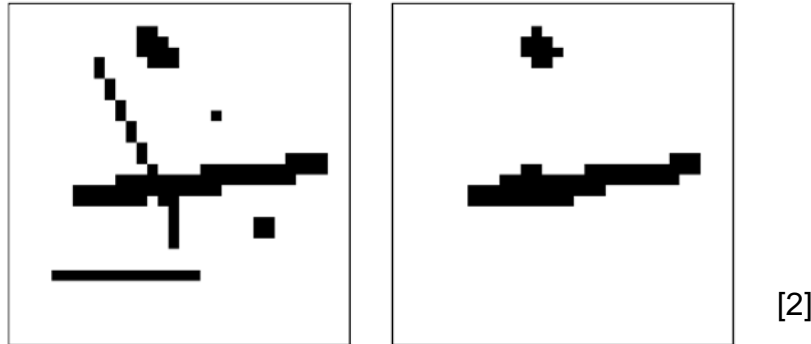
- Rauschen erzeugt falsche Objekte
- Verschmelzen richtiger Objekte durch falsche Linien
- Objekte verschmelzen, weil sie aneinanderstoßen



8 Morphologische Operationen

Beispiel: 3x3-Medianfilter

- Abrundung von Ecken
- Kleine Strukturen verschwinden
- beeinflusst wird die Form der Bildregionen

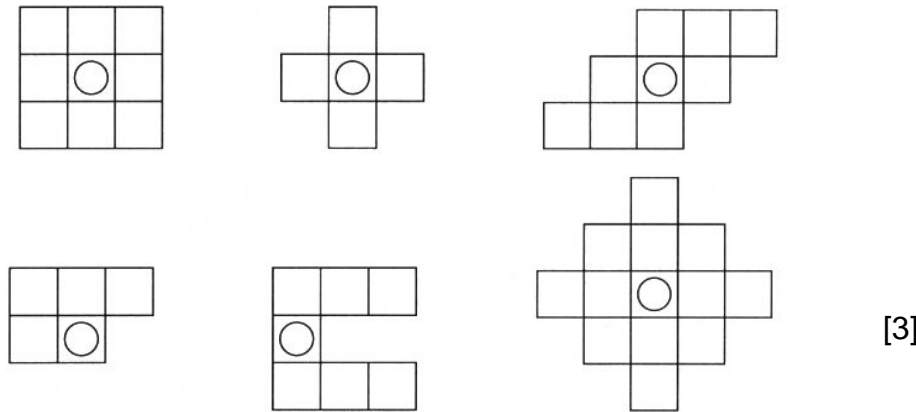


Ziel bei morphologischen Operationen: gezielten Formveränderung von Bildstrukturen

8 Morphologische Operationen

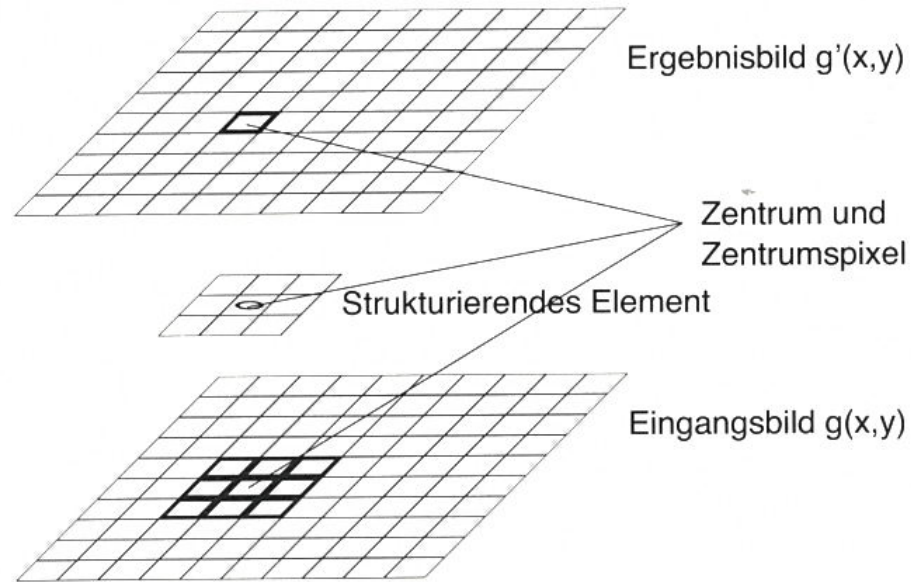
Strukturelemente

- Ein Strukturelement einer morphologischen Operation entspricht dem Faltungskern bei einer Konvolution.
- Mit einem gezielt geformten Strukturelement können genau definierte Formveränderungen erzeugt werden.



8 Morphologische Operationen

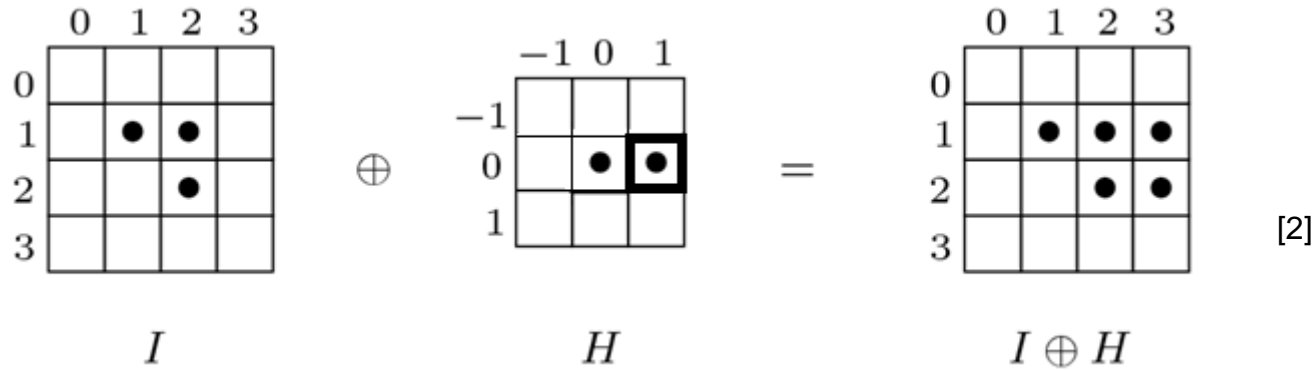
Binäre Faltung



[3]

8.1 Dilatation

Binäre Faltung mit Strukturelement H zur Ausdehnung eines Objektes: $I \oplus H$

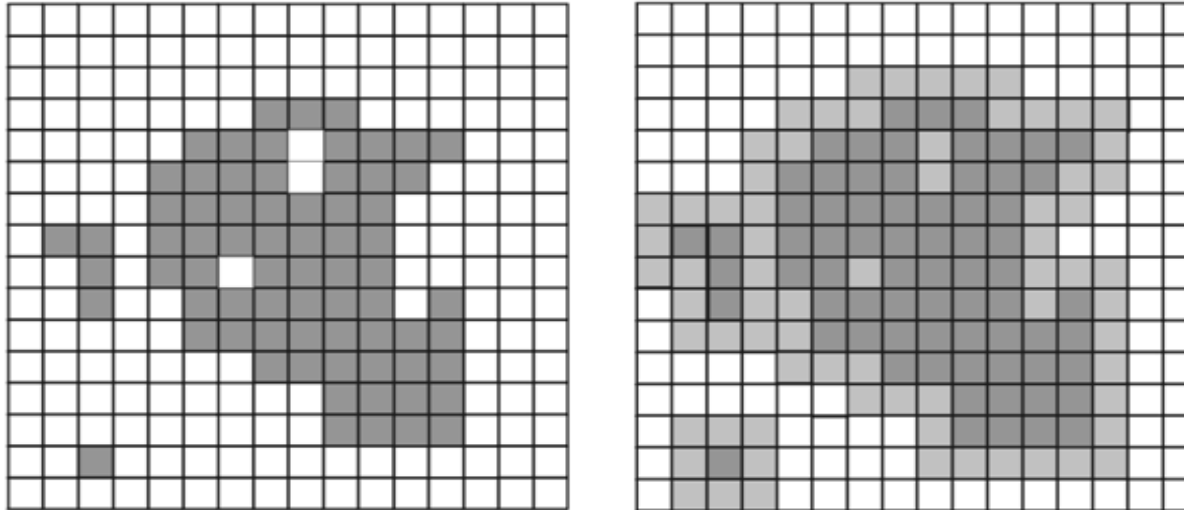


$$I'_{x,y} = \bigcup_m \bigcup_n H_{m,n} \cap I_{x+m,y+n}$$

Multiplikation (Wichtung) wird durch ein logisches „und“ und Summation wird durch ein logisches „oder“ ersetzt

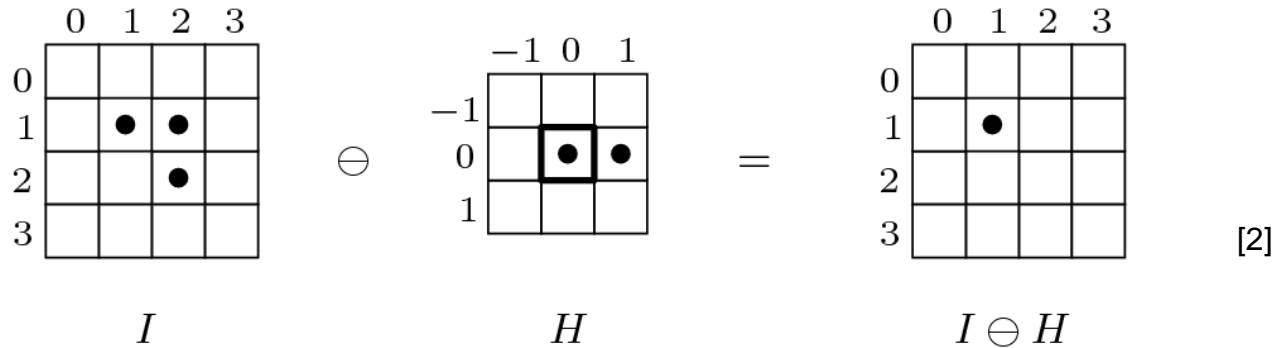
8.1 Dilatation

- verbindet Strukturen
- füllt Löcher
- vergrößert
- entspricht dem Resultat des Maximumfilters auf dem Binärbild



8.2 Erosion

Binäre Faltung mit Strukturelement H zur Schrumpfung eines Objektes: $I \ominus H$

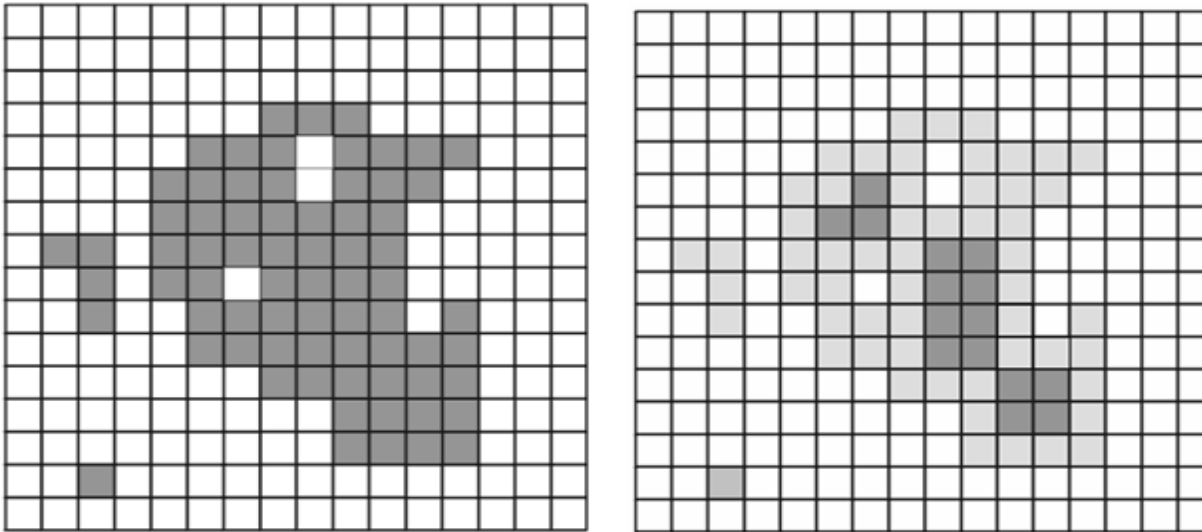


$$I'_{x,y} = \bigcap_m \bigcap_n H_{m,n} \bigcap I_{x+m,y+n}$$

logisches „und“ über alle Elemente der Maske

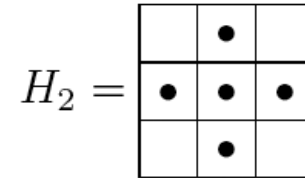
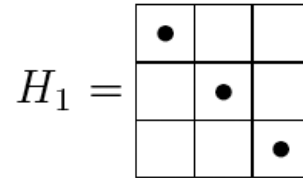
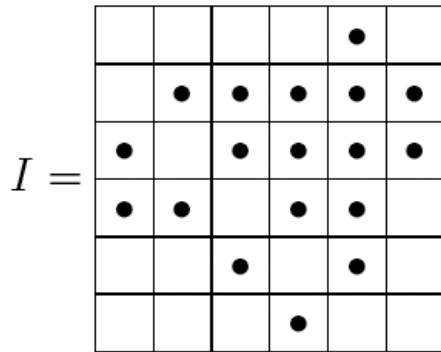
8.2 Erosion

- löst Strukturen auf
- Entfernt Details
- verkleinert
- entspricht dem Resultat des Minimumfilters auf dem Binärbild



8.3 Beispiel

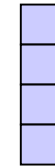
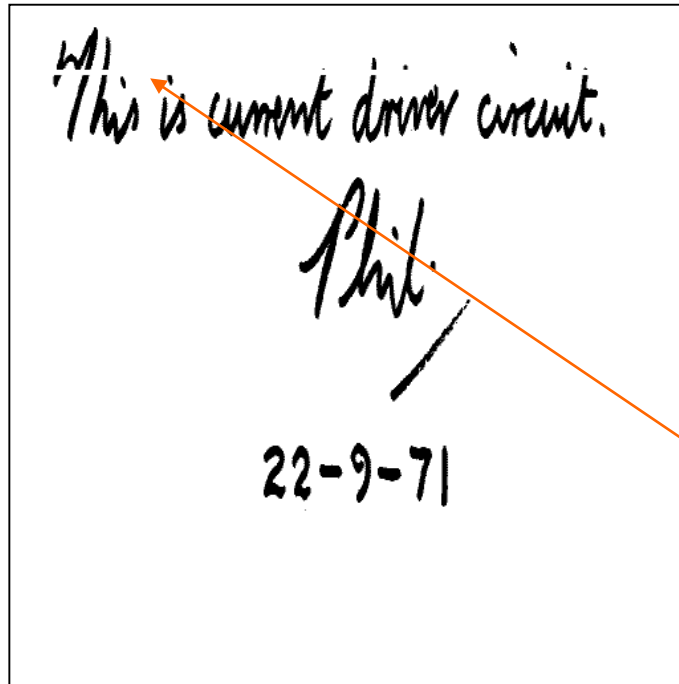
Welches Ergebnis liefern Dilatation und Erosion?



[2]

8.3 Beispiel

Gezielter Einsatz von Strukturelementen

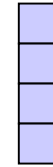
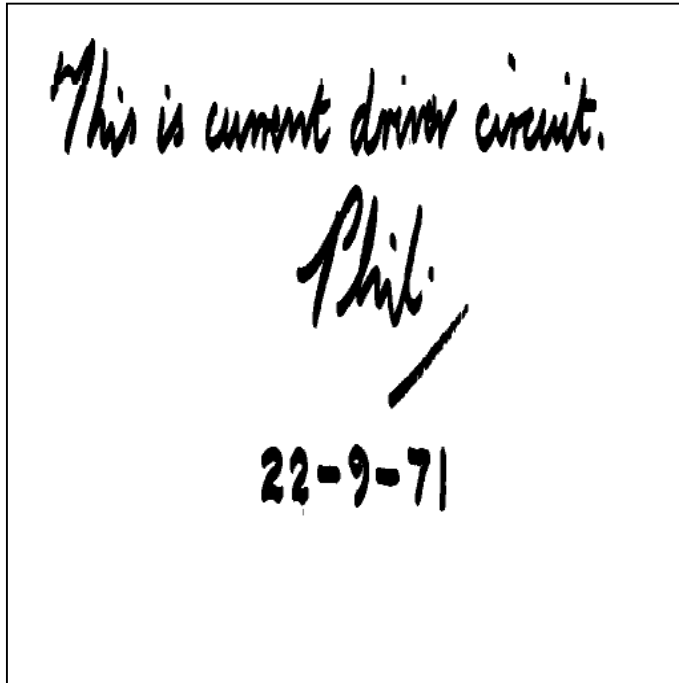


Strukturelement zum
Schließen des Streifens

Streifenauslöschung

8.3 Beispiel

Gezielter Einsatz von Strukturelementen

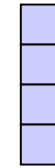
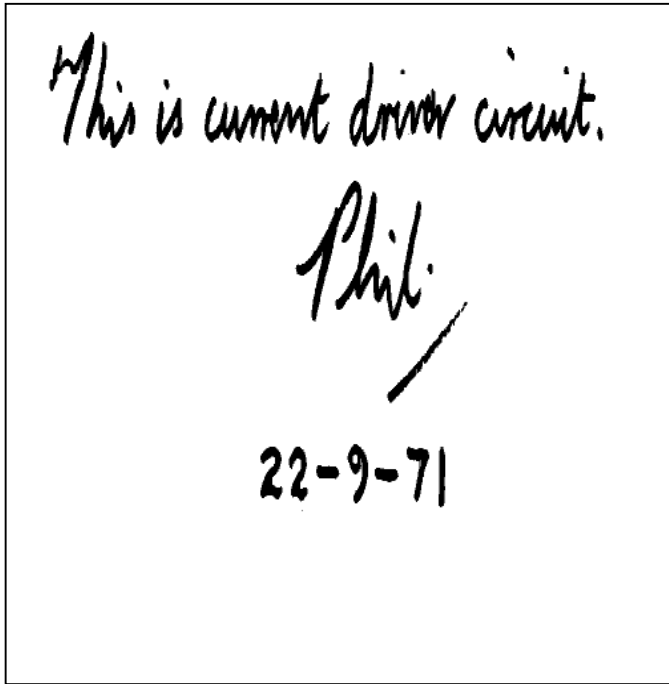


Strukturelement zum
Schließen des Streifens

Ergebnis nach Dilatation:
Streifen ist geschlossen

8.3 Beispiel

Gezielter Einsatz von Strukturelementen

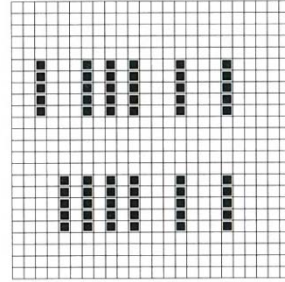
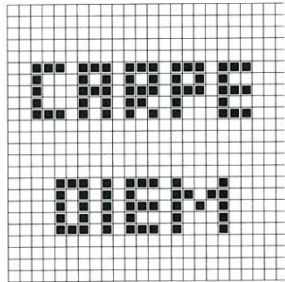
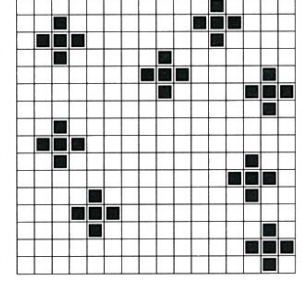
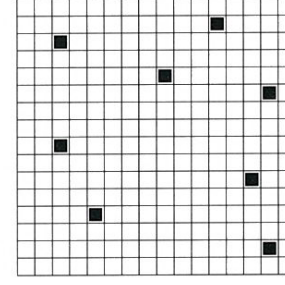
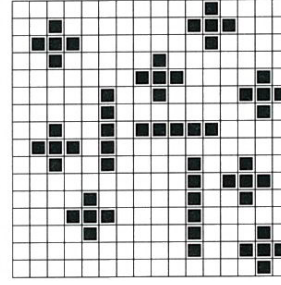
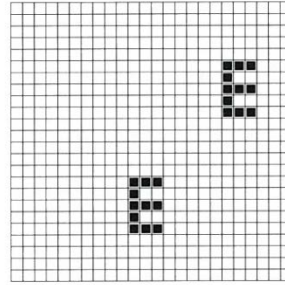
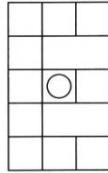
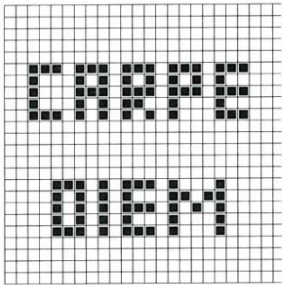


Strukturelement zur
Erosion des zu breiten
Schriftzugs

Ergebnis nach nachfolgender
Erosion: Schriftzüge haben
ihre Ursprungsstärke

8.3 Beispiel

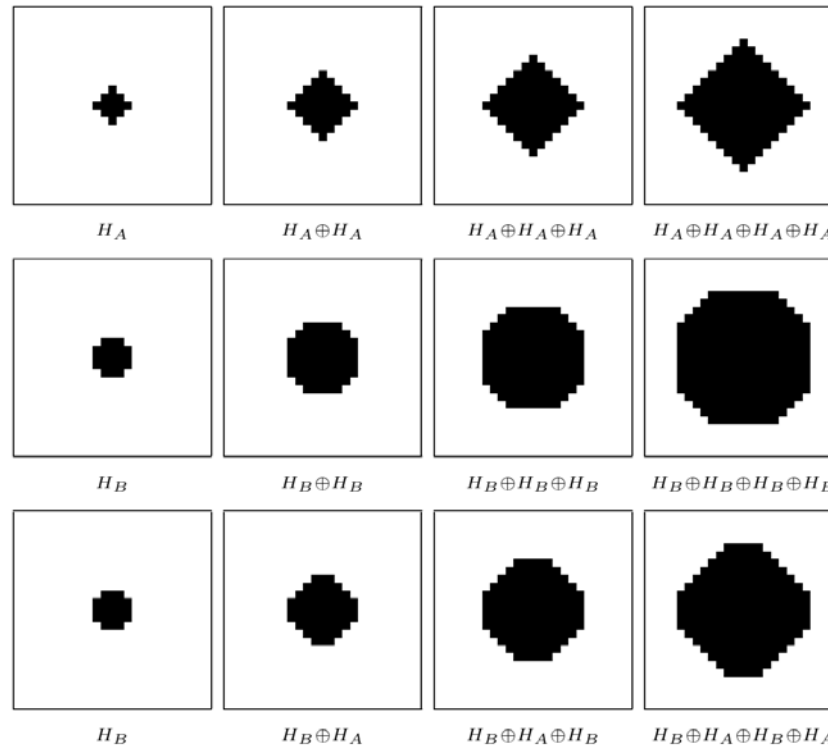
Gezielter Einsatz von Strukturelementen



[3]

8.3 Beispiel

Mehrfache Anwendung kleiner Strukturelemente



[2]

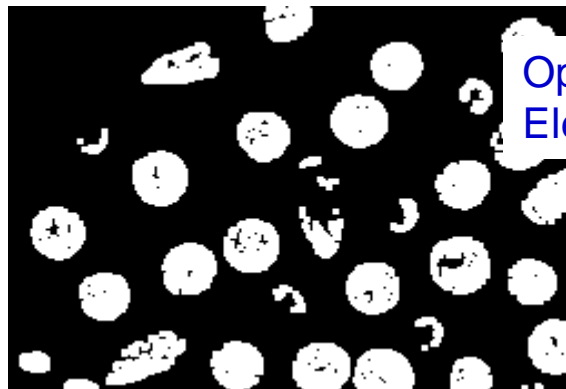
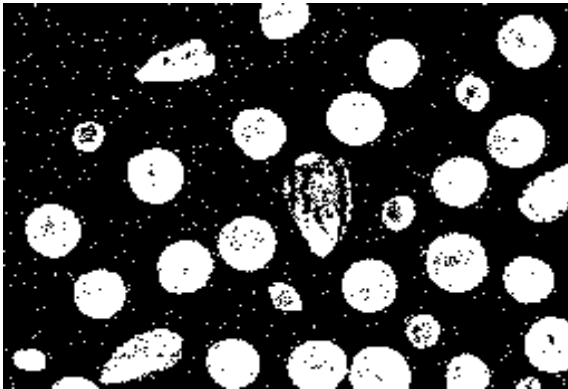
8.4 Opening

Opening (Öffnen): Kombination von Erosion gefolgt von einer Dilatation

$$I \circ H = (I \ominus H) \oplus H$$

Ziel: Erosion - Entfernung aller (Teil-)strukturen, die kleiner als das Strukturelement sind

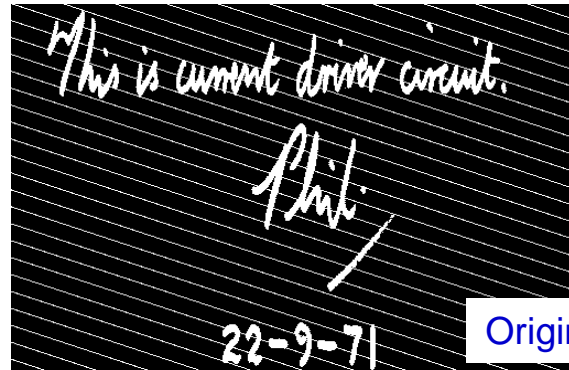
Dilatation - Wiederherstellung der ursprünglichen Größe des Objekts mit Ausnahme der vollständig entfernten Teilstrukturen



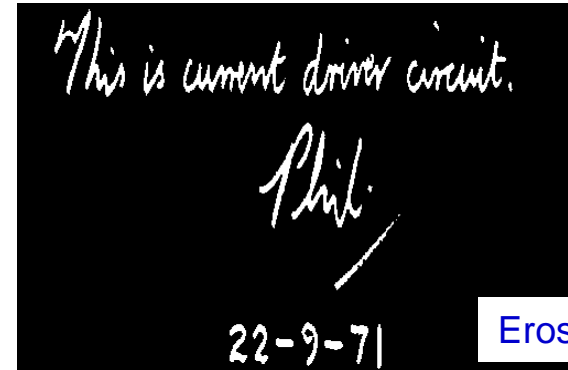
Opening mit 3x3
Element

Ziel: Entfernung von
(durch Störungen verursachten) Details im Bild

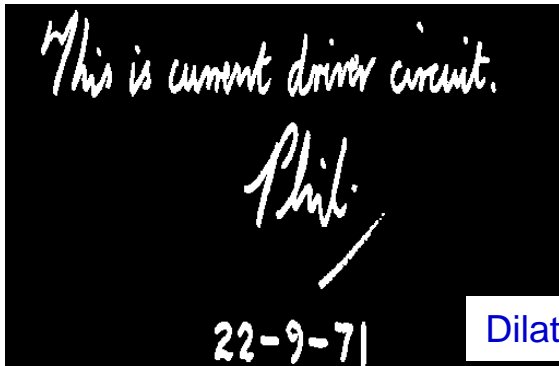
8.4 Opening



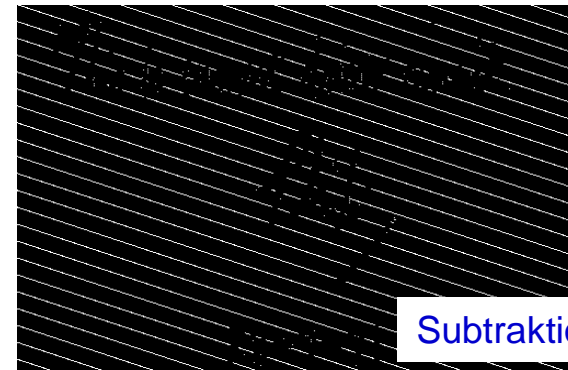
Original



Erosion (2x2)



Dilatation (2x2)



Subtraktion Bild1 - Bild3

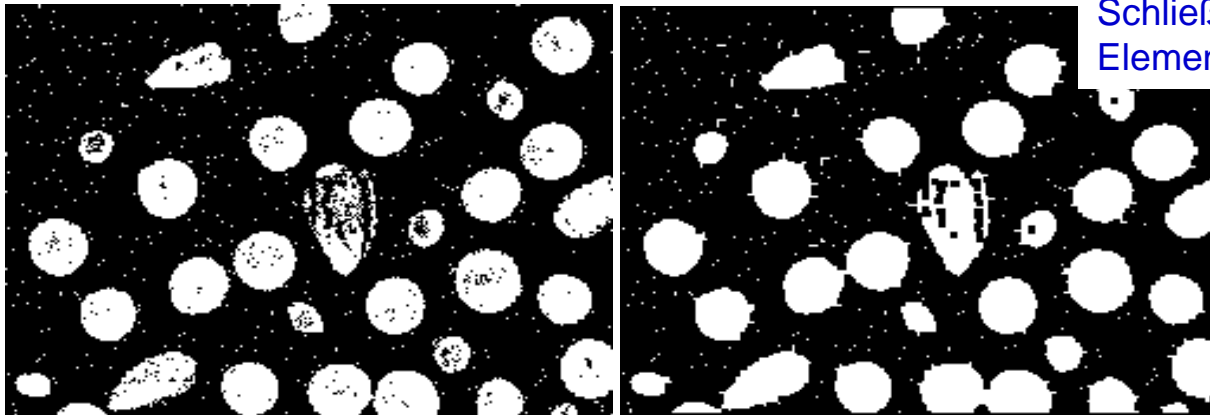
8.5 Closing

Closing (Schließen): Kombination von Dilatation gefolgt von einer Erosion

$$I \bullet H = (I \oplus H) \ominus H$$

Ziel: Dilatation - Schließen von kleinen Löchern (kleiner als das Strukturelement)

Erosion - Wiederherstellung der ursprünglichen Größe des Objekts



Schließen mit 3x3
Element

Ziel: Entfernung von
(durch Störungen
verursachten) Löchern

8.6 Wirkung morphologischer Operatoren

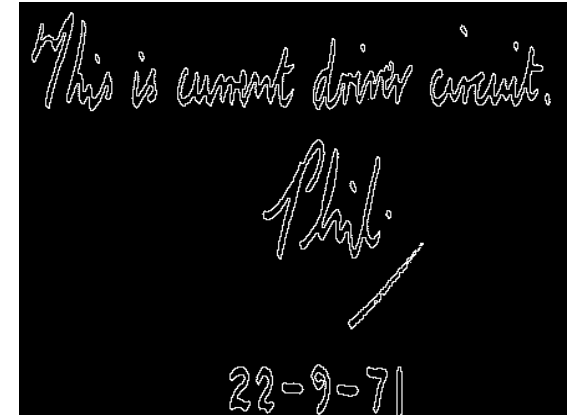
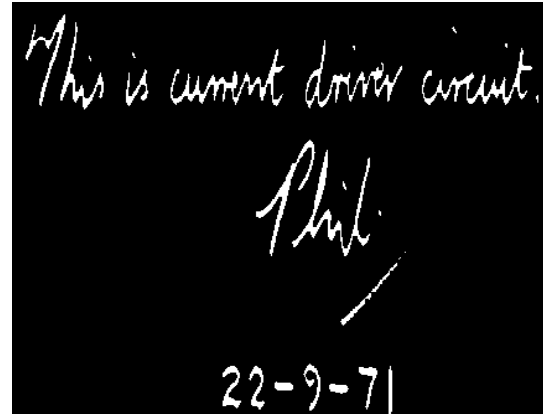
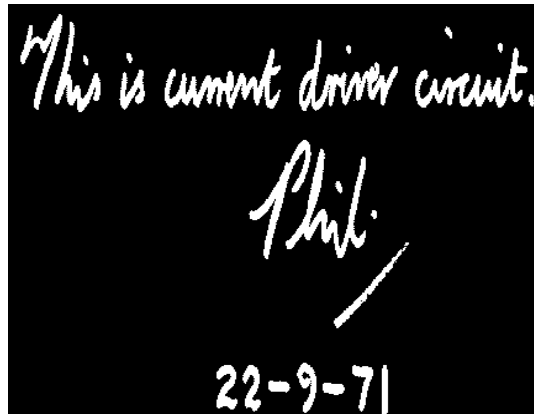
	Erosion	Opening	Dilatation	Closing
kleine Objekte*, dünne Linien				
kleine Löcher, dünne Lücken				
alle anderen Objekte				
Dünn verbundene Objekte				
dicht benachbarte Objekte				

* Objekte, die kleiner als das Strukturelement sind

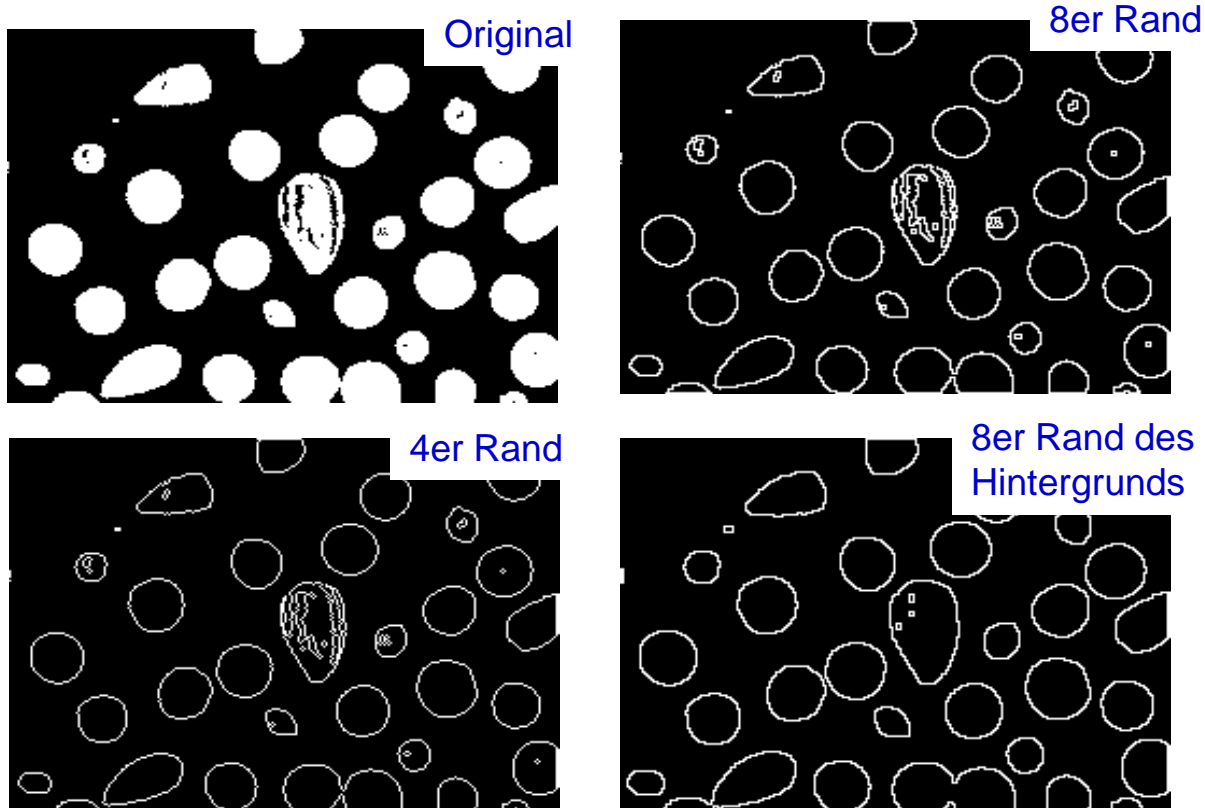
8.7 Extraktion von Rändern

$H_4 =$	$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$	$H_8 =$	$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}$	Erosion mit H_4 bzw. H_8 entfernt alle Objektpixel, in deren 4- bzw. 8-Nachbarschaft sich Hintergrundpixel befinden.
---------	---	---------	---	--

Der Rand kann nun durch Differenzbildung zwischen Ursprungsbild und erodiertem Bild erzeugt werden: $\text{Rand} = I \setminus (I \ominus H)$



8.7 Extraktion von Rändern



8.8 Distanztransformation

Resultat der Randoperation $I_0 = I \setminus (I \ominus H)$:

Menge aller Pixel, die den **Abstand 0** zum Rand haben.

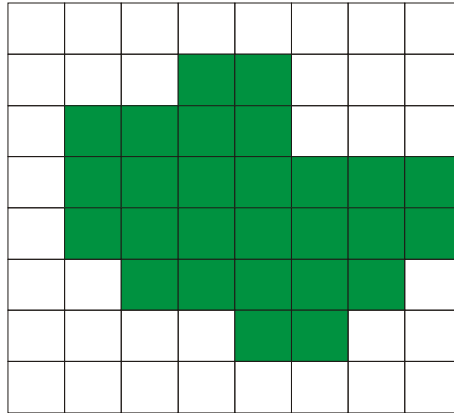
Falls die gleiche Operation auf dem um den Rand verminderten Bild nochmals angewendet wird: $I_1 = (I \ominus H) \setminus (I \ominus H \ominus H)$

Menge aller Pixel, die den **Abstand 1** zum Rand haben.

Fortgesetzte Extraktion von immer weiter vom Rand entfernten Linien und Multiplikation der jeweiligen Resultate mit der aktuellen Entfernung überführt das Binärbild in ein **Distanzbild D**:

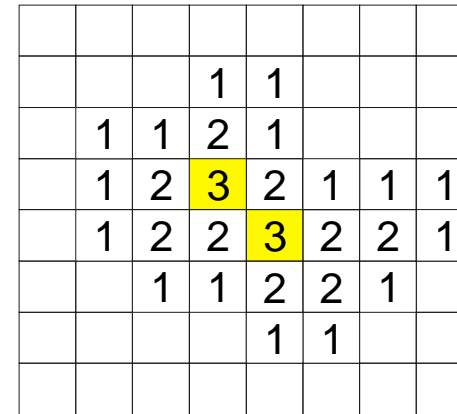
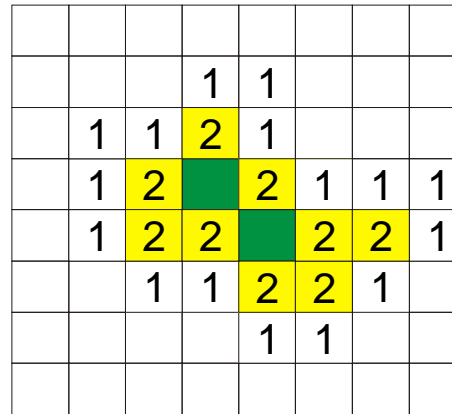
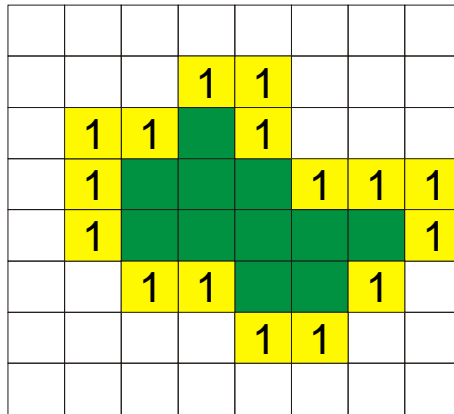
$$D = \bigcup_{n=1, \infty} [(I \ominus H)^{n-1} \setminus (I \ominus H)^n] \cdot n$$

8.8 Distanztransformation



Originalbild

- Objektinneres (nach fortgesetzter Erosion)
- Randpixel nach der n -ten Erosion einschließlich Distanz



8.8 Distanztransformation

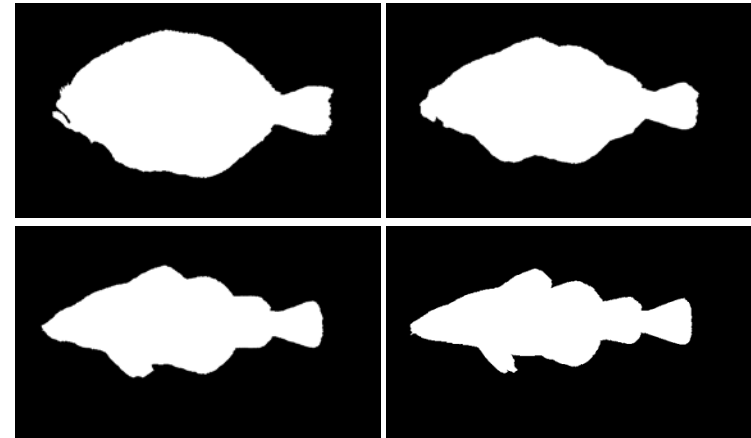
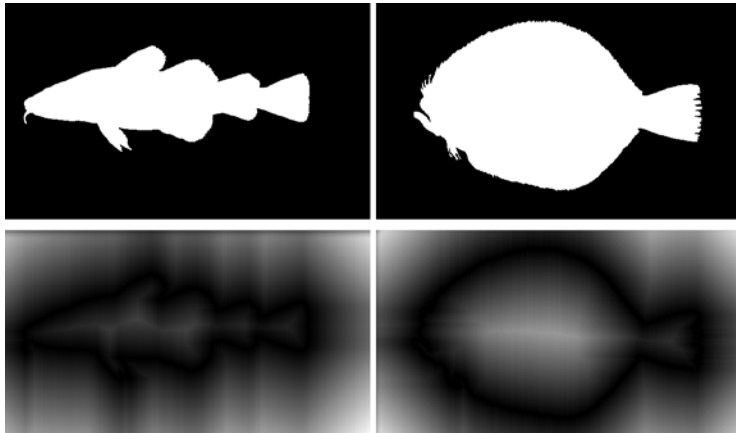
Algorithmus

- Lege Kopie K von Ausgangsbild (Binärbild) I an
- Solange I noch Pixel ungleich 0 besitzt
 - Erodiere I und addiere Ergebnis auf K

8.8 Distanztransformation

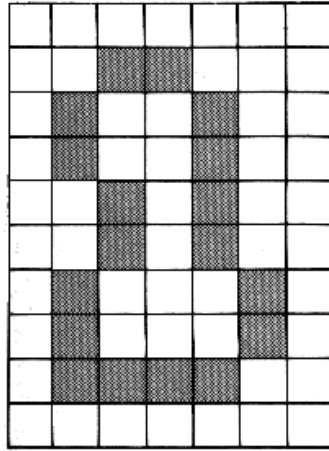
Morphing von Binärbildern:

- Berechnung der vorzeichenbehafteten Distanztransformation D_1 und D_2 (Distanz auf Vordergrund-Distanz auf Hintergrund) für die beiden Ausgangsbilder
- Berechnung der Zwischenbilder über
$$D_i = \frac{i \cdot D_1 + (L-i) \cdot D_2}{L}$$
- Erzeugung der Binärbilder über
$$B_i(x, y) = \begin{cases} 1 & , \text{ falls } D_i(x, y) > 0 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

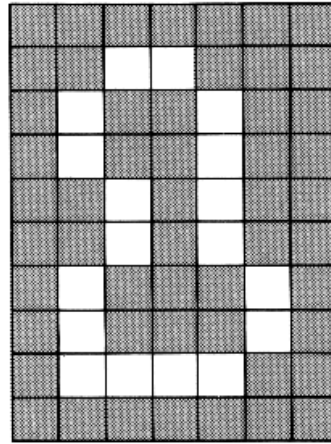


8.9 Füllen von Objekten

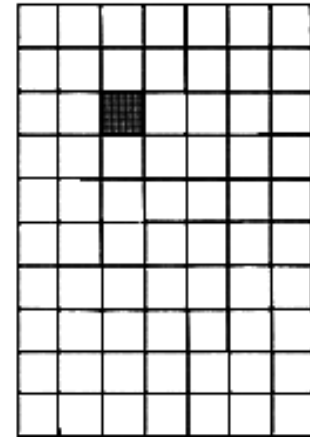
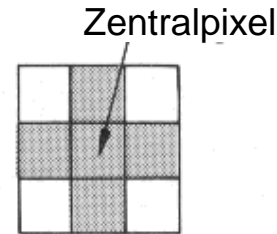
Komplement des zu füllenden Ausgangsbildes $I \rightarrow I^c$
Setzen eines Startpunktes $\rightarrow P_0$



I



I^c



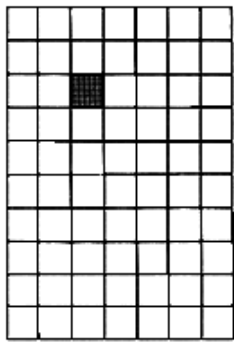
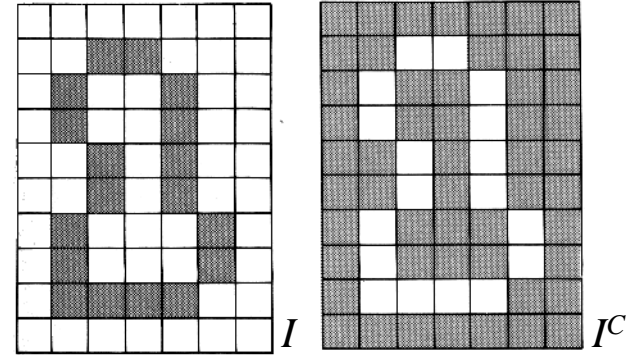
P_0

8.9 Füllen von Objekten

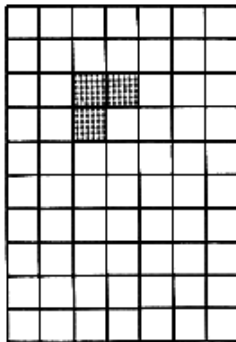
Wiederhole solange, bis $P_k = P_{k-1}$

$$P_k = (P_{k-1} \oplus H) \cap I^c$$

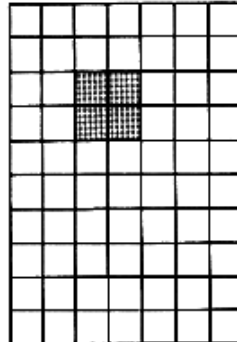
Ergebnis ergibt sich durch $P_k \cup I$



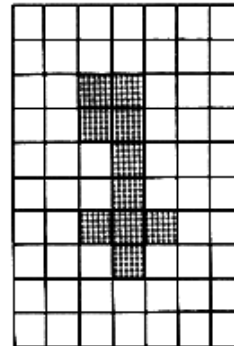
P_0



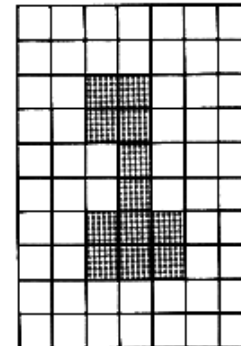
P_1



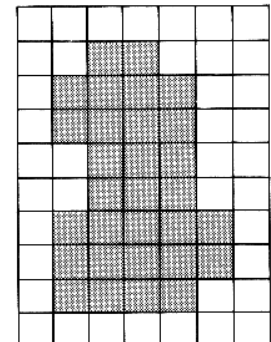
P_2



P_6

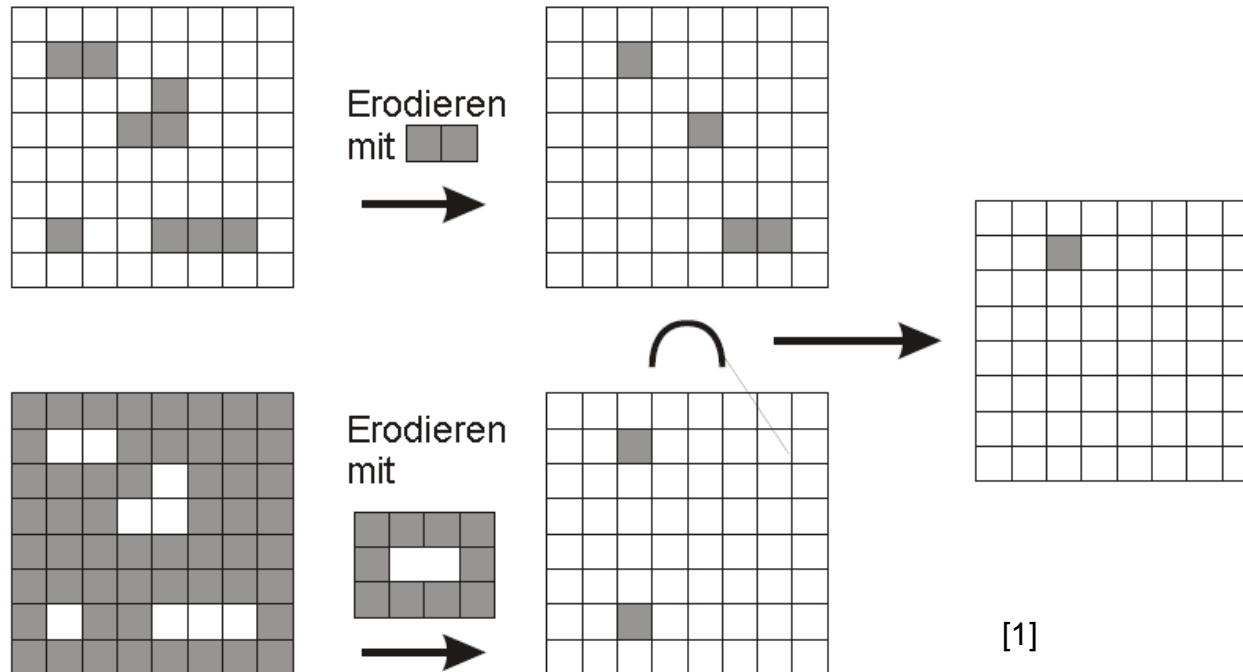


P_7



$P_7 \cup I$

8.10 Hit-or-Miss-Operator



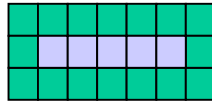
8.10 Hit-or-Miss-Operator

Hit-or-Miss Operator: $I \otimes (H_1, H_2) = (I \ominus H_1) \cap (\bar{I} \ominus H_2)$ mit $H_1 \cap H_2 = \emptyset$
 $= (I \ominus H_1) \cap \overline{(I \oplus H_2)}$

Hit-or-Miss-Operator für **variable Strukturgrößen**:



Hit



Miss

führt zur Akzeptanz von horizontalen Linien von 3, 4, und 5 Pixeln Länge.

Notation für Hit-or-Miss-Operator:

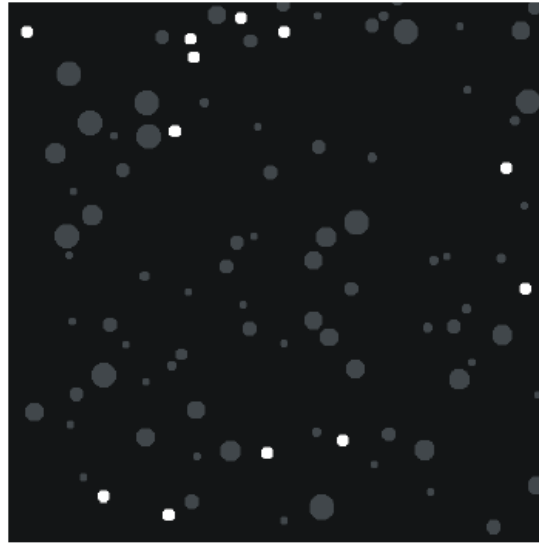
0 - Miss

1 - Hit

x - weder Miss noch Hit

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 1 & 1 & 1 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

8.10 Hit-or-Miss-Operator



Kreise mit Radius von 6 Pixel



Kreise mit Radius 6-7 Pixel

[1]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

Strukturelemente hier: diskrete 2D-Funktionen mit beliebigen reellen Werten: $H(i, j) \in \mathbb{R}$

Unterschied zur linearen Faltung: Auch Nullwerte beeinflussen das Ergebnis und dürfen daher nicht weggelassen werden. Leere Zellen werden durch x markiert:

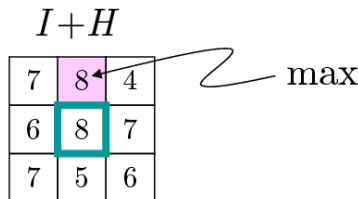
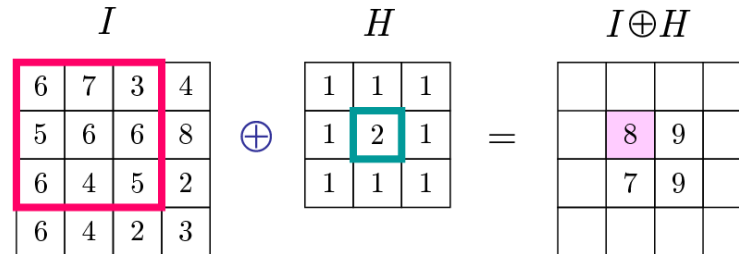
$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & \mathbf{2} & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \neq \begin{array}{|c|c|c|} \hline \times & 1 & \times \\ \hline 1 & \mathbf{2} & 1 \\ \hline \times & 1 & \times \\ \hline \end{array}$$

Morphologische Operatoren für Grauwertbilder: Realisierung als Varianten des Maximum- bzw. Minimumfilters

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

Grauwert-Dilatation: Ersetze Pixel durch Maximum der Summen aus dem Strukturelement H und der entsprechenden Bildregion I :

$$(I \oplus H)(x, y) = \max_{(i,j) \in H} \{I(x+i, y+j) + H(i, j)\}$$

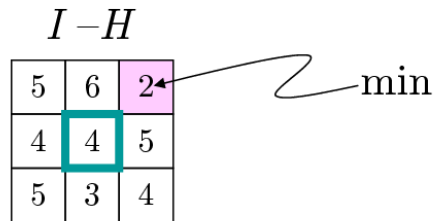
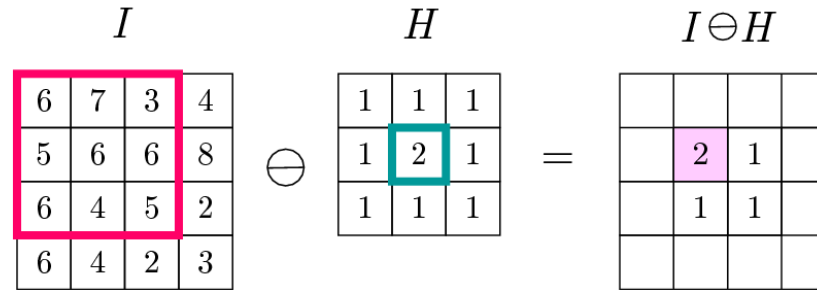


[2]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

Grauwert-Erosion: Ersetze Pixel durch Minimum der Differenzen aus dem Strukturelement H und der entsprechenden Bildregion I :

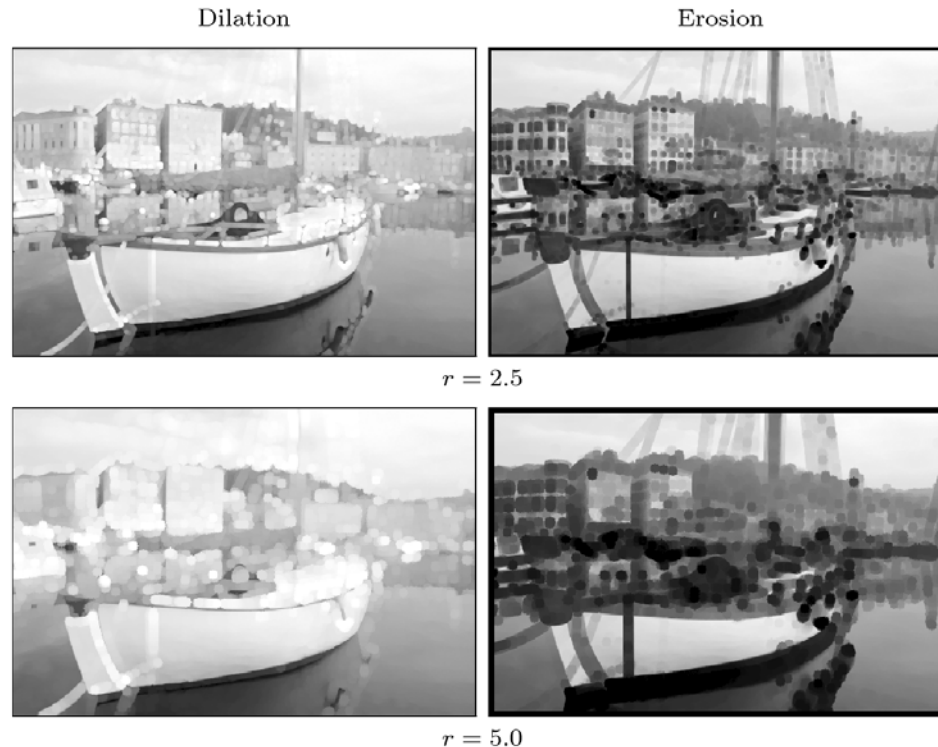
$$(I \ominus H)(x, y) = \min_{(i,j) \in H} \{I(x+i, y+j) - H(i, j)\}$$



[2]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

Wirkung: mit geeigneten Strukturelementen lassen sich einfach interessante Effekte erzielen („Pointilismus“, Pinselstriche)



[2]

r: Radius des Strukturelements

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

Opening



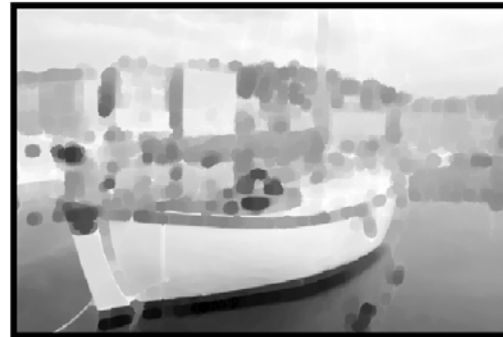
Closing



$r = 2.5$



$r = 5.0$



[2]

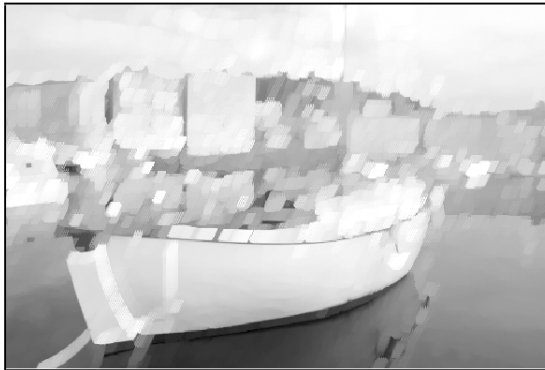
r : Radius des Strukturelements

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

H

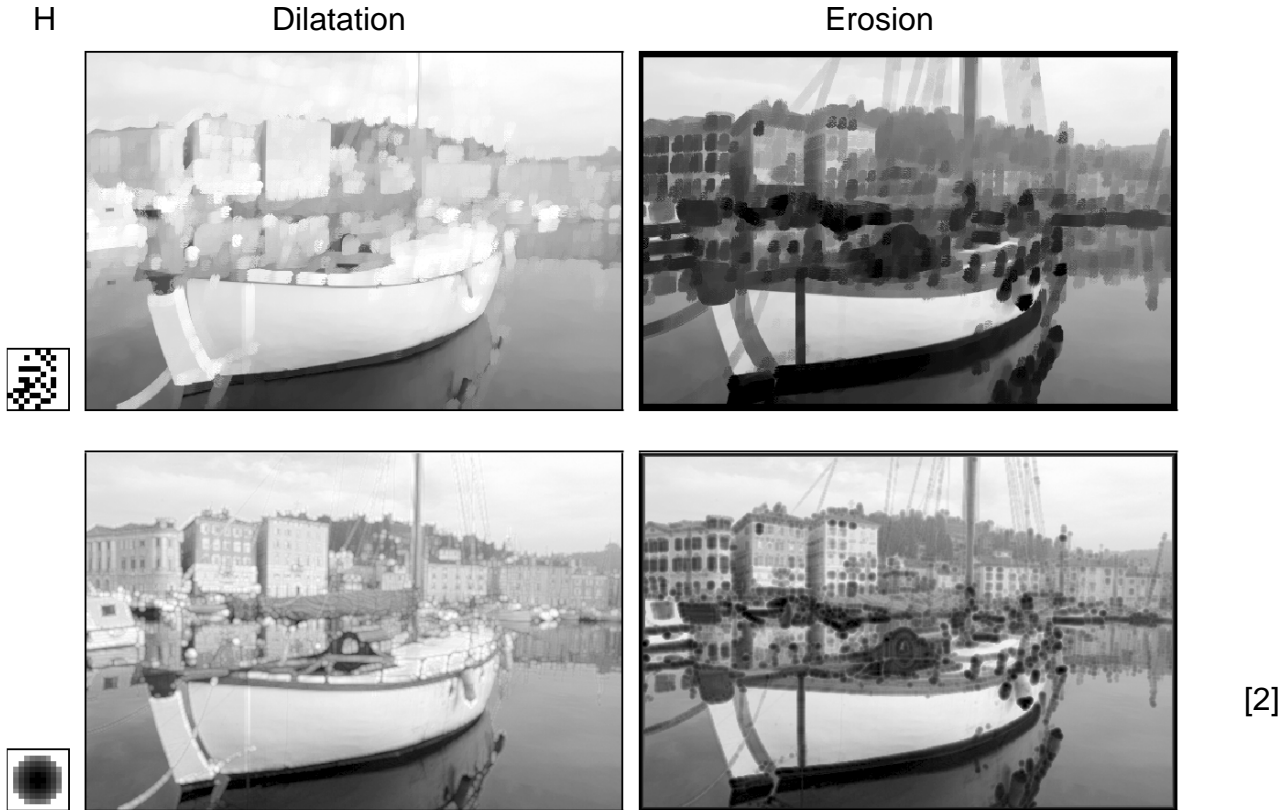
Dilation

Erosion

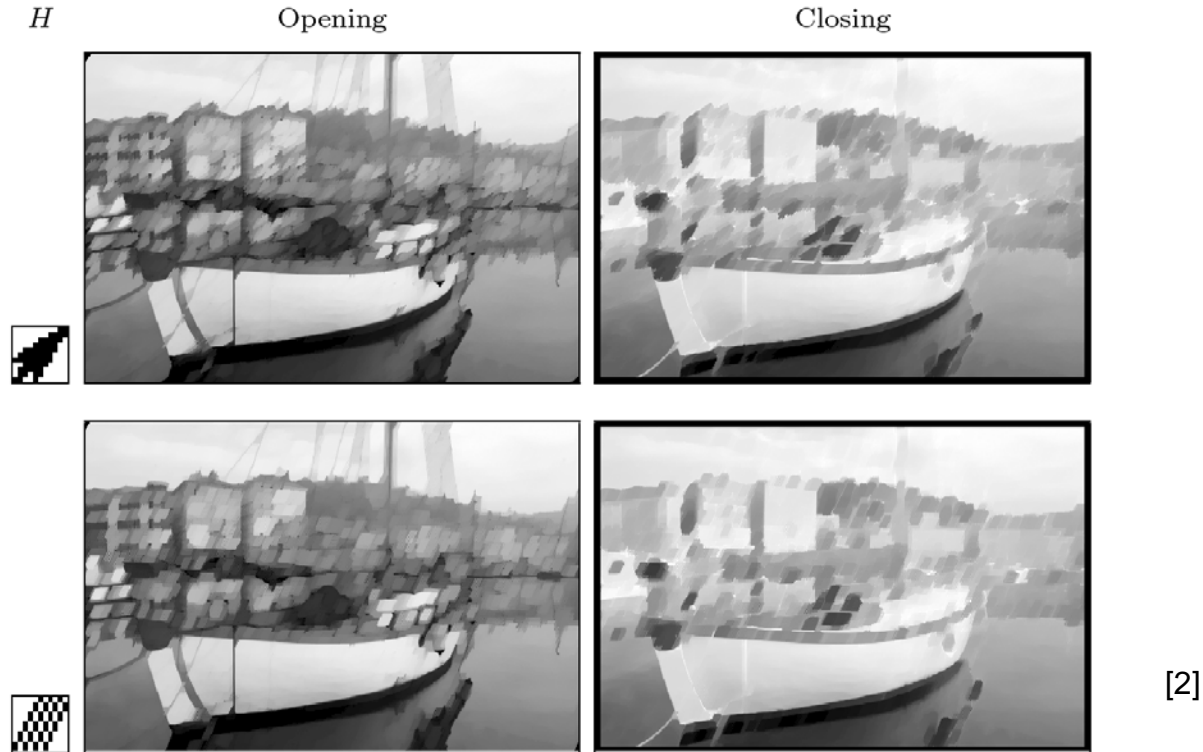


[2]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern



8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern



8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

H

Opening

Closing



[2]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern



[4]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern



Eingabebild



Grauwert-Wertebereich



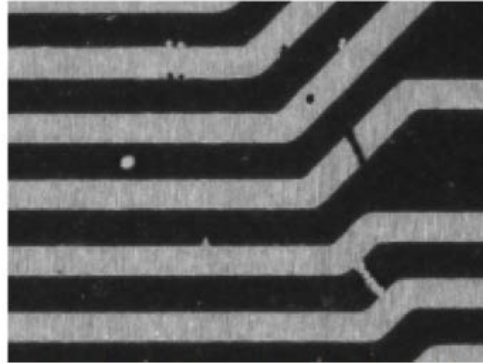
Ergebnis der Segmentierung



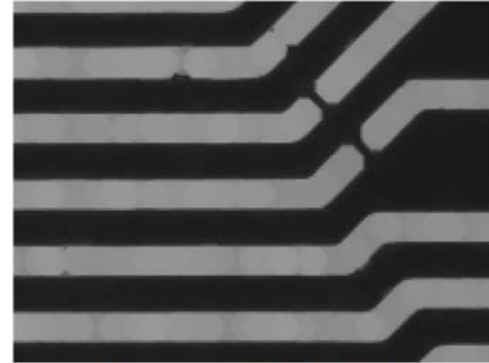
Selektierte Zeichen

[5]

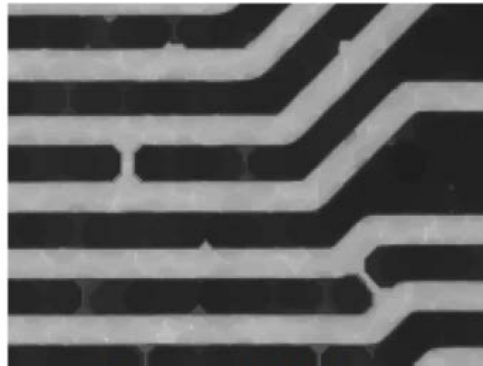
8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern



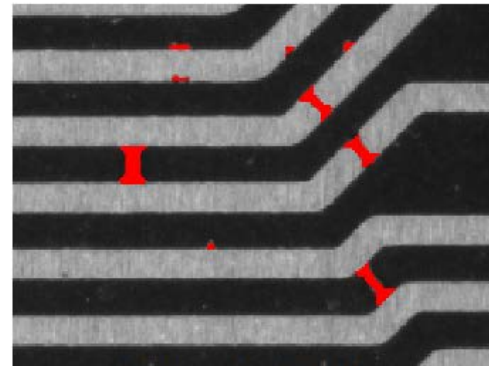
Leiterbahnen mit Fehlern



Grauwert-Opening



Grauwert-Closing



Erkannte Fehler

[5]

8.11 Morphologische Operation auf Grauwertbildern

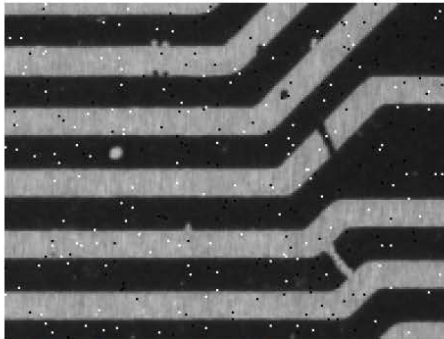
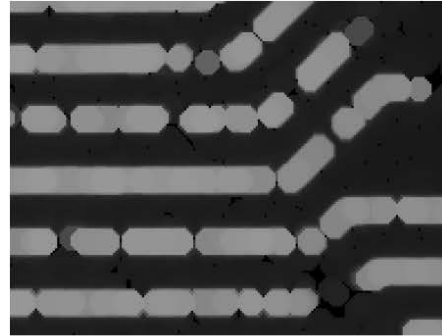
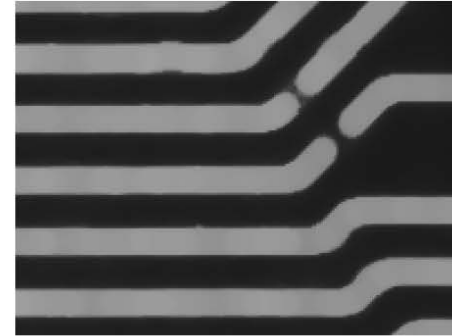


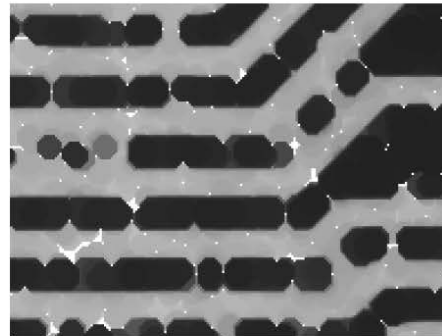
Bild mit 1% Salz-und-Pfeffer-Rauschen



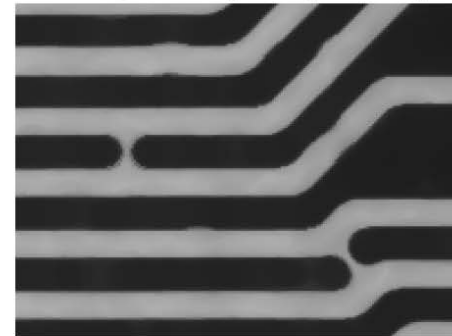
Grauwert-Opening



Grauwert-Opening mit Rangfilter (Rang: 10%)



Grauwert-Closing



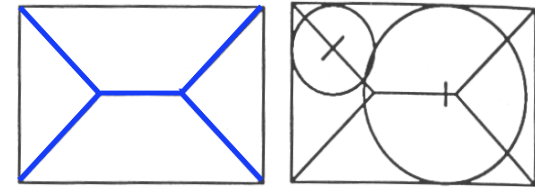
Grauwert-Closing mit Rangfilter (Rang: 90%)

[5]

8.12 Thinning mit Hit-or-Miss-Operatoren

Im kontinuierlichen Bild:

Skelett einer Figur ergibt sich als Verbindung aller Mittelpunkte von Kreisen mit maximalem Radius, die noch vollständig in der Figur liegen



Im diskreten Bild:

Geforderte Bedingungen:

- Skelett muss aus 1 Pixel breiten Linien bestehen
- Zusammenhängende Region muss zusammenhängende Skelettlinie haben
- Skelettlinie soll etwa in der Mitte verlaufen
- Endpunkte dürfen nicht entfernt werden
- Es dürfen keine zusätzlichen Verzweigungen entstehen

8.12 Thinning mit Hit-or-Miss-Operatoren

$$M_{T1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ x & 1 & x \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad M_{T2} = \begin{pmatrix} x & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & x \end{pmatrix}$$

$$M_{T3} = \begin{pmatrix} 0 & x & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & x & 1 \end{pmatrix} \quad M_{T4} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & x \\ 1 & 1 & 0 \\ x & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{T5} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x & 1 & x \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad M_{T6} = \begin{pmatrix} x & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & x \end{pmatrix}$$

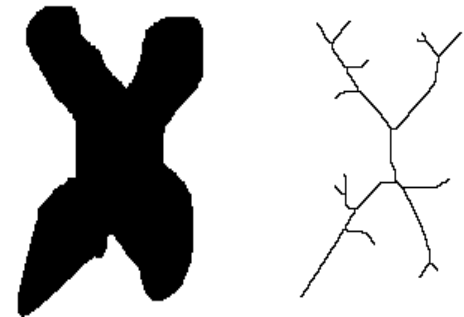
$$M_{T7} = \begin{pmatrix} 1 & x & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & x & 0 \end{pmatrix} \quad M_{T8} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 1 \\ x & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Ziel: Finden der Mittellinie eines Objekts

Methode: Randpixel solange entfernen, bis der zusammenhängende Schriftzug aufgelöst werden würde.

$$G \ominus M_T = G \setminus \bigcup_{n=1,8} G \otimes M_{Tn}$$

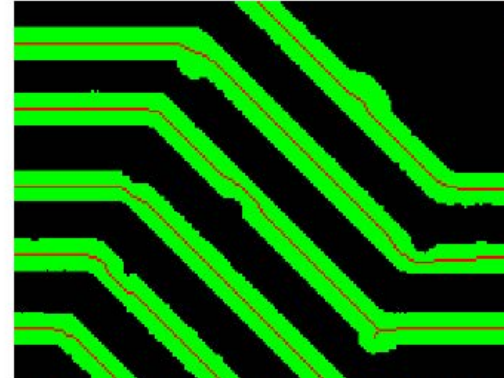
Thinning wird wiederholt, bis $G \ominus M_T = G$ ist.



8.12 Thinning mit Hit-or-Miss-Operatoren



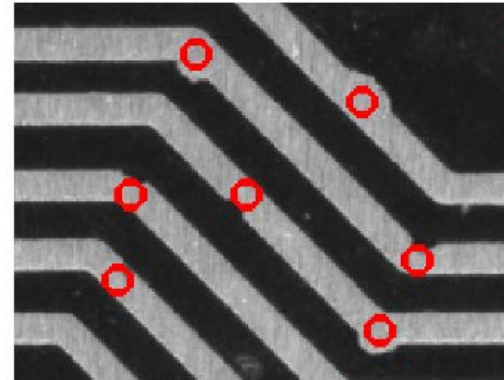
Leiterbahnen mit Fehlern



Segmentierung und Skelett



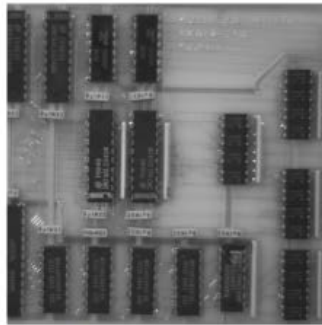
Distanztransformation



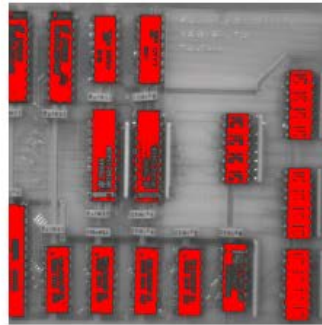
Erkannte Fehler

[5]

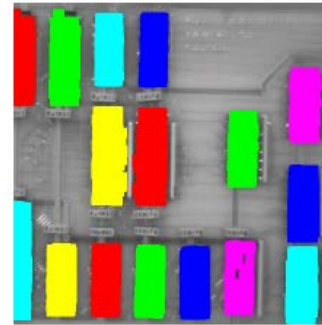
8.13 Anwendungen



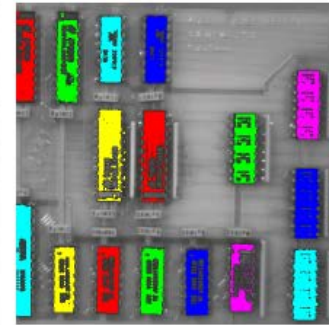
Eingabebild



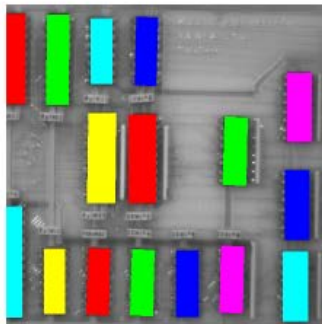
Segmentierung



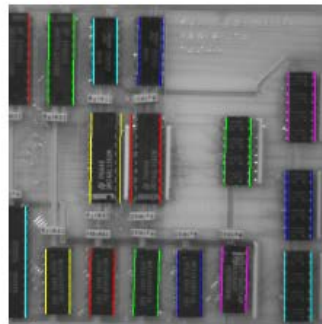
Dilatation +
Komponenten



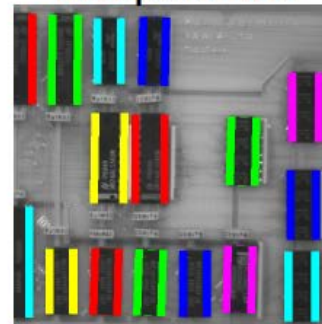
Durchschnitt zu
Segmentierung



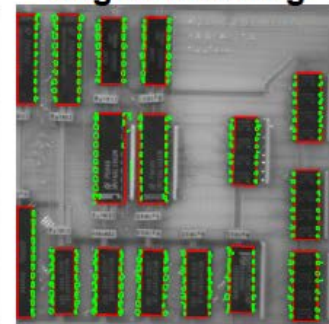
Rechtecke



Horiz. Rand (Dila-
tation+Schnitt)



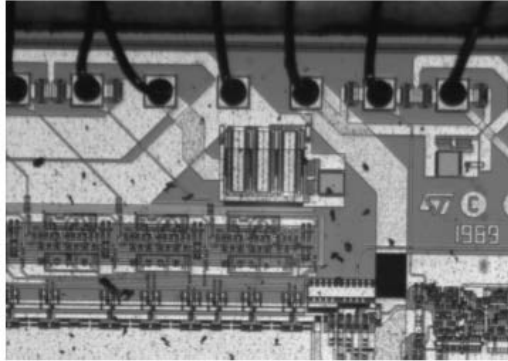
Suchbereich (Dil.
mit horiz. Rechteck)



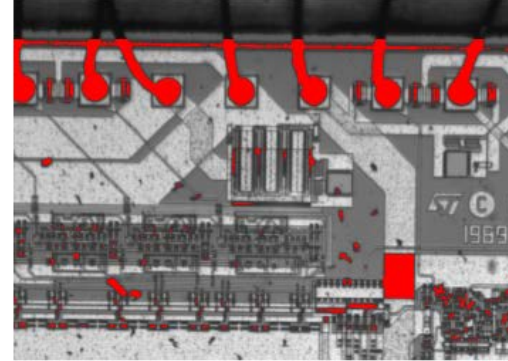
ICs und Pins

[5]

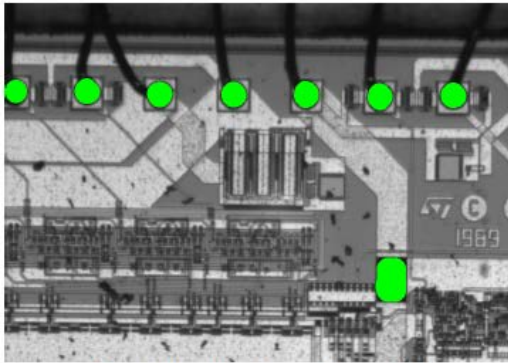
8.13 Anwendungen



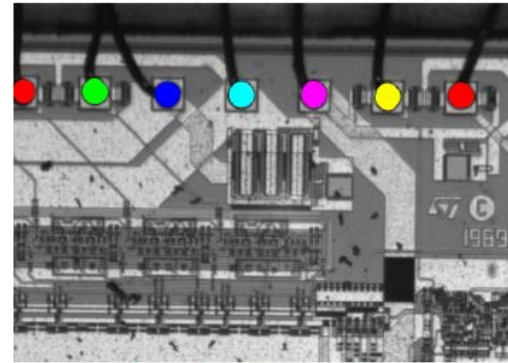
Eingabebild



Segmentierungsergebnis



Ergebnis des Opening



Selektierte Balls

[5]

8.14 Zusammenfassung

- Formverändernde oder formauswertende Operationen auf Segmenten
- Morphologische Filter u.a. zur:
 - Unterdrückung von Artefakten nach einer Segmentierung
 - Distanztransformation
 - Füllen von Objekten
 - Gezielte Detektion bestimmter Formen (Hit-or-Miss-Operator)
 - Erzeugung von anderen Zeichenstilen

Bildquellen

- [1] K. D. Tönnies: Grundlagen der Bildverarbeitung, Pearson Studium, 2005
- [2] W. Burger, M.J. Burge: Digitale Bildverarbeitung, Springer Verlag, 2005
- [3] A. Ehrhardt: Einführung in die Digitale Bildverarbeitung, Vieweg+Teubner, 2008
- [4] Konen, Zielke: Vorlesungsunterlagen Bildverarbeitung und Algorithmen
- [5] Vorlesungsunterlagen C. Steger, TUM, Bildverstehen-i-04-4up.pdf