



Bildverarbeitung 1 Vom Pixel zum Objekt

Dr. Andrea Miene

Verarbeitungsstufen der Bildanalyse

- ▶ **Bildgebung**
 - Bilderfassung durch verschiedene Sensoren
- ▶ **Vorverarbeitung**
 - Bildverbesserung, ...
- ▶ **Segmentierung**
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- ▶ **Merkmalsextraktion**
 - Farbe, Kontur, Textur...
- ▶ **Klassifikation**
 - Diskriminantenfkt., Abstand, Wahrscheinlichkeit,...



**Mustererkennungs-
Paradigma**

Vorverarbeitung

- ▶ Grundlagen, Ziele, Einordnung der Operatoren
- ▶ Verfahren der Bildvorverarbeitung
 - Bildpunktoperationen
 - Modifikation der Grauwertskala
 - Korrektur des Kontrasts (Histogramm-Modifikationen)
 - Hintergrundkompensation (Shadingkorrektur)
 - Geometrische Korrekturen (Affine Transformationen) und Interpolation
 - Lokale Operationen
 - Rauschunterdrückung (Glättungsoperatoren)
 - Minimum und Maximum (Morphologische Operatoren)
 - Kantenverstärkung (Schärfungsoperatoren)
- ▶ Zusammenfassung

Vorverarbeitung

- ▶ Bildmodifikationen zur Verbesserung der Bildqualität
- ▶ Keine wesentliche Veränderung des Informationsgehalts
- ▶ Oft direkt nach der Bildgebung, gelegentlich auch vor folgenden Verarbeitungsschritten
- ▶ Bildverarbeitungsoperationen zur Bildtransformation eines Eingabebildes in ein Ausgabebild
- ▶ Ziele
 - Beleuchtungskorrekturen (inhomogene Beleuchtung)
 - Kontrastverstärkung
 - Glättung, Entfernen von Störungen und Bildrauschen
 - Verstärken von Kanten
 - Geometrische Entzerrungen

Bildvorverarbeitung

- ▶ Eine Bildverarbeitungsoperation berechnet die Intensitäten der Pixel im Ausgabebild A aufgrund eines Eingabebildes E
- ▶ Kriterien, nach denen sich die Operationen einordnen lassen:
 - Zahl der Pixel, aus denen der neue Wert des eines Punktes berechnet wird
 - Abhängigkeit von den Ortskoordinaten
 - Linearität der Verarbeitung
 - Benötigte Zahlendarstellung

Bildvorverarbeitung

- ▶ Einordnung der Operatoren nach der Zahl der einbezogenen Pixel
 - **Bildpunkt bezogen:** Jeder Bildpunkt im Ausgabebild hängt allein vom Bildpunkt im Eingabebild ab
 - Z.B. Grauskalenmanipulation, geometrische Transformationen
 - **Lokal:** Ein Bildpunkt im Ausgabebild wird von einer Umgebung oder Nachbarschaft von Punkten im Eingabebild beeinflusst
 - Filterung im Ortsbereich, z.B. Glättung
 - **Global:** Alle Bildpunkte des Eingabebildes beeinflussen den bearbeiteten Bildpunkt
 - z.B. Fouriertransformation

Bildvorverarbeitung

- ▶ Einordnung der Operatoren nach der Abhängigkeit von den Ortskoordinaten
 - **homogen**: Der Operator arbeitet unabhängig von der Bildkoordinate. Alle Bildpunkte werden in derselben Weise verarbeitet
 - z.B. Mittelwertfilter
 - **inhomogen**: Pixel mit verschiedenen Ortskoordinaten werden unterschiedlich behandelt. Berechnung der Verarbeitungsfunktion aufgrund der Umgebung
 - Z.B. Shadingkorrektur

Bildvorverarbeitung

- ▶ Einordnung der Operatoren nach der Linearität der Verarbeitung
 - **linear:** Die berechneten Punkte im Ausgabebild sind linear abhängig von den Punkten im Eingabebild
 - z.B. Faltungsoperatoren wie Mittelwert
 - **Nichtlinear:** Kein linearer Zusammenhang zwischen Punkten im Ausgabe- und Eingabebild
 - z.B. Rangordnungsfilter wie Median

Bildvorverarbeitung

- ▶ Einordnung der Operatoren nach der benötigten Zahlendarstellung
 - **Ganze Zahlen**
 - 8 Bit (am häufigsten) bzw. 16 Bit
 - **Gleitkommazahlen**
 - Vermeidung von Überschreitungen der Grauwertbereichs, Höhere Rechengenauigkeit
 - **Komplexe Zahlen**
 - Für spezielle Anwendungen, z.B. Fouriertransformation

Vorverarbeitung

- ▶ Grundlagen, Ziele, Einordnung der Operatoren
- ▶ Verfahren der Bildvorverarbeitung
 - Bildpunktoperationen
 - Modifikation der Grauwertskala
 - Korrektur des Kontrasts (Histogramm-Modifikationen)
 - Hintergrundkompensation (Shadingkorrektur)
 - Geometrische Korrekturen (Affine Transformationen) und Interpolation
 - Lokale Operationen
 - Rauschunterdrückung (Glättungsoperatoren)
 - Minimum und Maximum (Morphologische Operatoren)
 - Kantenverstärkung (Schärfungsoperatoren)
- ▶ Zusammenfassung

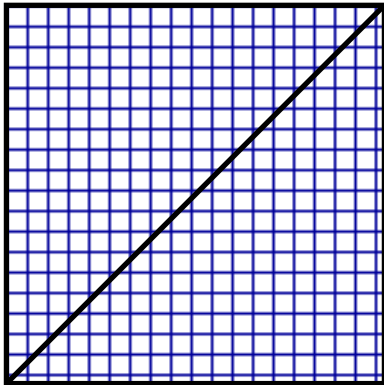
Vorverarbeitung

- ▶ Grundlagen, Ziele, Einordnung der Operatoren
- ▶ Verfahren der Bildvorverarbeitung
 - Bildpunktoperationen
 - Modifikation der Grauwertskala
 - Korrektur des Kontrasts (Histogramm-Modifikationen)
 - Hintergrundkompensation (Shadingkorrektur)
 - Geometrische Korrekturen (Affine Transformationen) und Interpolation
 - Lokale Operationen
 - Rauschunterdrückung (Glättungsoperatoren)
 - Minimum und Maximum (Morphologische Operatoren)
 - Kantenverstärkung (Schärfungsoperatoren)
- ▶ Zusammenfassung

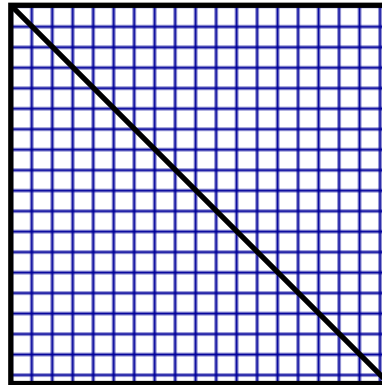
Modifikation der Grauwertskala

► Darstellung in Diagrammform

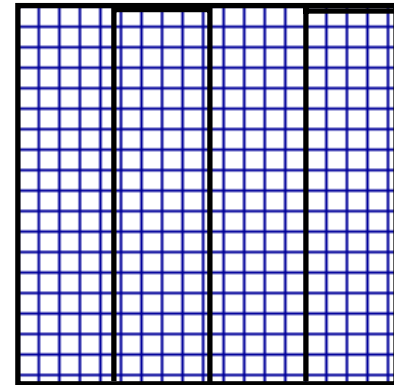
- x-Achse: Grauwert Eingabebild
- y-Achse: Grauwert Ausgabebild



linear



Invertierung

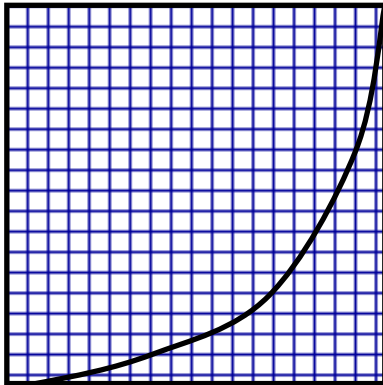


Binarisierung

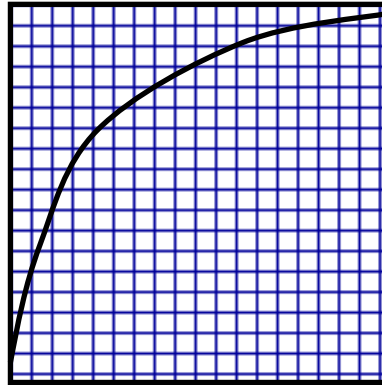
Modifikation der Grauwertskala

► Darstellung in Diagrammform

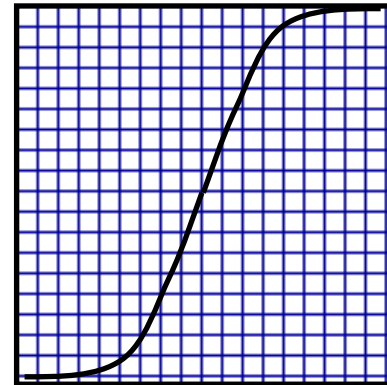
- x-Achse: Grauwert Eingabebild
- y-Achse: Grauwert Ausgabebild



quadratisch



Quadratwurzel



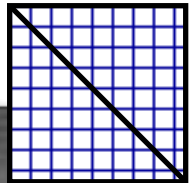
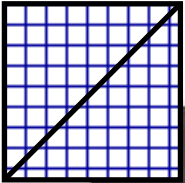
Gauss-Funktion

Modifikation der Grauwertskala

linear	$y = x$
negative linear	$y = -x$
quadratisch	$y = \frac{x^2}{255}$
Wurzel	$y = \sqrt{255x}$

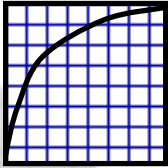
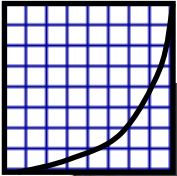
Binär	$y = \begin{cases} 0, & x < x_u \\ 1, & x_u < x < x_o \\ 0, & x > x_o \end{cases}$
Gauß	$y = 255 - \frac{5795}{\sqrt{2\pi e}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$ <p>für $0 \leq x \leq 255$ und $\sigma = 82, m = 0$</p>

Modifikation der Grauwertskala



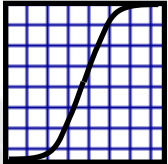
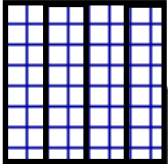
[Abmayr 94], S. 156

Modifikation der Grauwertskala



[Abmayr 94], S. 156

Modifikation der Grauwertskala



[Abmayr 94], S. 156

Modifikation der Grauwertskala

- ▶ Dehnung und Stauchung des Grauwertbereichs
- ▶ Allgemeine Transformationsgleichung:

$$A(x,y) = u \cdot E(x,y) + v$$

- ▶ u regelt den Kontrast, v regelt die Helligkeit
- ▶ Diskreter Fall (8 Bit):

$$A(x, y) = \begin{cases} 255 & , \text{wenn } u \cdot E(x, y) + v > 255 \\ 0 & , \text{wenn } u \cdot E(x, y) + v < 0 \\ u \cdot E(x, y) + v & , \text{sonst} \end{cases}$$

Vorverarbeitung

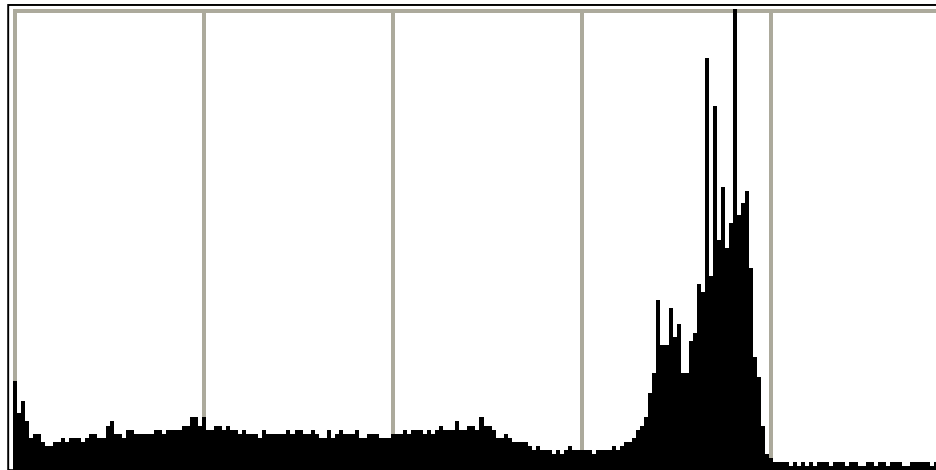
- ▶ Grundlagen, Ziele, Einordnung der Operatoren
- ▶ Verfahren der Bildvorverarbeitung
 - Bildpunktoperationen
 - Modifikation der Grauwertskala
 - Korrektur des Kontrasts (Histogramm-Modifikationen)
 - Hintergrundkompensation (Shadingkorrektur)
 - Geometrische Korrekturen (Affine Transformationen) und Interpolation
 - Lokale Operationen
 - Rauschunterdrückung (Glättungsoperatoren)
 - Minimum und Maximum (Morphologische Operatoren)
 - Kantenverstärkung (Schärfungsoperatoren)
- ▶ Zusammenfassung

Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Veränderung des Kontrast durch Histogramm-Modifikationen, z.B.
 - Lineare Skalierung
 - Skalierung mit relativer Summenhäufigkeit als Skalierungsfunktion
 - Histogrammebnung
- ▶ Histogramm misst in diesem Fall die Häufigkeitsverteilung von Intensitäten im Bild

Begriffe - Histogramm

- ▶ Häufigkeitsverteilung von Messwerten
 - Einteilung des Wertebereichs in k Klassen
 - Grafisch häufig als Balkendiagramm dargestellt
 - Höhe der Balken gibt die Häufigkeit der einzelnen Klassen an

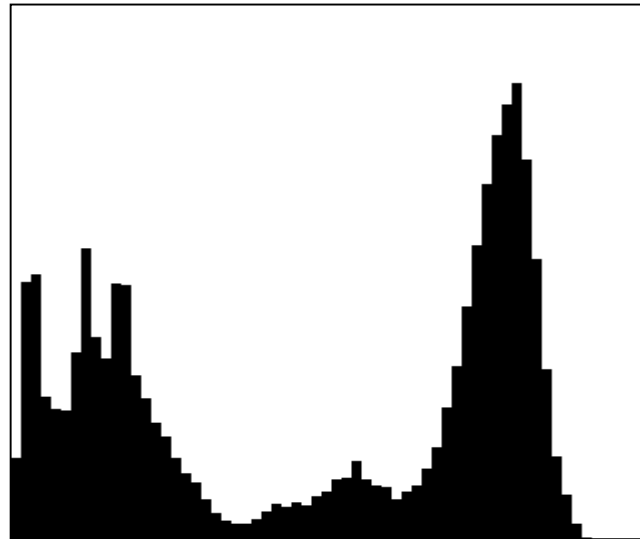


Begriffe - Histogramm

- ▶ Histogramme in der Bildverarbeitung
 - Meist wird die Häufigkeitsverteilung von Intensitäten bzw. Grauwerten gemessen
 - Man kann auch andere Häufigkeitsverteilungen messen, z.B. die der Kantenrichtungen
 - Darstellung der Häufigkeitswerte
 - Histogramm der **absolute** Häufigkeiten $H(i)$
 - Histogramm der **relativen** Häufigkeiten $h(i)$, normiert gegenüber der Bildgröße (Wahrscheinlichkeiten)
 - Mehrere Werte können zu Intervallen zusammengefasst werden
 - z.B. werden bei 256 Graustufen mit $k=64$ jeweils 4 Grauwerte zu einer Klasse zusammengefasst

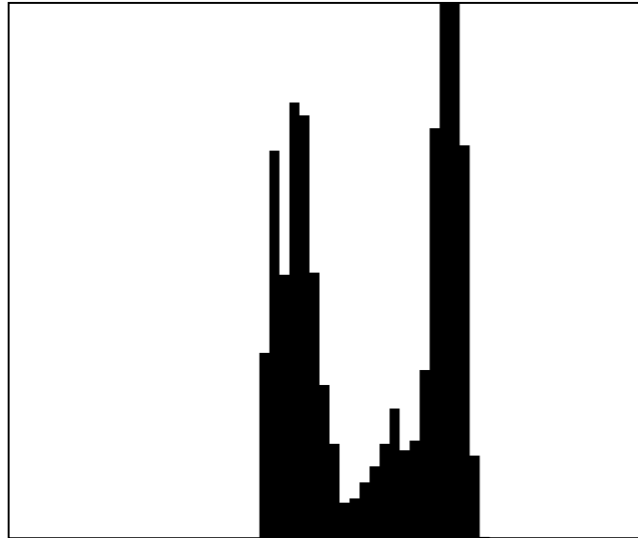
Begriffe - Histogramm

- ▶ Beispiel: Originalbild und Histogramm mit $k=64$



Begriffe - Histogramm

- ▶ Beispiel: Originalbild und Histogramm mit $k=64$

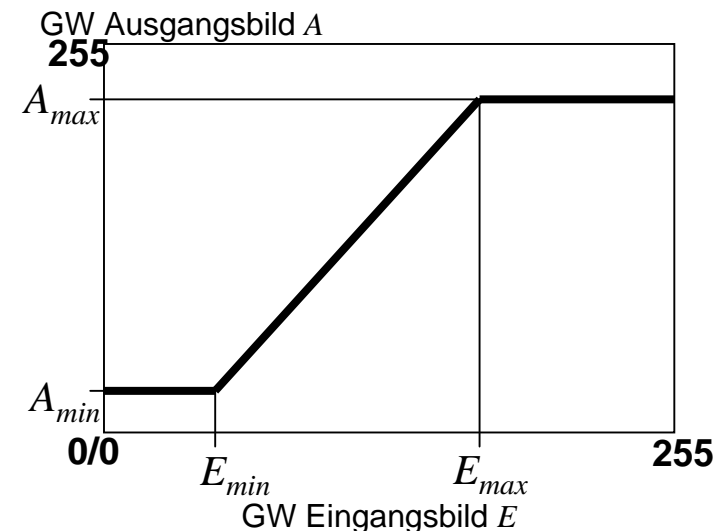


Vorverarbeitung: Kontrast

► Lineare Histogrammskalierung (allgemein):

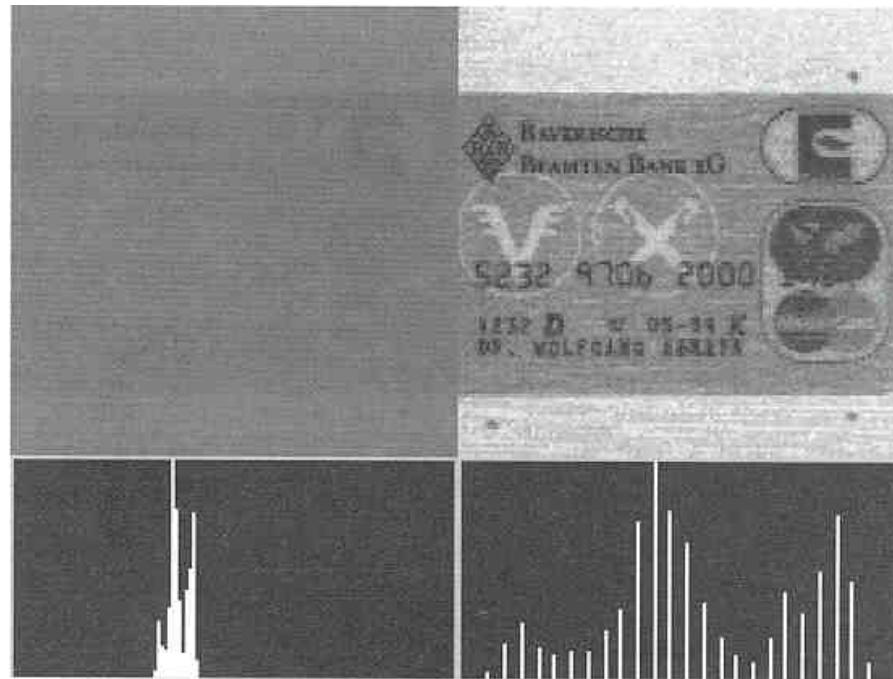
$$A(x, y) = \frac{(A_{\max} - A_{\min}) \cdot (E(x, y) - E_{\min})}{E_{\max} - E_{\min}} + A_{\min}$$

- $E(x, y)$ Intensität an der Stelle (x, y) im Eingabebild
- $A(x, y)$ Neue Intensität an der Stelle (x, y) im Ausgabebild
- E_{\min}, E_{\max} kleinste bzw. größte Intensität im Eingabebild (vor der Modifikation)
- A_{\min}, A_{\max} kleinste bzw. größte Intensität im Ausgabebild (nach der Modifikation)



Vorverarbeitung: Kontrast

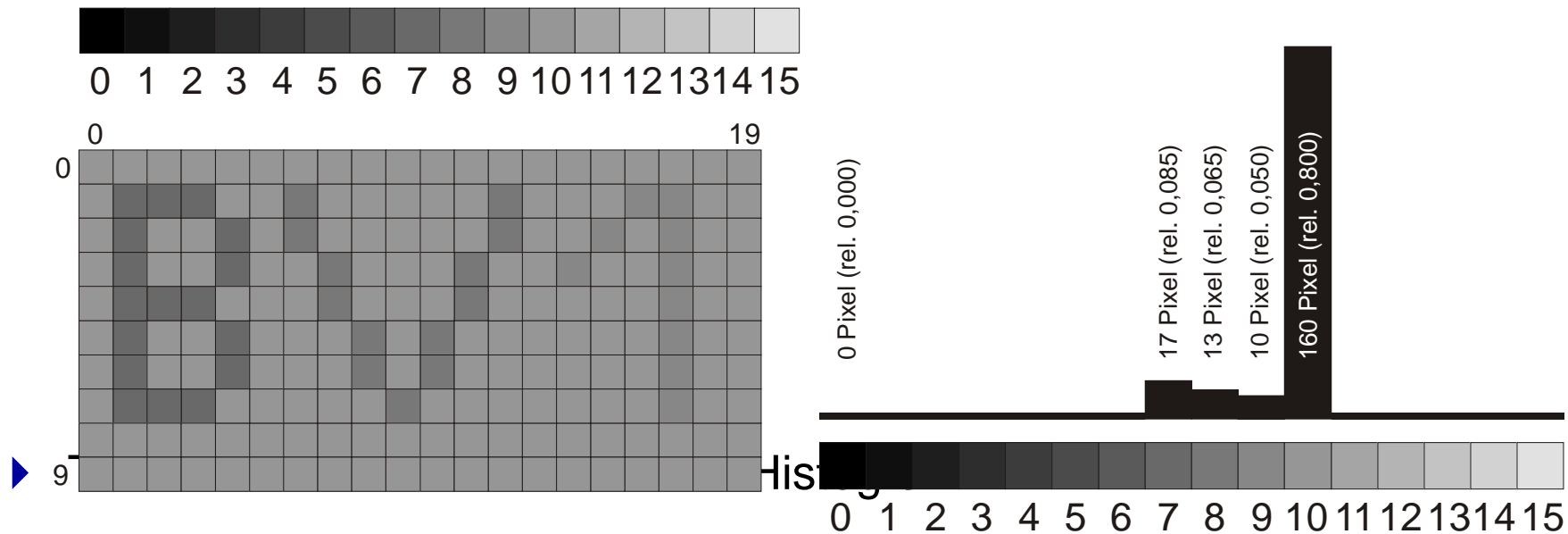
- ▶ Lineare Histogrammskalierung (Beispiel):



[Abmayr 94], S. 159

Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Rechenbeispiele mit 16 Intensitäten:



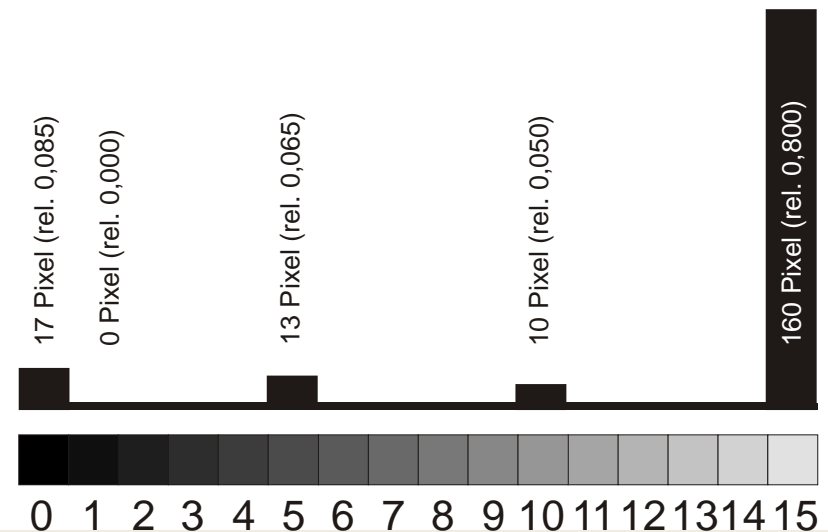
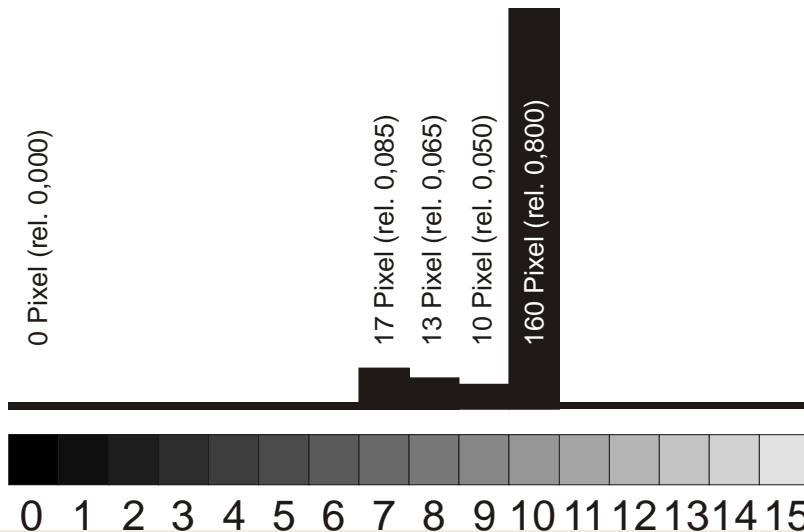
Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Beispiel: Lineare Histogrammskalierung auf [0 ... 15]

$$A(x, y) = \frac{(A_{\max} - A_{\min}) \cdot (E(x, y) - E_{\min})}{E_{\max} - E_{\min}} + A_{\min}$$

$$A(x, y) = \frac{(15 - 0) \cdot (E(x, y) - 7)}{10 - 7} + 0$$

- ▶ $E_{\min} = 7, E_{\max} = 10, A_{\min} = 0, A_{\max} = 15$

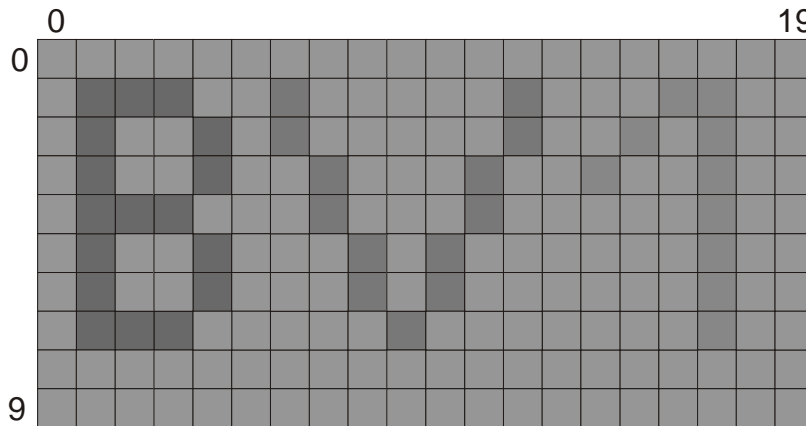


Vorverarbeitung: Kontrast

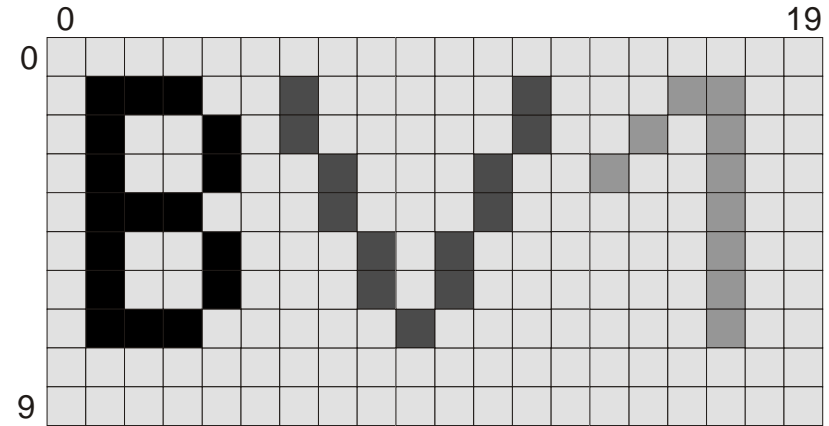
- ▶ Beispiel: Lineare Histogrammskalierung auf [0 ... 15]

- ▶ $E_{min} = 7, E_{max} = 10, A_{min} = 0, A_{max} = 15$

$$A(x, y) = \frac{(15 - 0) \cdot (E(x, y) - 7)}{10 - 7} + 0$$



Testbild



nach linearer Skalierung

Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammskalierung mit der relativen Summenhäufigkeit als Skalierungsfunktion:

$$A(x, y) = (N_g - 1) \cdot h_s(E(x, y))$$

- $E(x, y)$ Intensität an der Stelle (x, y) im Eingabebild
- $A(x, y)$ Neue Intensität an der Stelle (x, y) im Ausgabebild
- N_g Anzahl der Intensitäten

- $h_s(i) = \sum_{k=0}^i h(k)$ relative Summenhäufigkeit

Vorverarbeitung: Kontrast

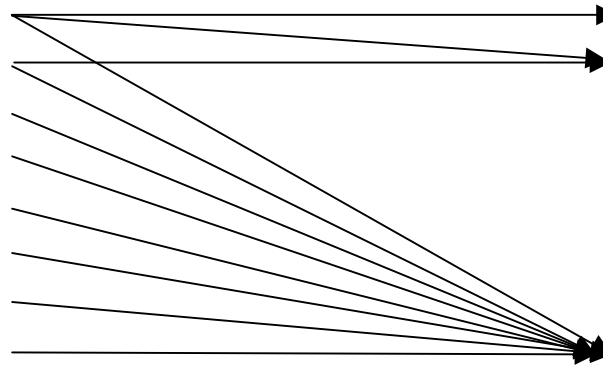
► Beispiel: relative Summenhäufigkeit

Normiertes Histogramm (relative Werte)

$h(0)$	=	0,000
$h(1)$	=	0,000
$h(2)$	=	0,000
$h(3)$	=	0,000
$h(4)$	=	0,000
$h(5)$	=	0,000
$h(6)$	=	0,000
$h(7)$	=	0,085
$h(8)$	=	0,065
$h(9)$	=	0,050
$h(10)$	=	0,800
$h(11)$	=	0,000
$h(12)$	=	0,000
$h(13)$	=	0,000
$h(14)$	=	0,000
$h(15)$	=	0,000

Relatives Summenhistogramm

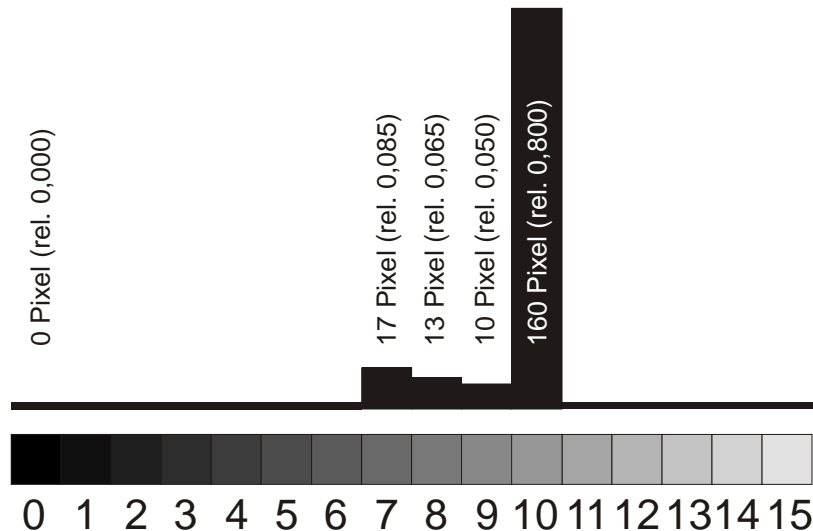
$h_s(0)$	=	0,000
$h_s(1)$	=	0,000
$h_s(2)$	=	0,000
$h_s(3)$	=	0,000
$h_s(4)$	=	0,000
$h_s(5)$	=	0,000
$h_s(6)$	=	0,000
$h_s(7)$	=	0,085
$h_s(8)$	=	0,150
$h_s(9)$	=	0,200
$h_s(10)$	=	1,000
$h_s(11)$	=	1,000
$h_s(12)$	=	1,000
$h_s(13)$	=	1,000
$h_s(14)$	=	1,000
$h_s(15)$	=	1,000



Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Beispiel: Histogrammskalierung mit der relativen Summenhäufigkeit als Skalierungsfunktion

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(E(x, y))$$



$$E(x, y) = 7:$$

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(7)$$

$$A(x, y) = 15 \cdot 0,085$$

$$A(x, y) = 1,27 \approx 1$$

$$E(x, y) = 8:$$

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(8)$$

$$A(x, y) = 15 \cdot 0,15$$

$$A(x, y) = 2,25 \approx 2$$

$$h_s(0) = 0,000$$

$$h_s(1) = 0,000$$

$$h_s(2) = 0,000$$

$$h_s(3) = 0,000$$

$$h_s(4) = 0,000$$

$$h_s(5) = 0,000$$

$$h_s(6) = 0,000$$

$$h_s(7) = 0,085$$

$$h_s(8) = 0,150$$

$$h_s(9) = 0,200$$

$$h_s(10) = 1,000$$

$$h_s(11) = 1,000$$

$$h_s(12) = 1,000$$

$$h_s(13) = 1,000$$

$$h_s(14) = 1,000$$

$$h_s(15) = 1,000$$

$$E(x, y) = 9:$$

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(9)$$

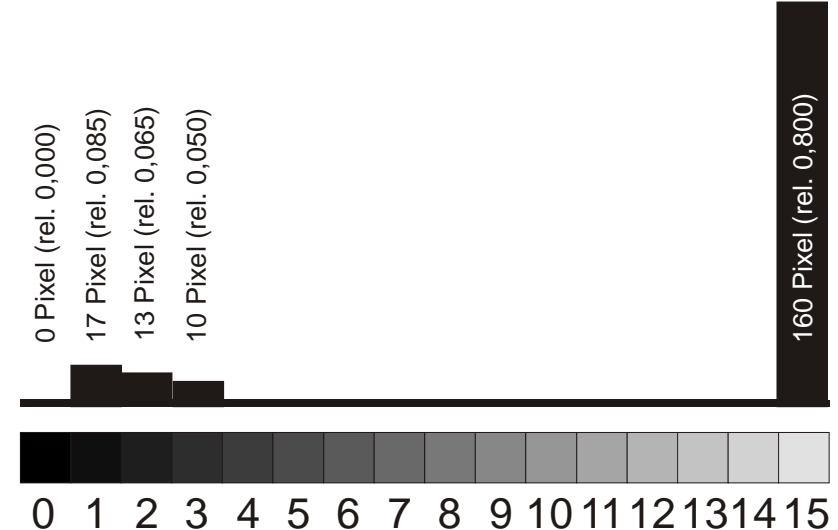
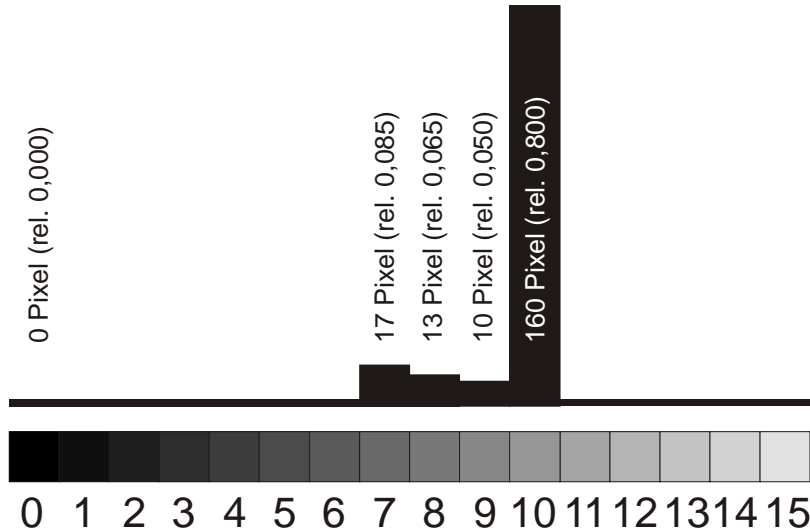
$$A(x, y) = 15 \cdot 0,2 = 3$$

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(10)$$

$$A(x, y) = 15 \cdot 1 = 15$$

Vorverarbeitung: Kontrast

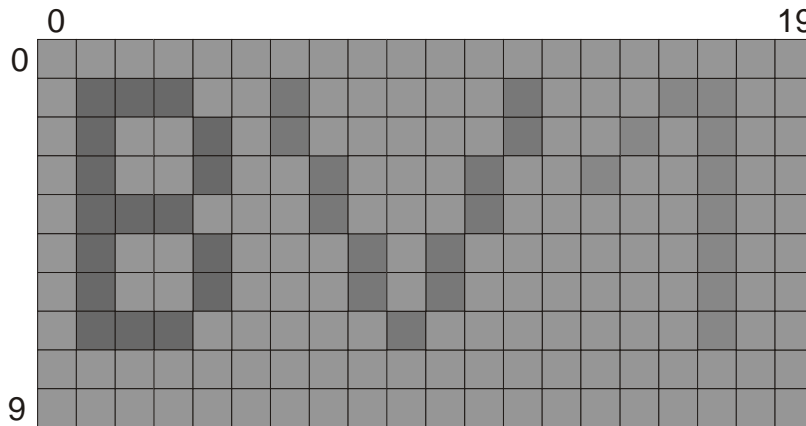
- ▶ Beispiel: Histogrammskalierung mit der relativen Summenhäufigkeit als Skalierungsfunktion auf [0 ... 15] $A(x, y) = 15 \cdot h_s(E(x, y))$



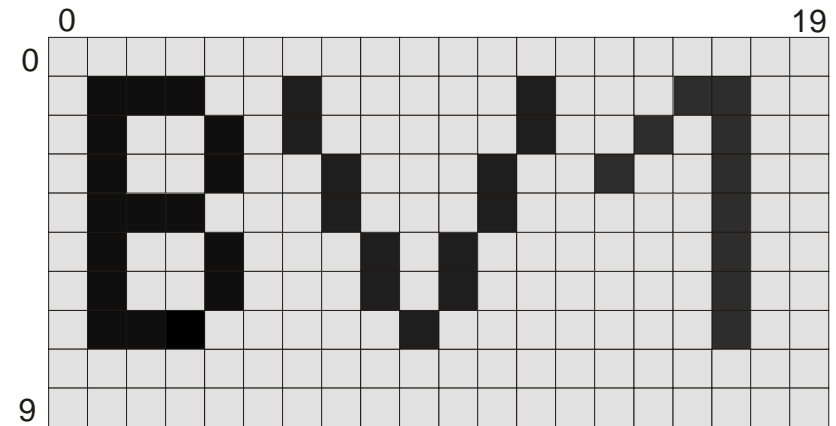
Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Beispiel: Histogrammskalierung mit der relativen Summenhäufigkeit als Skalierungsfunktion auf [0 ... 15]

$$A(x, y) = 15 \cdot h_s(E(x, y))$$



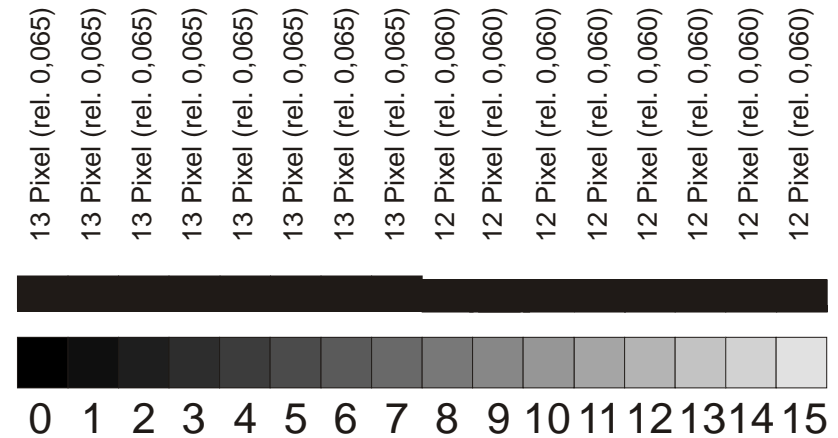
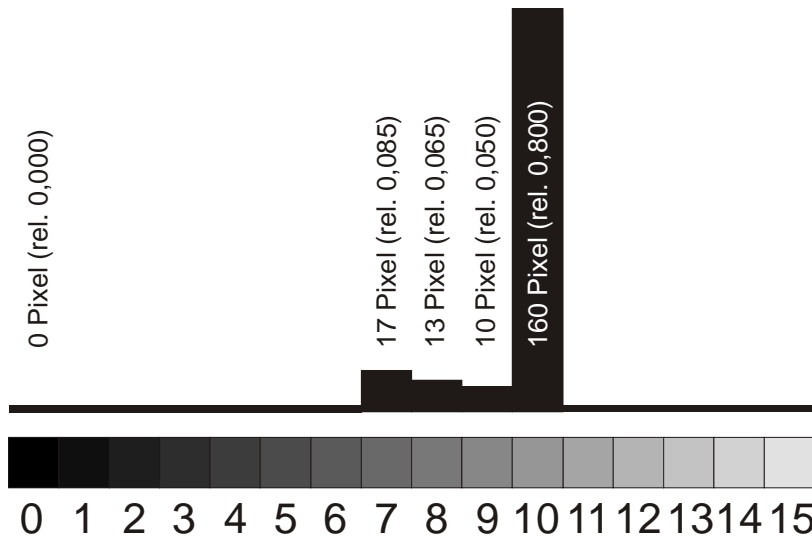
Testbild



nach Skalierung mit
rel. Summenhäufigkeit

Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung
- ▶ Ziel: Alle Intensitäten kommen gleich häufig vor
- ▶ Normierung der Statistiken ersten Ordnung



Vorverarbeitung: Kontrast

► Histogrammebnung - Vorgehensweise

- Histogramm des Bildes erstellen
- Anzahl Pixel pro Intensität im geebneten Histogramm bestimmen:

w, h : Breite, Höhe Bild

- Im Beispiel: Bild 20×10 mit 16 Intensitäten:

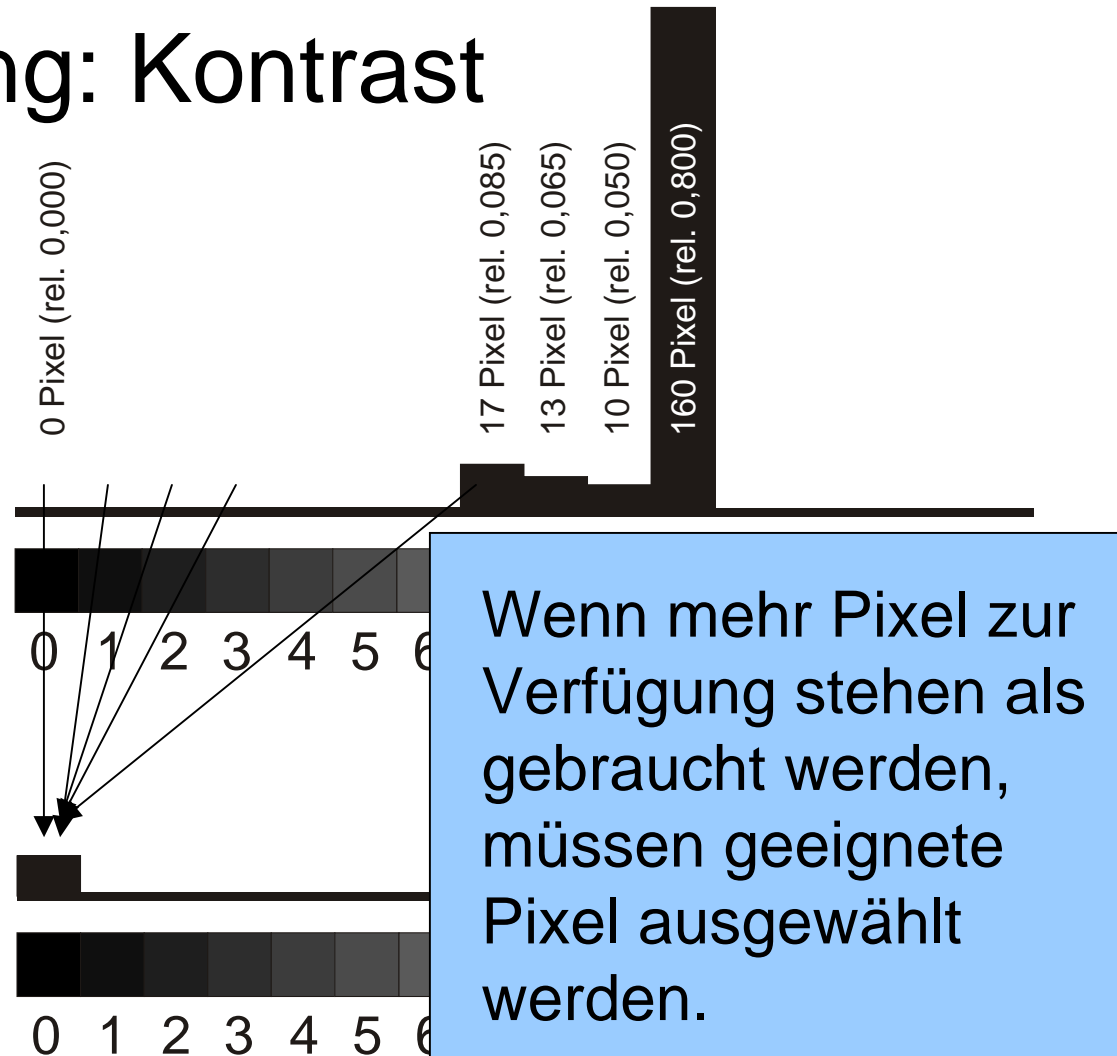
Also acht mal 12 und acht mal 13 Pixel

$$\frac{20 \cdot 10}{16} = 12,5$$

- Intensitäten neu verteilen

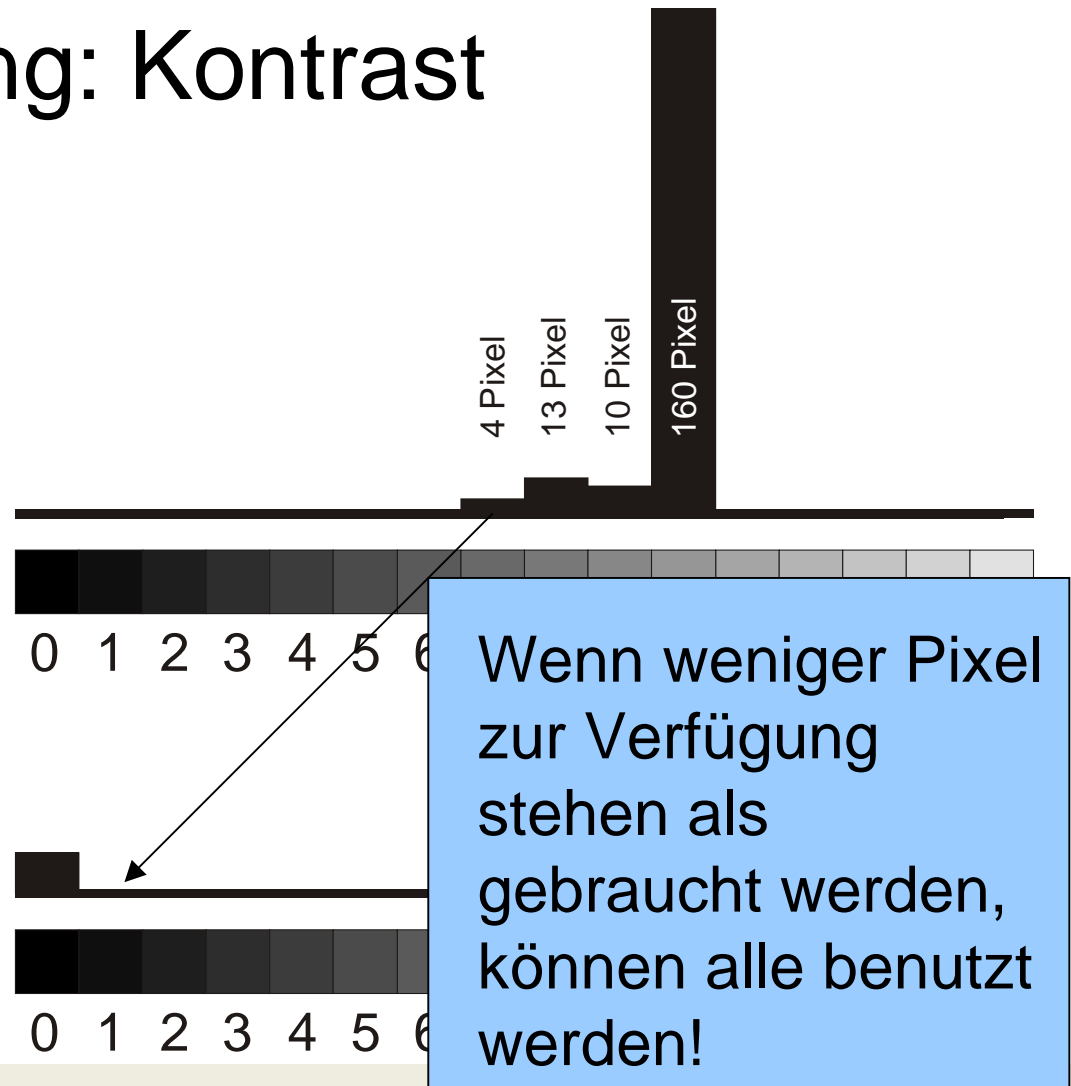
Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung
- ▶ Auffüllen des neuen Histogramms
- ▶ Gesucht: 13 Pixel für Intensität 0



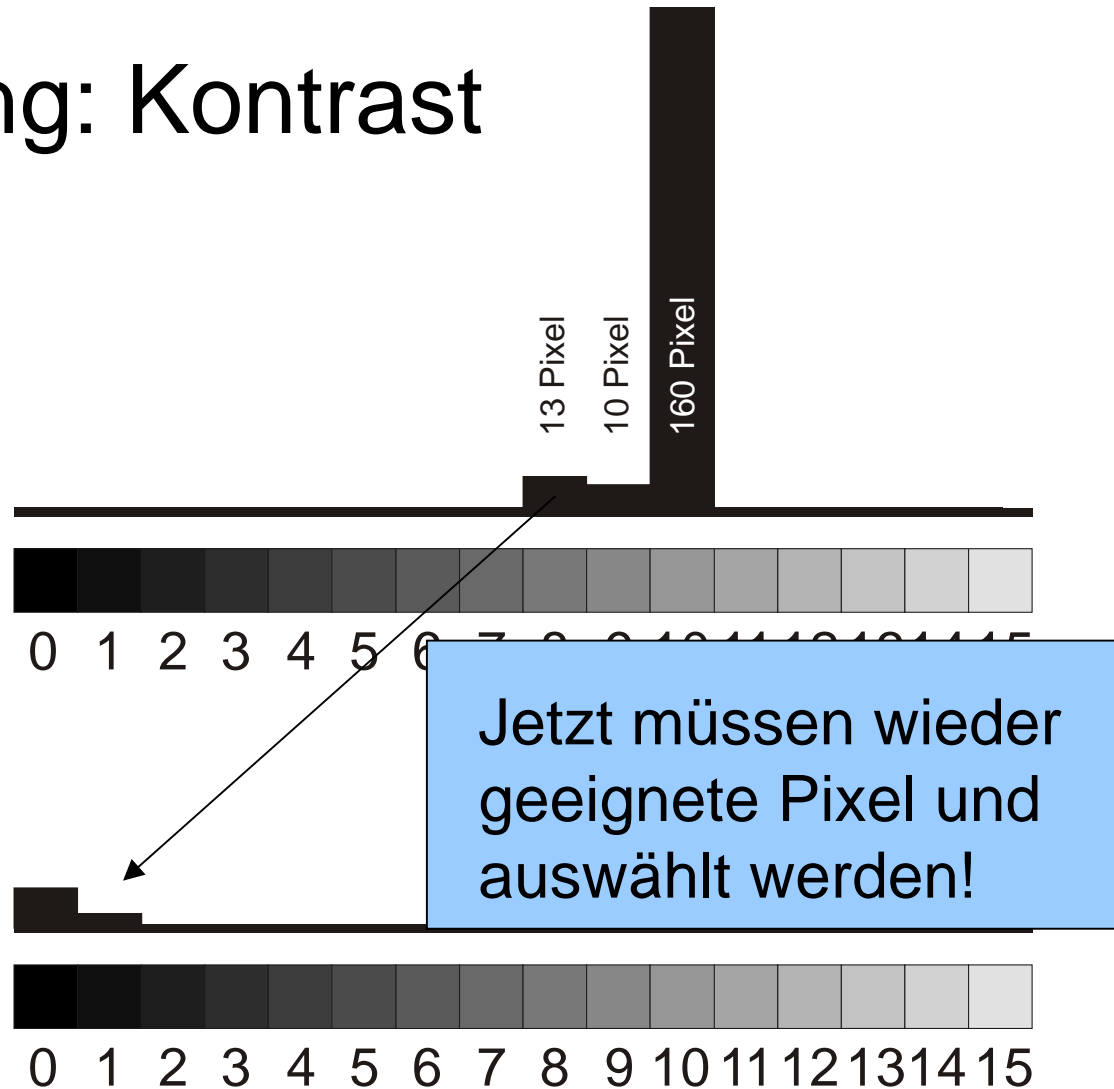
Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung
- ▶ Auffüllen
des neuen
Histogramms
- ▶ Gesucht:
13 Pixel für
Intensität 1



Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung
- ▶ Auffüllen
des neuen
Histogramms
- ▶ Es fehlen noch
9 Pixel für
Intensität 1



Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung
- ▶ So lange weiter machen bis das neue Histogramm vollständig gefüllt ist



Vorverarbeitung: Kontrast

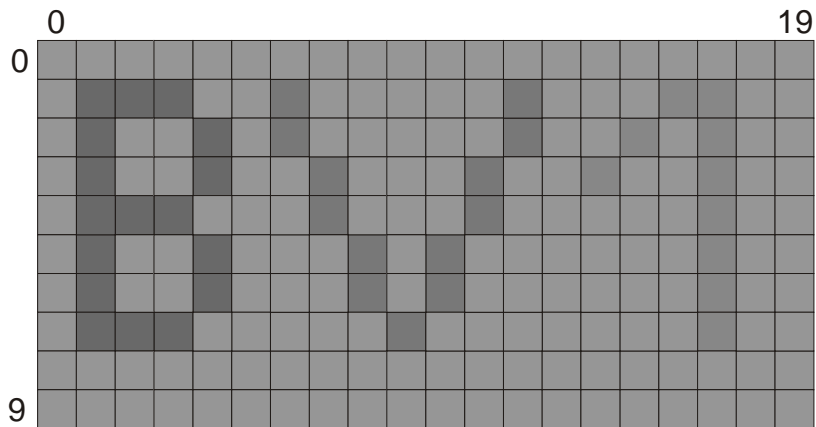
6	5	7
5	7	5
6	5	7

$$m = 53 / 9 = 5,89$$

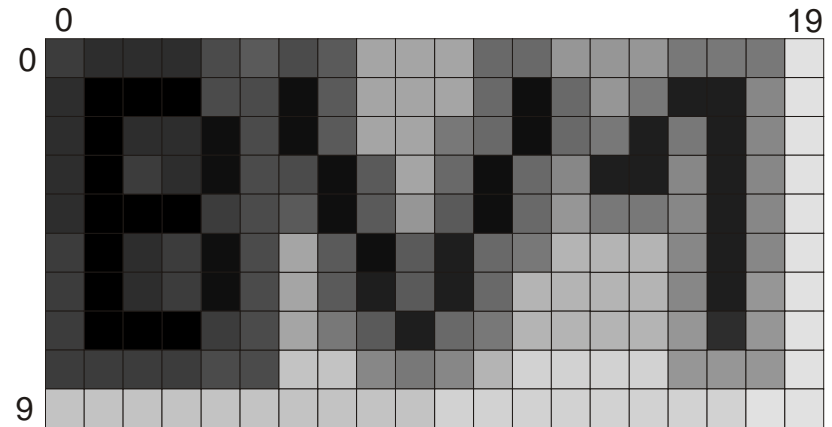
- ▶ Histogrammebnung – Finden geeigneter Pixel für eine Grauwertveränderung
 - Originalbild enthalte n Pixel mit bisher einheitlicher Intensität
 - Davon muss k Pixeln ($k < n$) eine geringere Intensität als den übrigen zugewiesen werden
 - Wie findet man k geeignete Pixel?
 - Wo fällt eine Reduzierung der Intensität am wenigsten auf?
 - Dort, wo die Umgebung ebenfalls möglichst dunkel ist!
 - Bestimmung der Intensität der Umgebung durch Mittelwertbildung in einem Fenster um den aktuellen Pixel
 - Sortieren der n Pixel nach Umgebungsintensität
 - Verringerung der Intensität der k Pixel mit der dunkelsten Umgebung

Vorverarbeitung: Kontrast

- ▶ Histogrammebnung – Ergebnis
- ▶ Stärkere Veränderung der Bildinformation im Vergleich zu den Skalierungsfunktionen
- ▶ Pixel mit bisher gleicher Intensität nun unterschiedlich



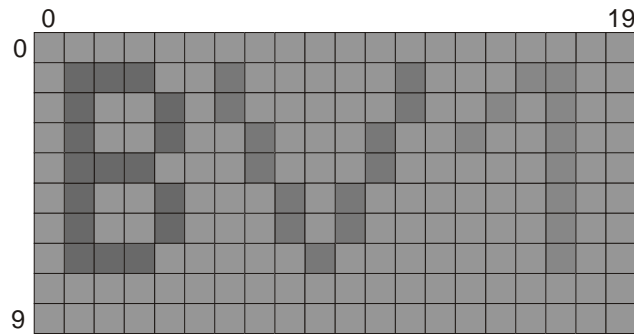
Testbild



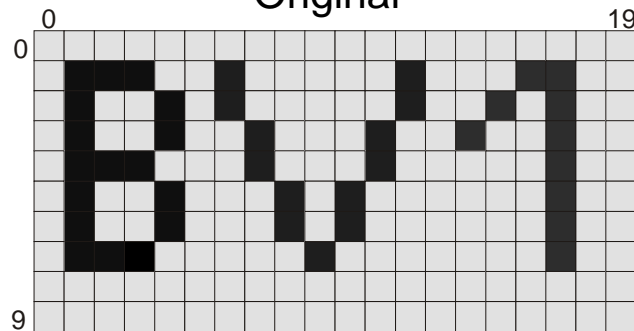
Histogrammebnung

Vorverarbeitung: Kontrast

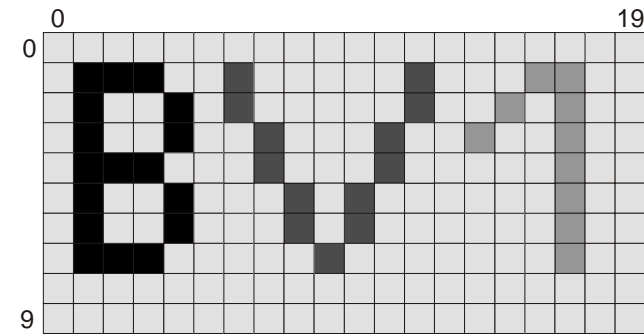
► Vergleich der Histogramm-Modifikationen



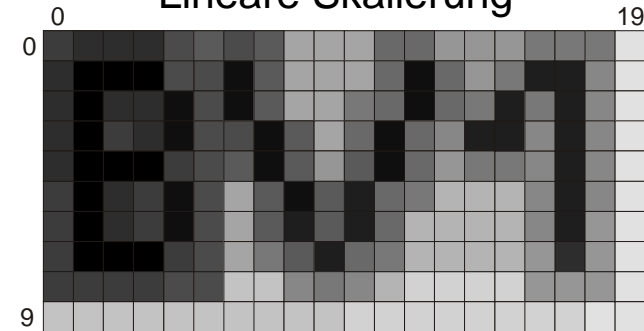
Original



Relative Summenhäufigkeit



Lineare Skalierung



Histogrammebnung

Literatur

- ▶ [Abmayr 94] Wolfgang Abmayr. *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. B.G. Teubner, 1994.
- ▶ [Hermes 04] Thorsten Hermes. *Digitale Bildverarbeitung. Eine praxisorientierte Einführung*. Hanser, 2004.
- ▶ [Jähne 05] Bernd Jähne: *Digitale Bildverarbeitung*. Springer-Verlag, 2005.
- ▶ [Klette 95] Reinhard Klette und Piero Zamperoni. *Handbuch der Operatoren für die Bildbearbeitung*. Vieweg, 1995.