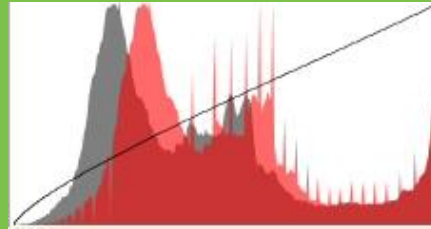


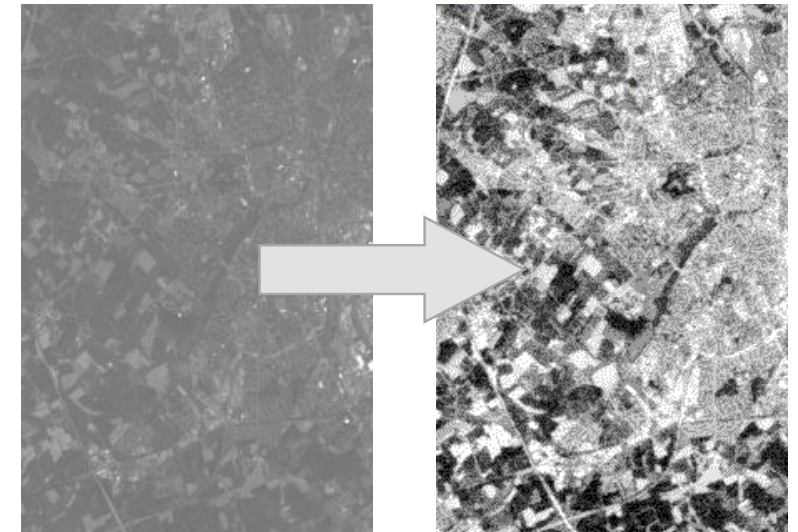
# Visual Computing – Bildbearbeitung



E. Hergenröther, Y. Jung, B. Meyer

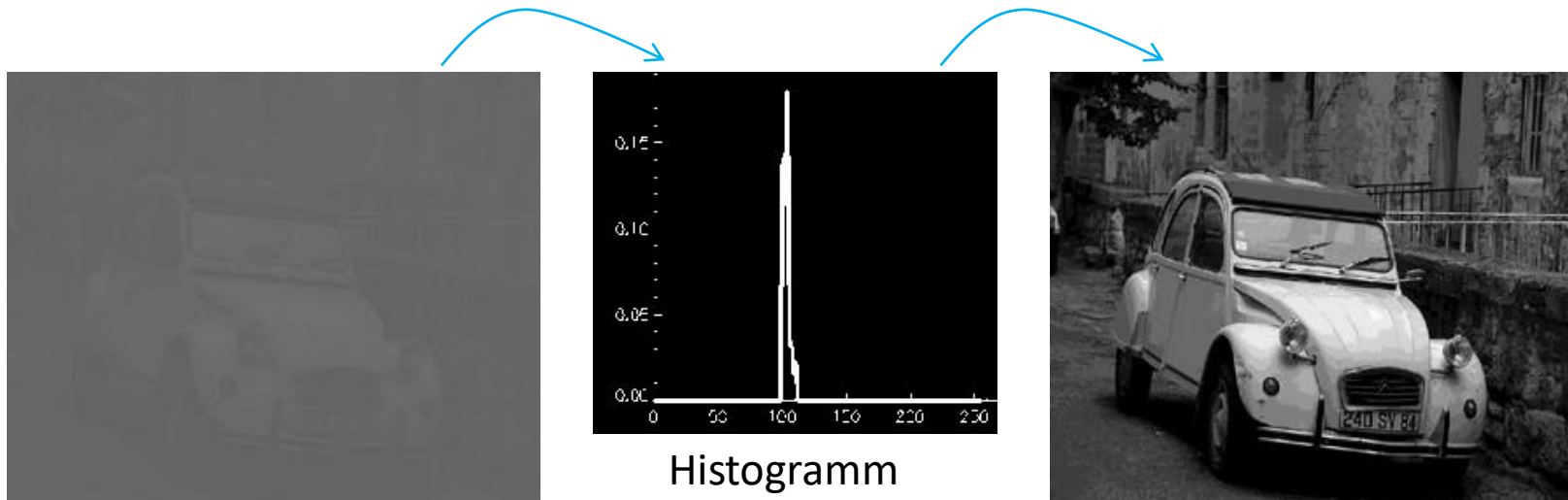
# Übersicht

- Histogramme
- Punktoperationen
  - Lineare Veränderung der Graustufen
    - Änderung der Bildhelligkeit
    - Invertieren eines Bildes
    - Änderung des Kontrasts
    - Binarisierung durch Schwellwertbildung
  - Nicht lineare Veränderungen, z.B. Gamma-Korrektur
  - Farbtransformationen



# Beispiel: Bildverbesserung

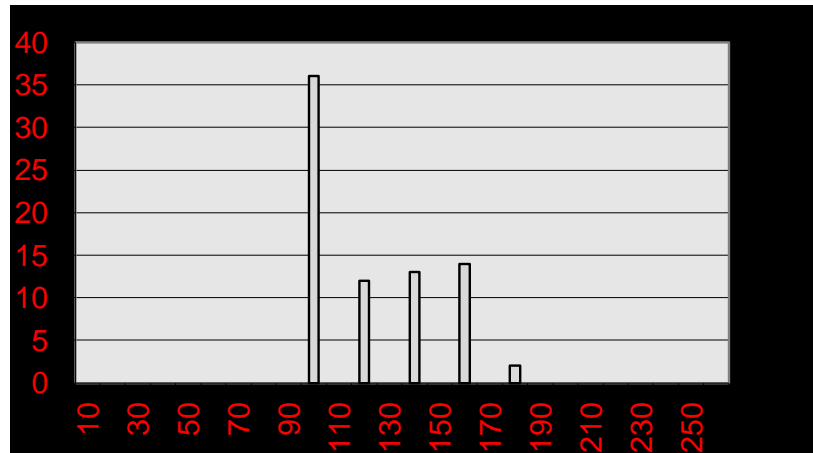
- Histogramm: Statistische Grauwertverteilung eines Bildes
  - Grauwerte gehen bei 8-Bit-Integer-Darstellung von 0 bis 255 (bzw. bei Float von 0.0 bis 1.0)
- Bildkontrast: Bereich der Grauwertskala, der zur Bilddarstellung tatsächlich ausgenutzt wird
- Kontrast-Spreizung: Abbildung der Grauwerte auf neue Skala



# Histogramme

Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung von Grauwerten in Bildern

Häufigkeit der  
Grauwerte



Grauwerte

## Absolute und relative Häufigkeiten:

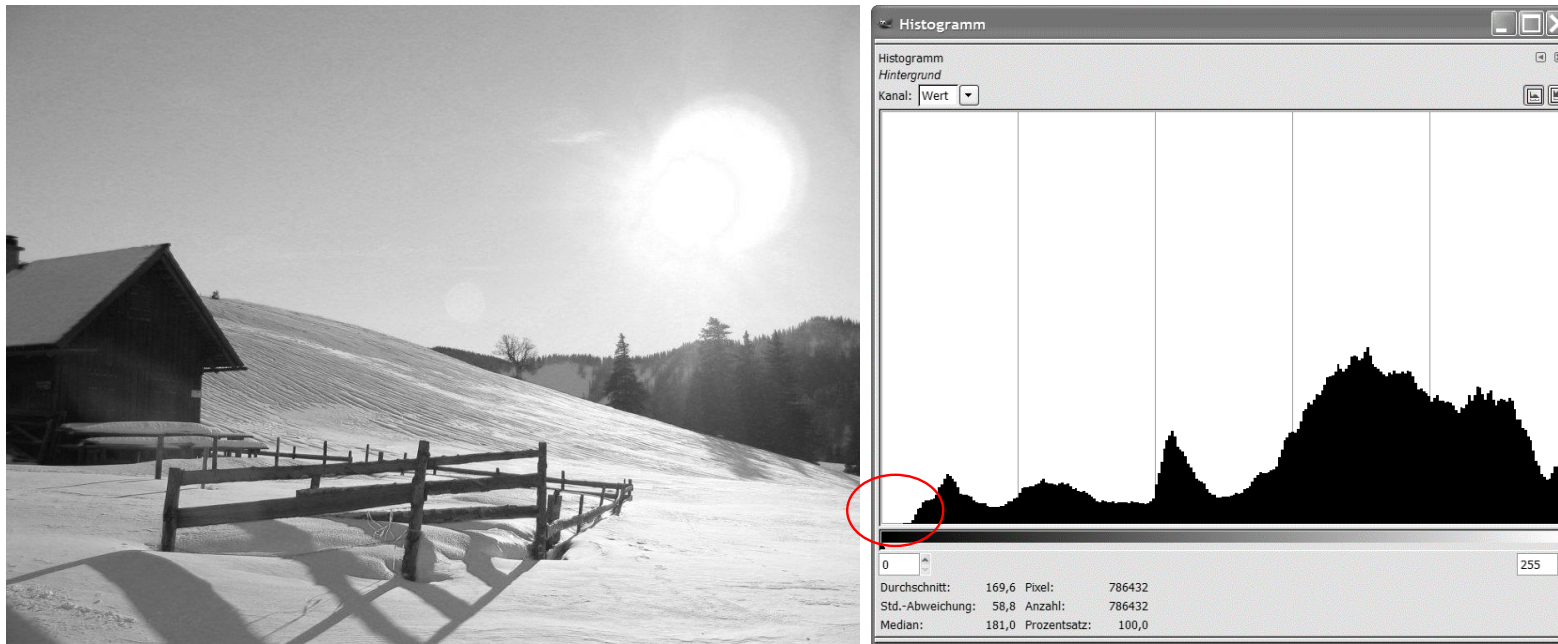
Man unterscheidet zwischen der absoluten Häufigkeitsverteilung, wie in der Abbildung links dargestellt, und der relativen Häufigkeitsverteilung. In letzterer werden Häufigkeitswerte normiert, also in ein Intervall zwischen 0 und 1 transformiert.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
1	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
2	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
3	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	178
4	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	177
5	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136
6	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136

Zugrundeliegendes Grautonbild in Form einer Bildmatrix, in der die einzelnen Grauwerte durch Zahlenwerte repräsentiert werden

# Histogramme

Maß zur Beurteilung der Bildqualität



## Belichtungsfehler\*)

Ein Ende der Grauwertskala bleibt ungenutzt, während am anderen Ende der Skala Häufungen auftreten. Links im Histogramm sind die dunklen (0 = schwarz), rechts die hellen Grauwerte (maximaler Grauwert = weiß) zu finden.

\*) Definitionen aus: W. Burger, M. J. Burge, „Digitale Bildverarbeitung“, Springer Verlag

Anhand des Histogramms vom Helligkeitskanal eines Bildes entscheidbar, ob Bild über- oder unterbelichtet ist  
Das Bild ist überbelichtet, da die dunklen Grautöne fehlen (rote Markierung im Histogramm)

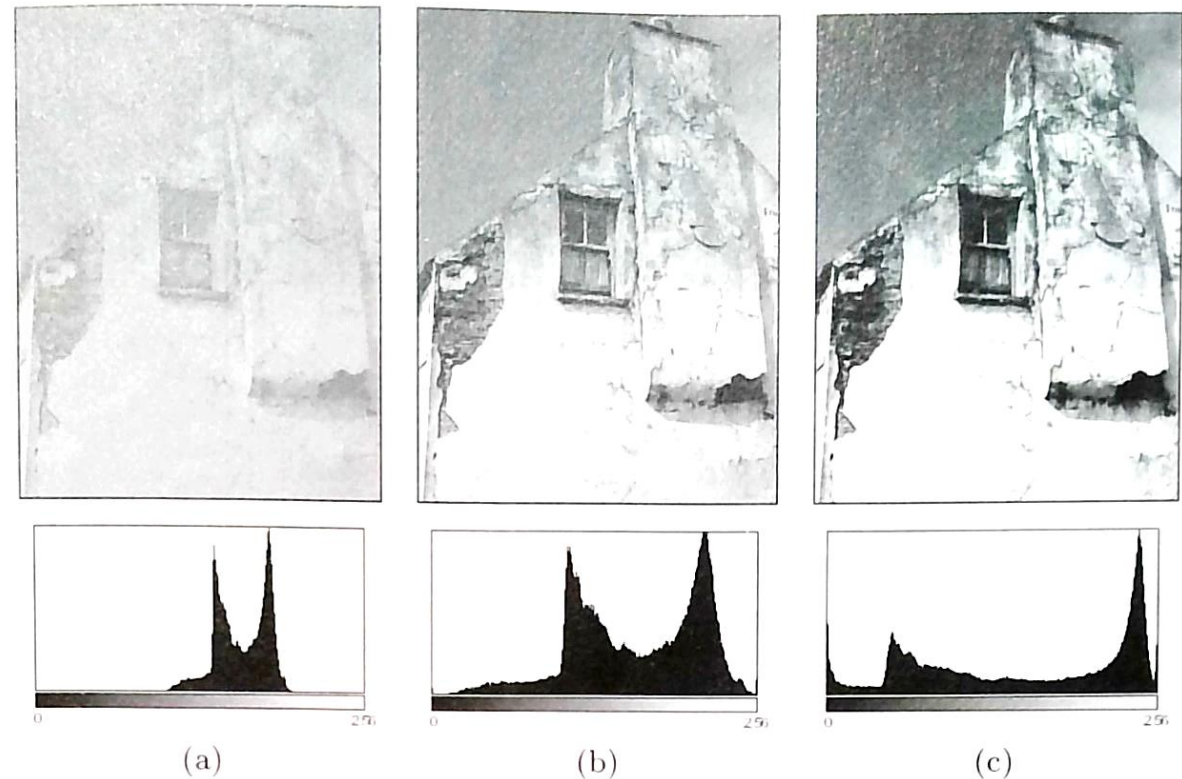
# Histogramme

## Kontraste<sup>\*)</sup>

Als Kontrast bezeichnet man den Bereich zwischen dem minimal und maximal im Bild vorhanden Grauwert. Ein Bild mit vollem Kontrastumfang nutzt also den gesamten Bereich an Intensitätswerten aus.

Zur Bewertung des Kontrasts kann man die Differenz zwischen maximalem und minimalem Intensitätswert bilden.

<sup>\*)</sup> Definitionen aus: W. Burger, M. J. Burge, „Digitale Bildverarbeitung“, Springer Verlag



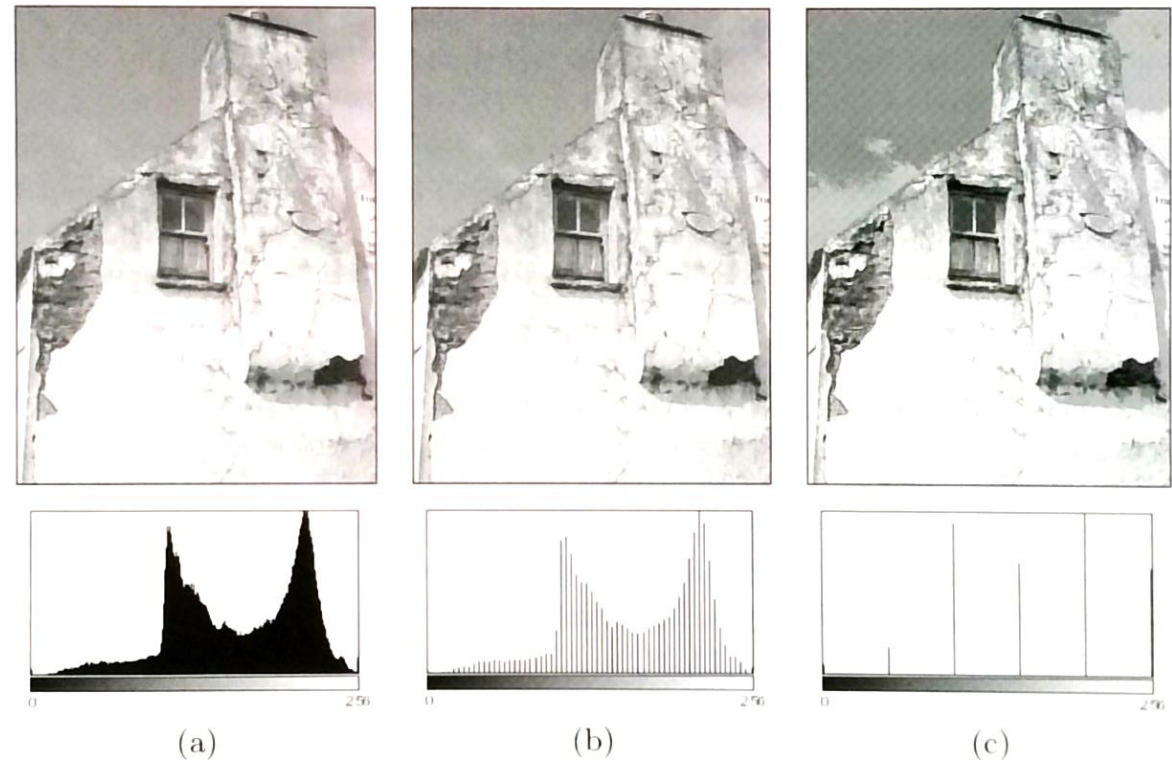
**Abb. 4.7.** Unterschiedlicher Kontrast und Auswirkungen im Histogramm: niedriger Kontrast (a), normaler Kontrast (b), hoher Kontrast (c).



# Histogramme

## Dynamik<sup>\*)</sup>

Unter Dynamik versteht man die Anzahl an verschiedenen Intensitätswerten, die in einem Bild genutzt werden. Im Idealfall ist jede Graustufe im Bild vorhanden.



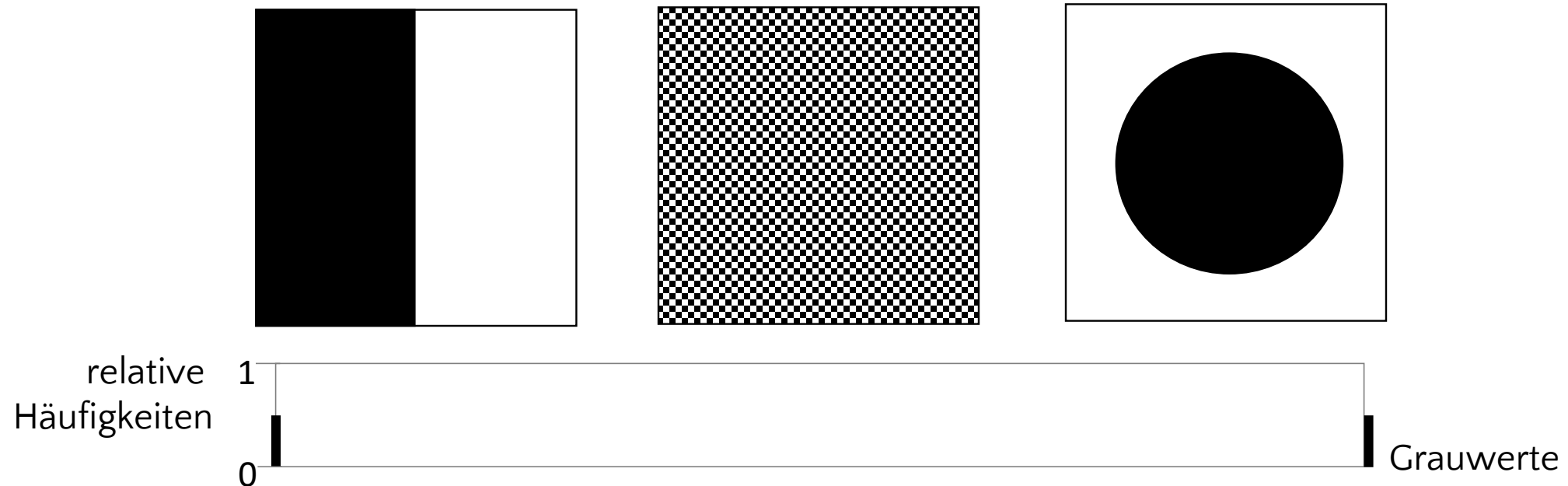
<sup>\*)</sup> Definitionen aus: W. Burger, M. J. Burge, „Digitale Bildverarbeitung“, Springer Verlag

**Abb. 4.8.** Unterschiedliche Dynamik und Auswirkungen im Histogramm. Hohe Dynamik (a), niedrige Dynamik mit 64 Intensitätswerten (b), extrem niedrige Dynamik mit nur 6 Intensitätswerten (c).

# Histogramme

Auch ein Maß zur Beurteilung der Bildinhalte?

Wie sieht die relative Häufigkeitsverteilung in den Histogrammen der drei Bilder aus?



Die Histogramme aller drei Bilder sehen gleich aus: Es gibt genauso viele schwarze wie weiße Pixel



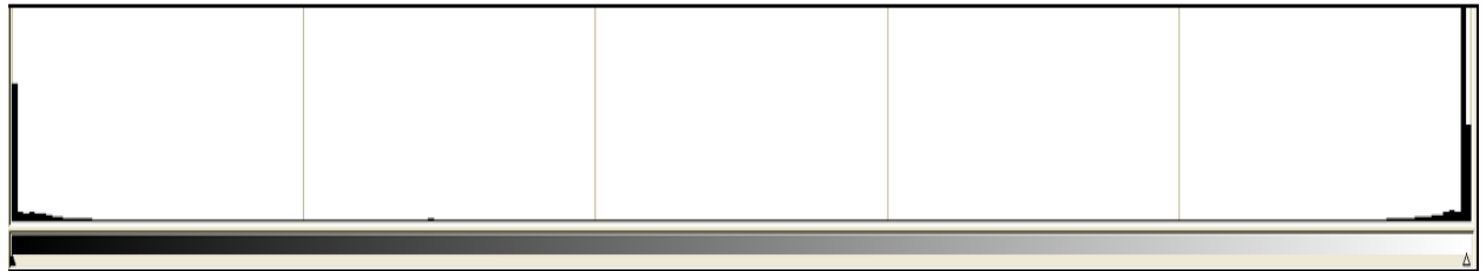
# Histogramme

Die Auswirkungen einer JPEG-Kompression<sup>\*)</sup> sind im Histogramm erkennbar

Histogramm damit *kein* Maß zur Beurteilung von Bildinhalten, aber Bildmanipulationen damit ggfs. erkennbar



Bild besteht nur aus  
schwarzen u. weißen Pixeln



Durch die JPEG-Komprimierung sind weitere Grauwerte hinzugekommen

<sup>\*)</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Diskrete\\_Kosinustransformation](https://de.wikipedia.org/wiki/Diskrete_Kosinustransformation)

# Histogramme

Durch eine Verringerung des Kontrastumfangs können Histogrammspitzen entstehen

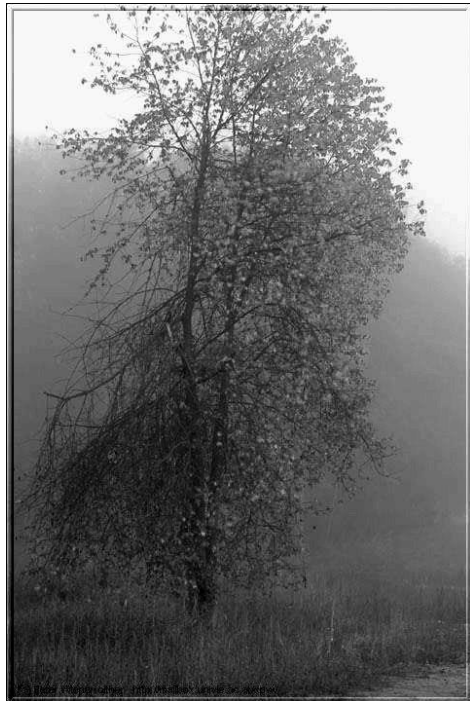


Bild mit vollem Kontrast- und Dynamikumfang

Transformation des  
Grauwertbereichs

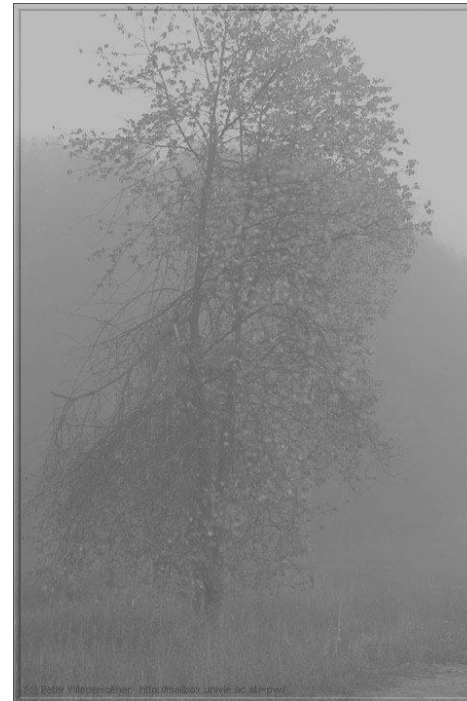
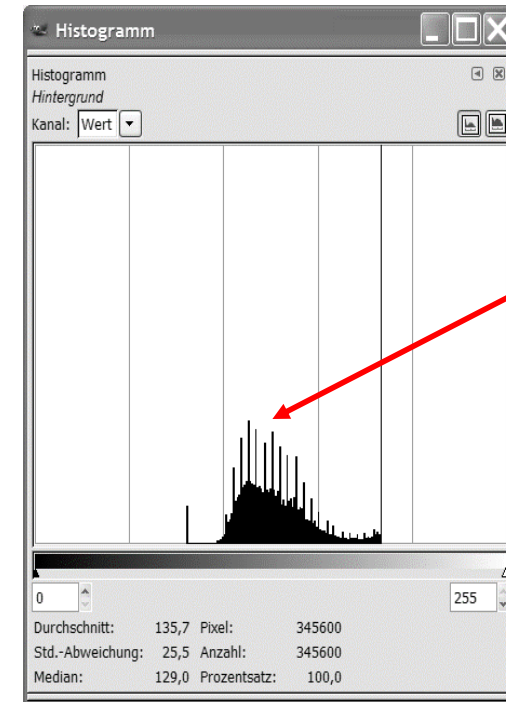


Bild mit eingeschränktem Kontrast- und Dynamikumfang



Histogramm des rechten Bildes

Histogramm-  
spitzen

# Punktoperatoren

## Punktoperationen

- Bezeichnen Operationen auf Bildern, die pixelweise berechnet werden
- Werte benachbarter Pixel werden von den Operatoren nicht genutzt
- Größe und Geometrie des Bildes wird nicht verändert

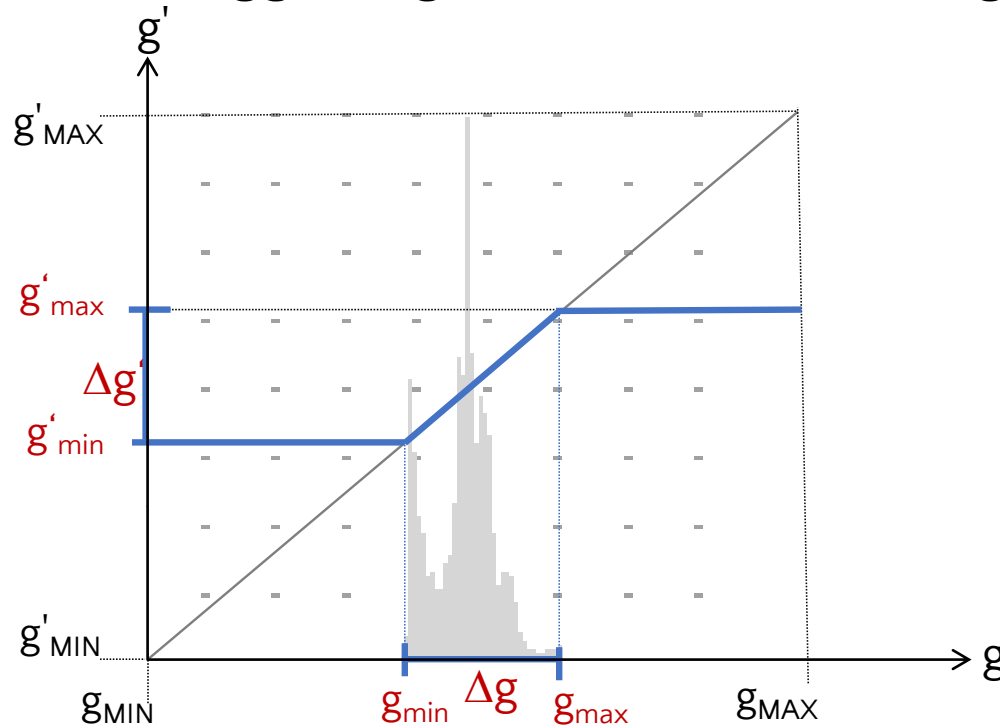
## Mögliche Punktoperationen sind z.B.

- Änderung der Bildhelligkeit
- Invertieren eines Bildes
- Änderung des Kontrasts
- Binarisierung durch Schwellwertbildung
- Gamma-Korrektur
- Farbtransformationen



# Das $gg'$ Diagramm

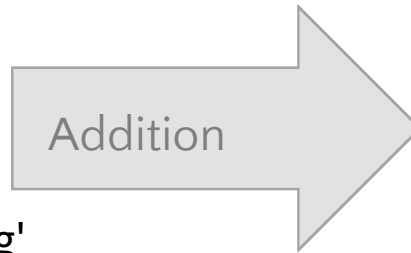
- Eine effektive Darstellungsform für Punktoperatoren ist das  $gg'$ -Diagramm, das die Grauwerte des Eingabebildes auf die Grauwerte des Ausgabebildes abbildet
- Oft wird das  $gg'$ -Diagramm mit dem Histogramm des Eingabebildes verknüpft



- $g_{\min}$  und  $g_{\max}$  sind die minimal und maximal im Eingabebild vorhandenen Grauwerte
- $g_{\min}$  und  $g_{\max}$  sind die minimalen und maximalen Grauwerte, die zur Darstellung des Eingabebildes zur Verfügung stehen (i.d.R. 0 und 255)
- $g'_{\min}$  und  $g'_{\max}$  sowie  $g'_{\min}$  und  $g'_{\max}$  charakterisieren das Ausgabebild äquivalent

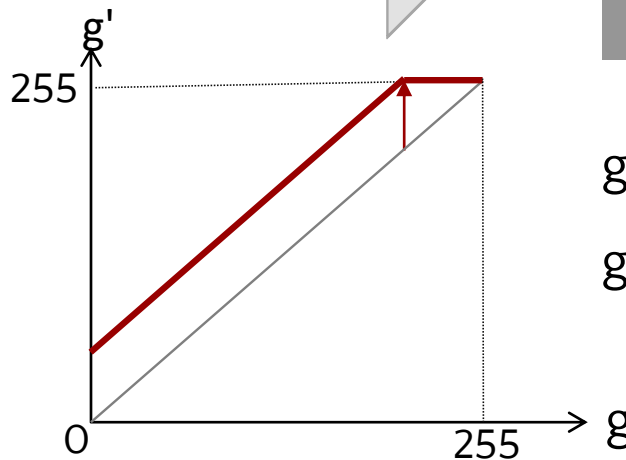
# Änderung der Bildhelligkeit

Aufhellen des Bildes durch die Addition eines Wertes  $> 0$



Das Bild wird heller, wenn die Abbildungsfunktion oberhalb der Winkelhalbierenden verläuft.

Punktoperationen  
dargestellt im  $gg'$ -Diagramm

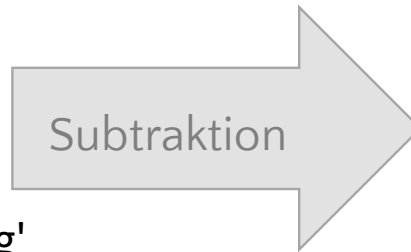


$$g(x, y) \leq 205 \text{ dann } g'(x, y) = g(x, y) + 50$$

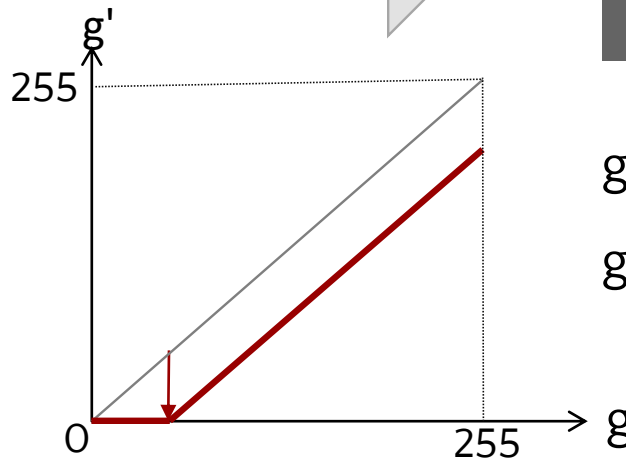
$$g(x, y) > 205 \text{ dann } g'(x, y) = 255$$

# Änderung der Bildhelligkeit

Abdunkeln des Bildes durch die Subtraktion eines Wertes  $> 0$



Das Bild wird dunkler, wenn die Abbildungsfunktion unterhalb der Winkelhalbierenden verläuft.



$$g(x, y) \geq 50 \quad \text{dann} \quad g'(x, y) = g(x, y) - 50$$

$$g(x, y) < 50 \quad \text{dann} \quad g'(x, y) = 0$$

# Bild Invertieren



$$g'(x, y) = g_{\text{MAX}} - g(x, y)$$

$$\rightarrow h(g'_i) = h(g_{\text{MAX}-i})$$

Invertierung

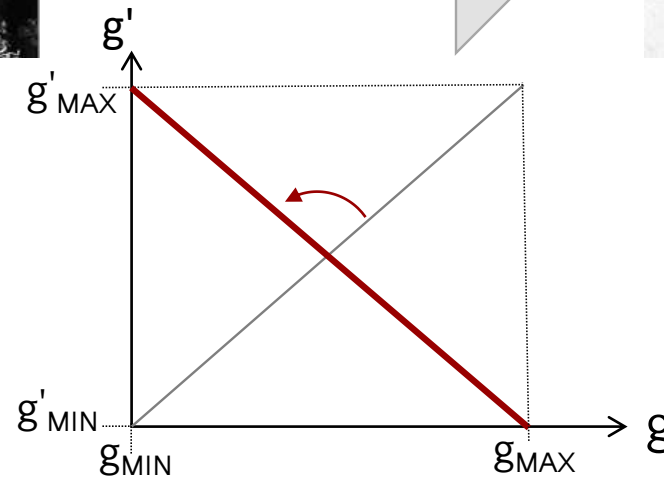
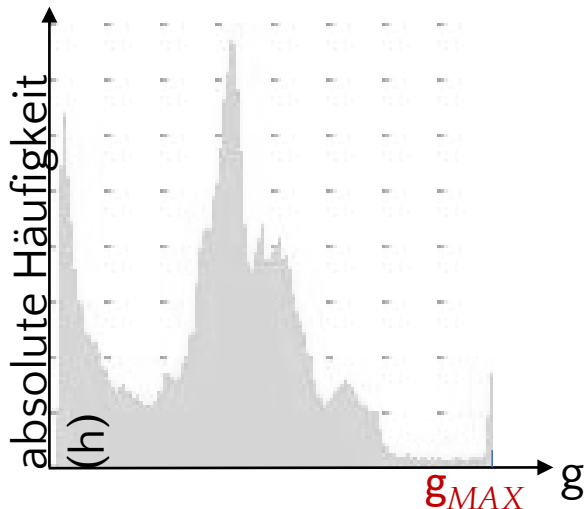
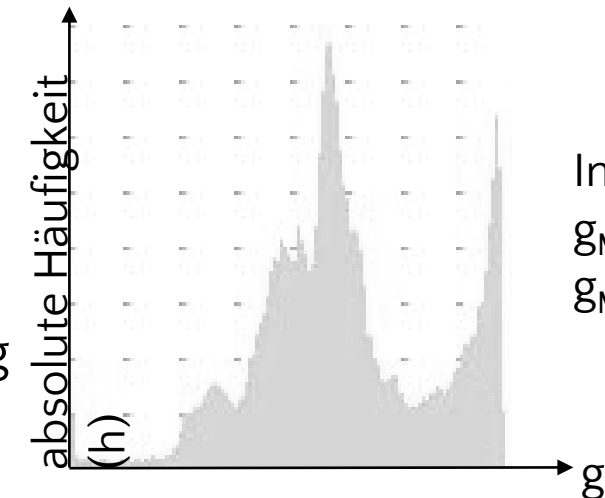


Bild wird invertiert bei negativer Steigung der Abbildungsfunktion



In diesem Fall ist:

$$g_{\text{MAX}} = g'_{\text{MAX}}$$

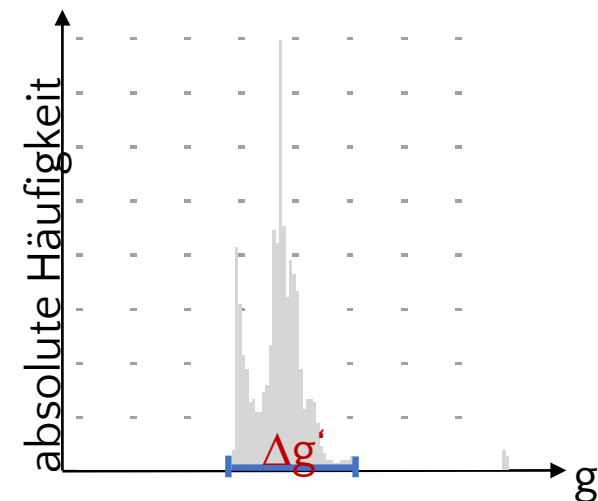
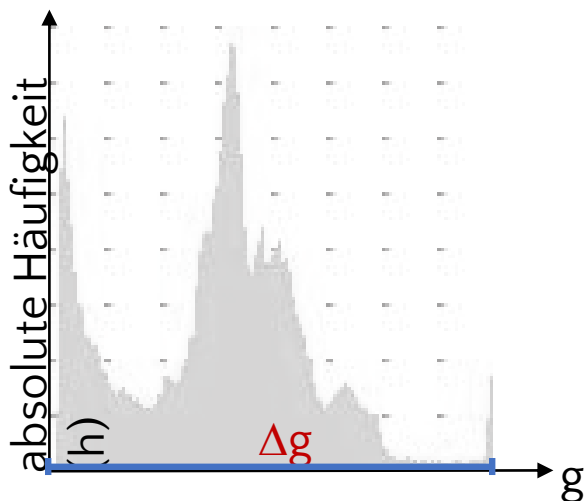
$$g_{\text{MIN}} = g'_{\text{MIN}}$$



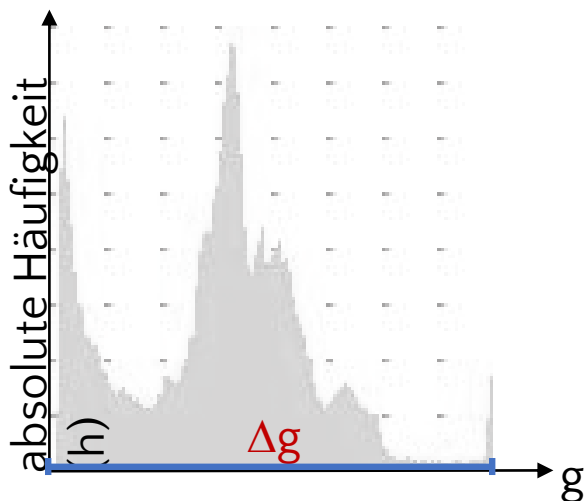
# Kontrast Ändern



Änderung des  
Kontrasts



# Kontrast Ändern



Reduktion des  
Kontrasts

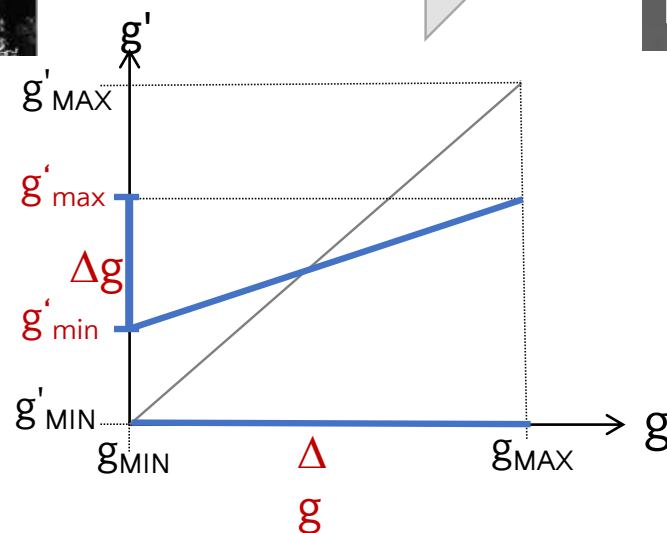
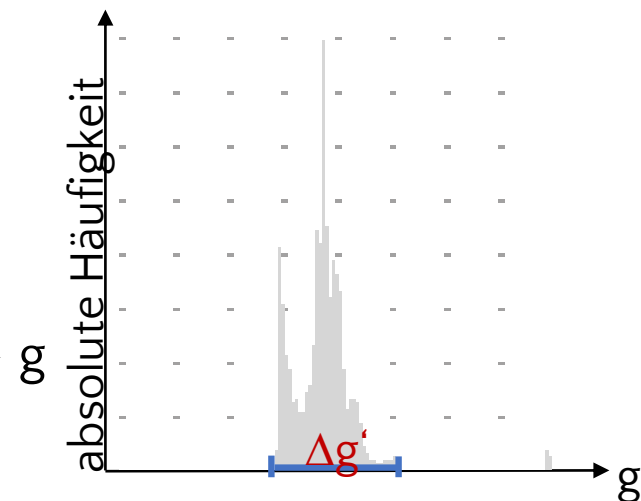
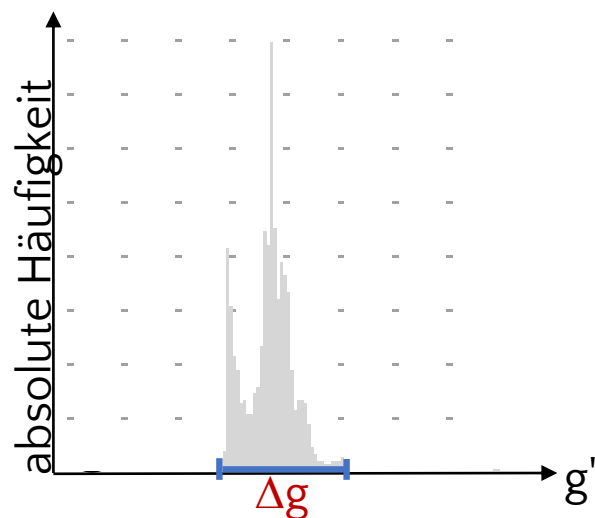


Bild wird kontrastärmer, wenn  
Steigung der Abbildungsfunktion  $< 1$

# Kontrast Ändern



Verbesserung  
des Kontrasts

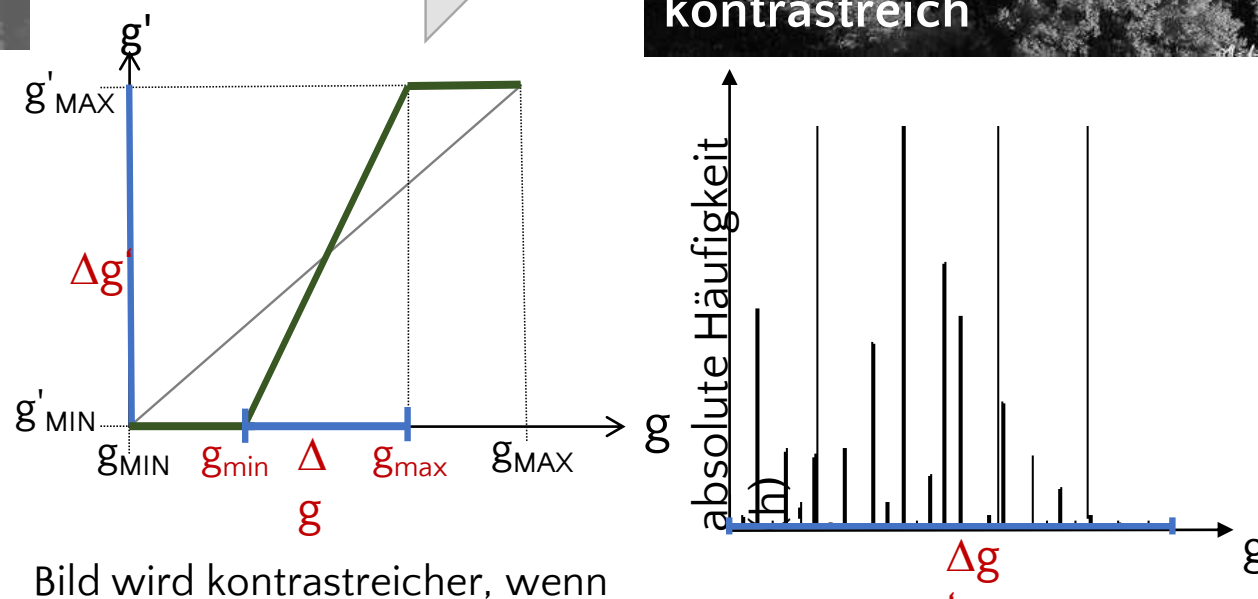
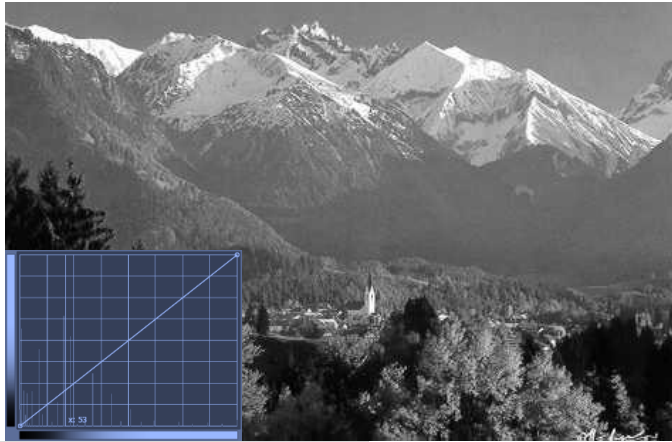


Bild wird kontrastreicher, wenn  
Steigung der Abbildungsfunktion  $> 1$

# Nichtlineare Operationen

$g'$  = Grauwerte des  
Ausgabebilds



Lineare Änderung  
der Grauwerte

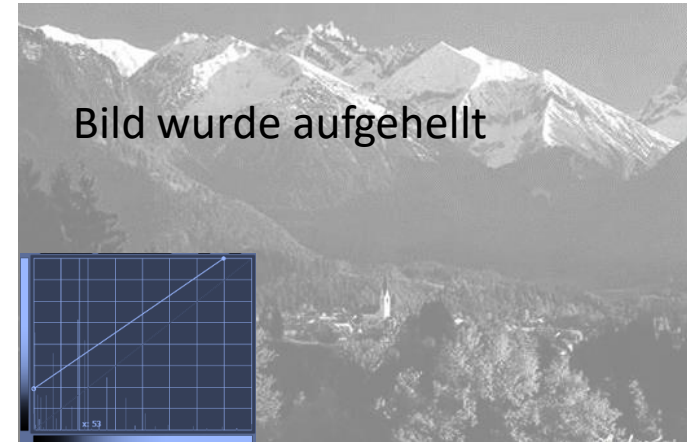
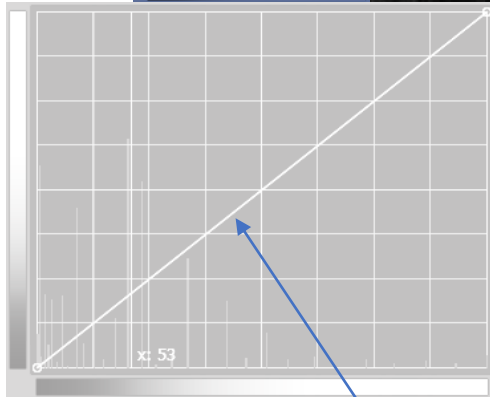


Bild wurde aufgehellt



$gg'$ -Diagramm

$g$  = Grauwerte des  
Eingabebilds

Funktion, die Eingabebild  
auf Ausgabebild abbildet

Nichtlineare Änderung  
der Grauwerte

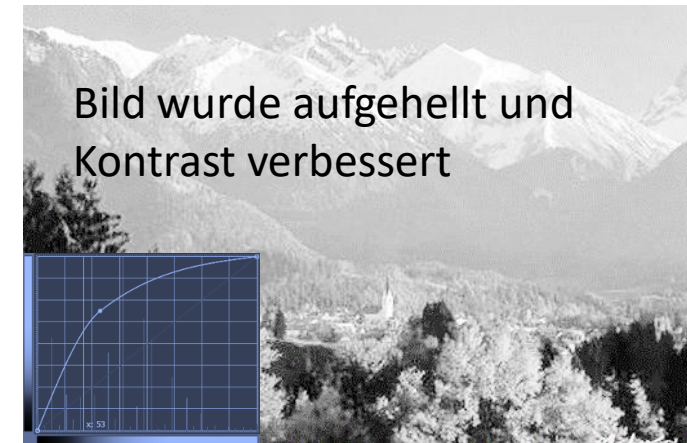
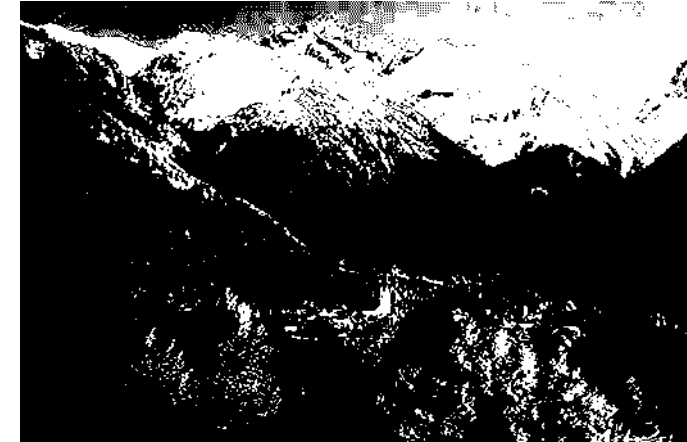


Bild wurde aufgehellt und  
Kontrast verbessert

# Binarisierung durch Schwellwertbildung



Binarisierung mit  
Schwellwert  $g_s = 127$



$$g'(x, y) = 0 \text{ wenn } g(x, y) < g_s$$

$$g'(x, y) = 1.0 \text{ oder } 255 \text{ wenn } g(x, y) \geq g_s$$

Binarisierung mit  
Schwellwert  $g_s = 180$

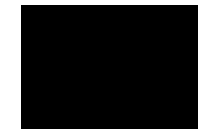


# Binarisierung

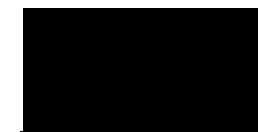
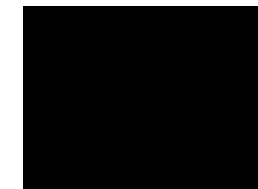


$$g'(x, y) = 0 \text{ wenn } g(x, y) < g_s$$
$$g'(x, y) = 1.0 \text{ oder } 255 \text{ wenn } g(x, y) \geq g_s$$

Binarisierung mit  
Schwellwert 112



Binarisierung mit  
Schwellwert 130

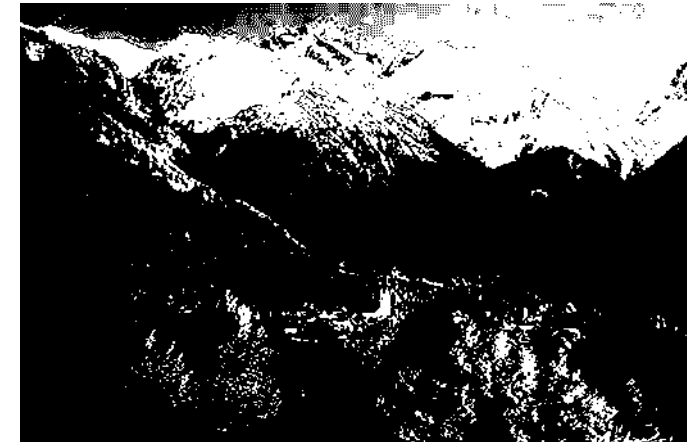




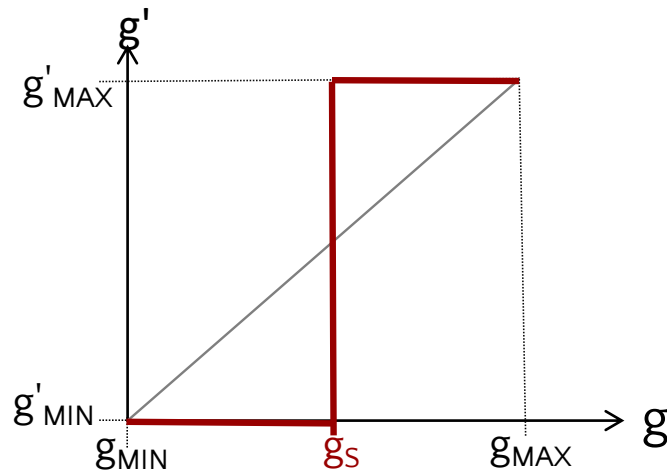
# Binarisierung



Binarisierung mit  
Schwellwert  $g_s = 127$



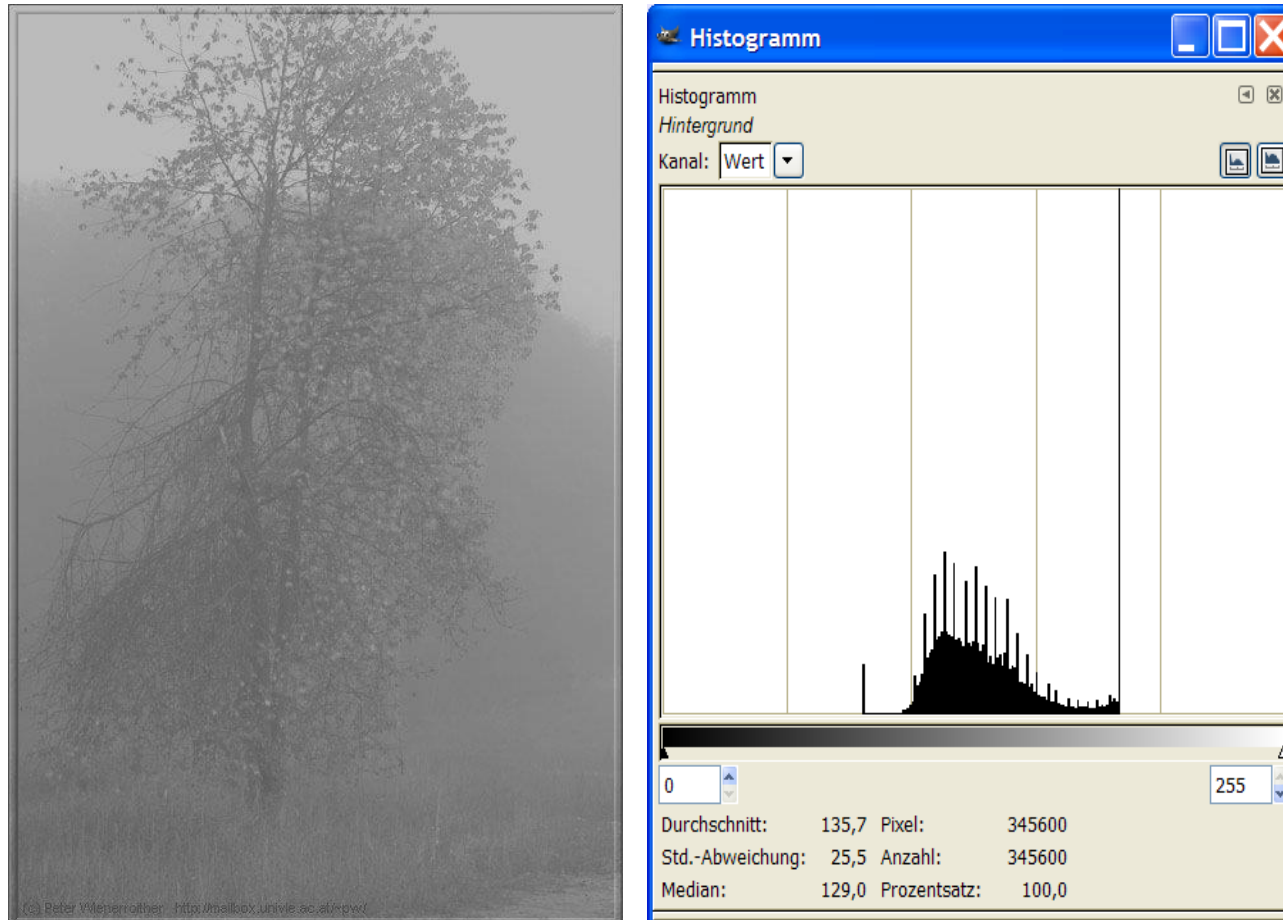
Binarisierung mit  
Schwellwert  $g_s = 180$



Durch Binarisierung kann Bild in  
Bildvordergrund (defaultmäßig  
weiß) u. Hintergrund (schwarz)  
zerlegt werden



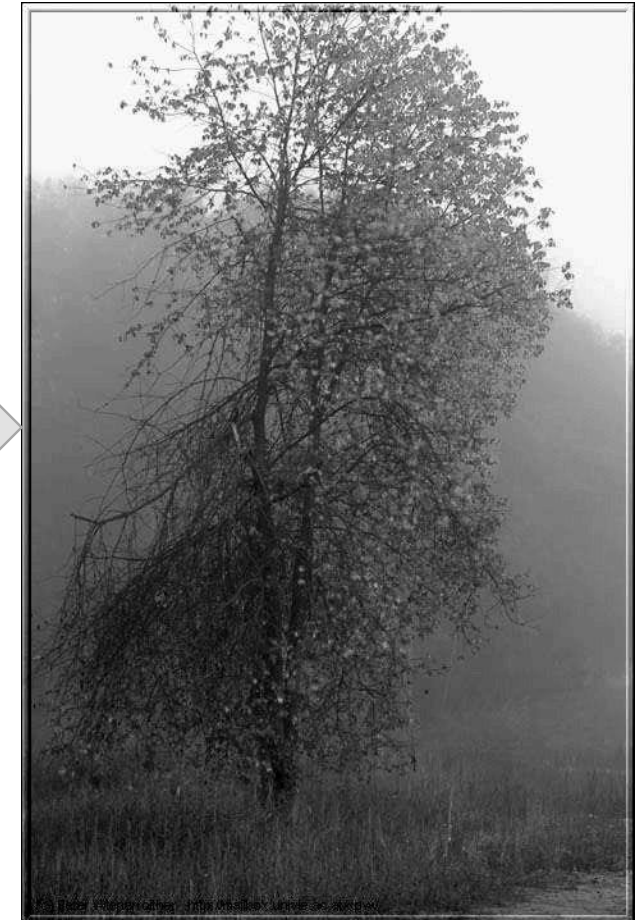
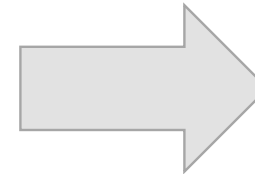
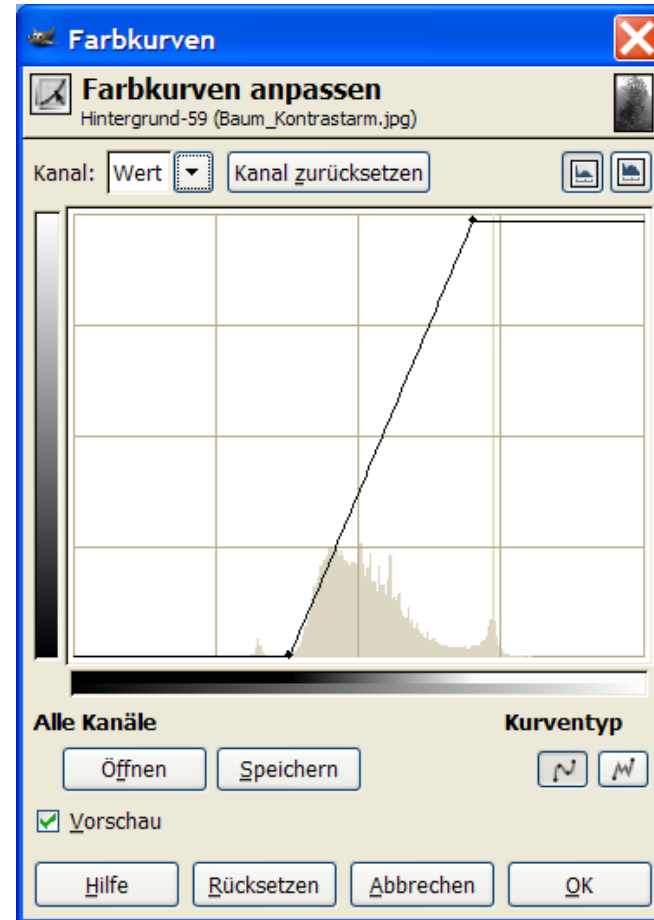
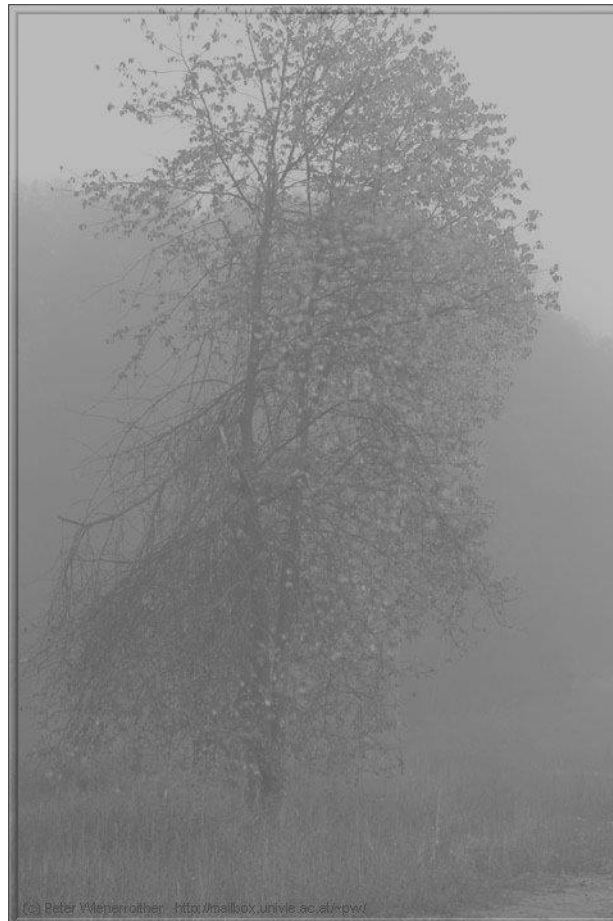
# Beispiel Bildbearbeitung



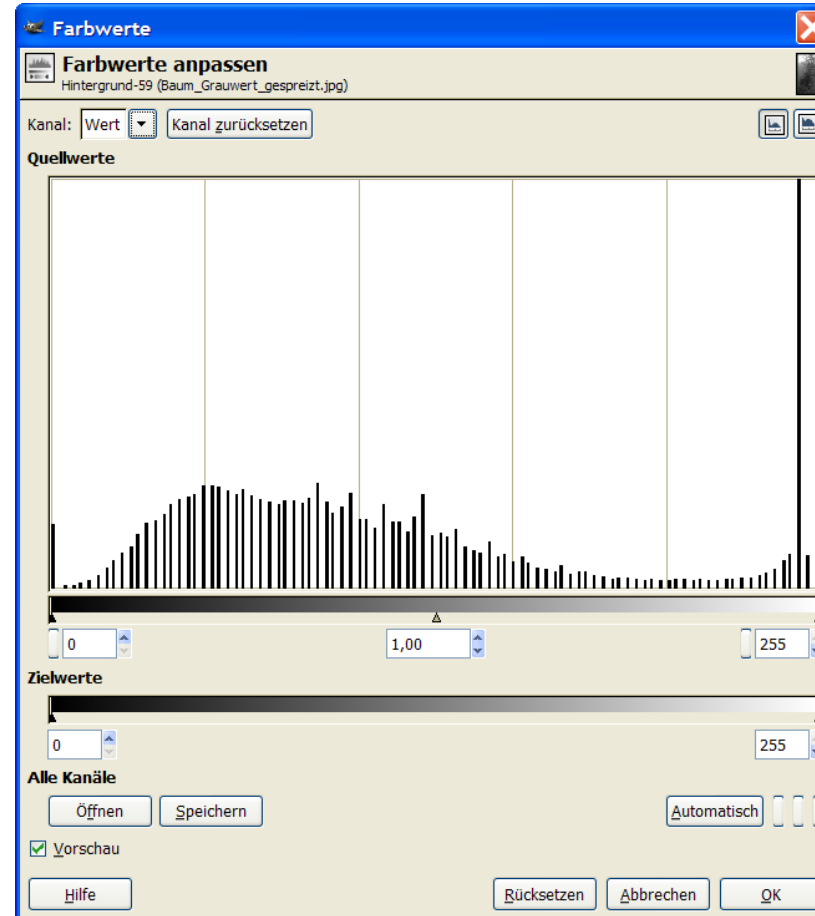
Ausgangssituation:  
Kontrastarmes Bild, dessen Grauwerte  
alle im mittleren Bereich liegen

Aufnahmen sollten so aufbereitet werden, dass  
man den maximal verfügbaren Farbraum nutzt,  
möglichst ohne die Bilddaten zu verfälschen.  
Daten werden verfälscht, wenn Bildinformationen  
hinzugefügt oder weggelöscht werden.

# Beispiel Bildbearbeitung

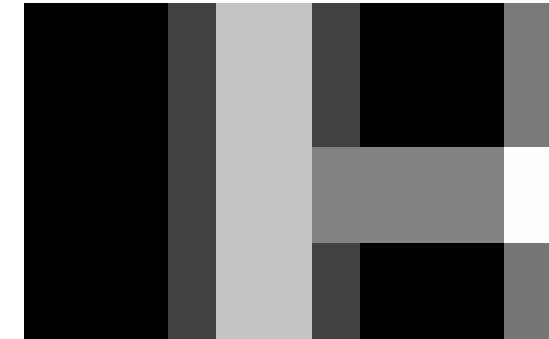


# Beispiel Bildbearbeitung

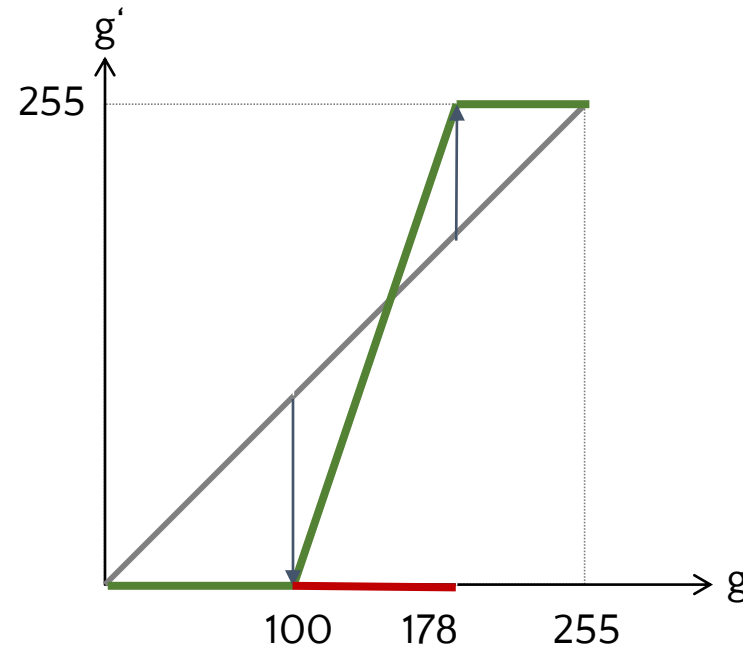


- Die Grauwerte des kontrastarmen Bildes wurden gleichmäßig auf zur Verfügung stehendes Grauwertintervall verteilt
- Jedem Pixel des Eingabebilds wurden durch lineare Grauwerttransformation, auf Basis des Grauwertes  $g$ , ein neuer Grauwert  $g'$  zugeordnet
- Damit scheint die Bildinformation nicht verfälscht worden zu sein
- Ob das wirklich so ist können wir nur überprüfen, wenn wir wissen, wie die Berechnung der Grauwerttransformation durchgeführt wird

# Kontrastpreizung



Lineare Grauwerttransformation  
wird durch Geradengleichung  
beschrieben:  $g' = m \cdot g + b$



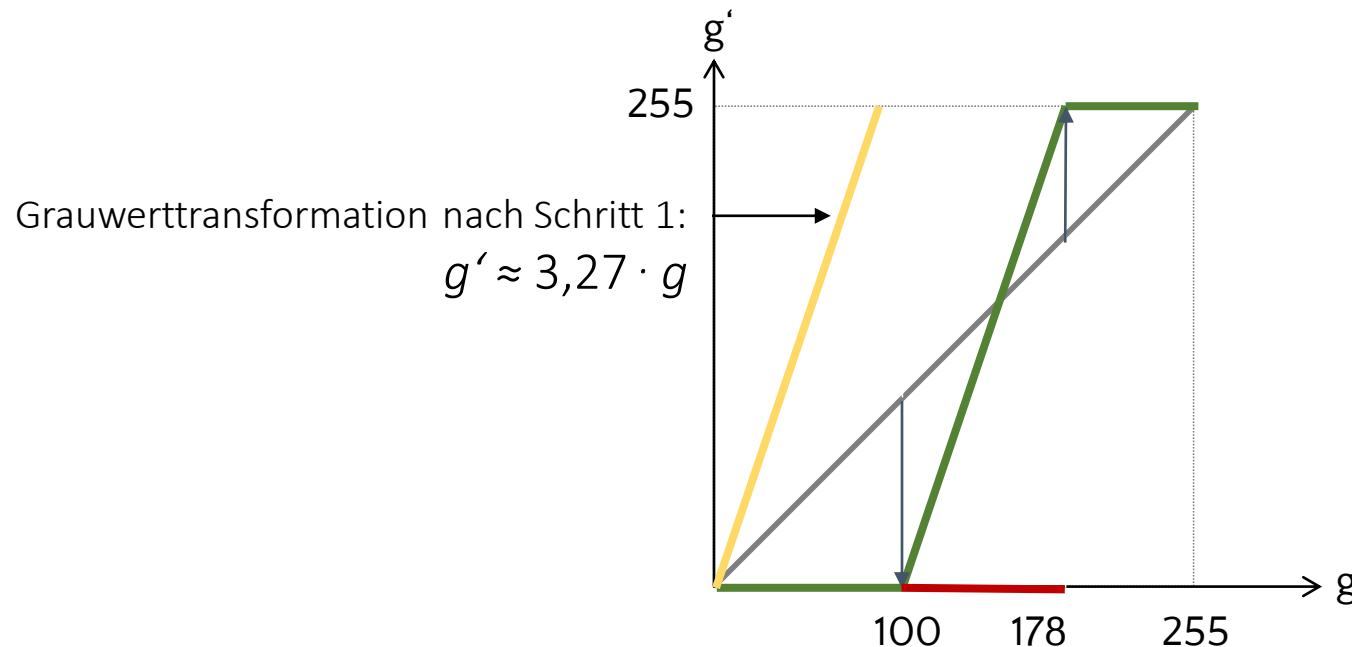
1. Schritt: Steigung  $m$  wird berechnet  
Allgemein formuliert (hier  $g' = m \cdot g$ ):

$$g'_m(i, j) = g(i, j) \cdot \frac{g'_{MAX} - g'_{MIN}}{g_{max} - g_{min}}$$

Im Bsp.:  $g'_{MAX}=255$ ,  $g'_{MIN}=0$ ,  $g_{max}=178$ ,  $g_{min}=100$

# Kontrastpreizung

- Lineare Grauwerttransformation



1. Schritt: Steigung  $m$  wird berechnet

Allgemein formuliert (hier  $g'_m = m \cdot g$ ):

$$g'_m(i, j) = \frac{g'_{MAX} - g'_{MIN}}{g_{max} - g_{min}} \cdot g(i, j)$$

Im Bsp.:  $g'_{MAX}=255$ ,  $g'_{MIN}=0$ ,  $g_{max}=178$ ,  $g_{min}=100$

Die Steigung  $m$  der linearen Grauwerttransformation  $g' = m \cdot g$  beträgt also:

$$m = (255 - 0) / (178 - 100) \approx 3,27$$

# Kontrastpreizung

- Allgemein:

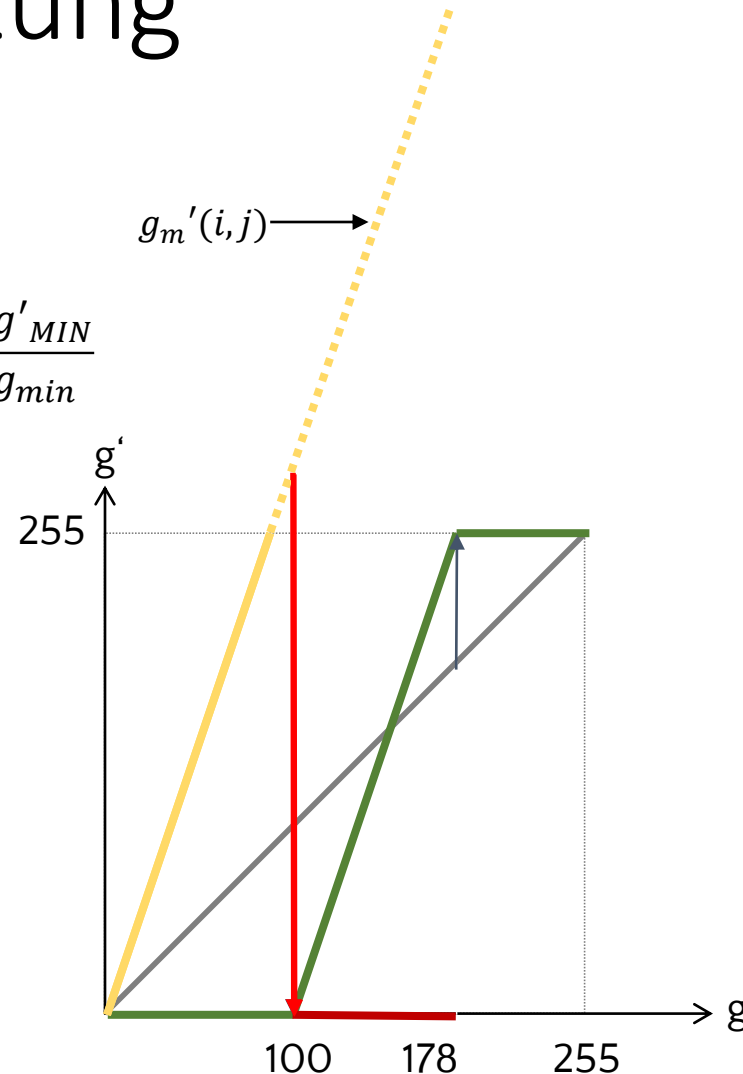
$$g'(i, j) = (g(i, j) - g_{min}) \cdot \frac{g'_{MAX} - g'_{MIN}}{g_{max} - g_{min}}$$

Allgemeines Problem:

Umrechnung zw. unterschiedlichen Wertebereichen, d.h. Abbildung von Bereich  $[a, b]$  auf  $[c, d]$

→ Window-Viewport-Transformation

- Zu überprüfen: Wird hierdurch die Bildinformation verfälscht?



2. Schritt: y-Achsenabschnitt  $b$  durch Subtraktion des Abstands  $m \cdot g_{min}$  von Gerade  $g'_m = m \cdot g$

$$b = -g_{min} \cdot \frac{g'_{MAX} - g'_{MIN}}{g_{max} - g_{min}}$$

In unserem Fall:  $g' = m \cdot g - (100 \cdot m)$

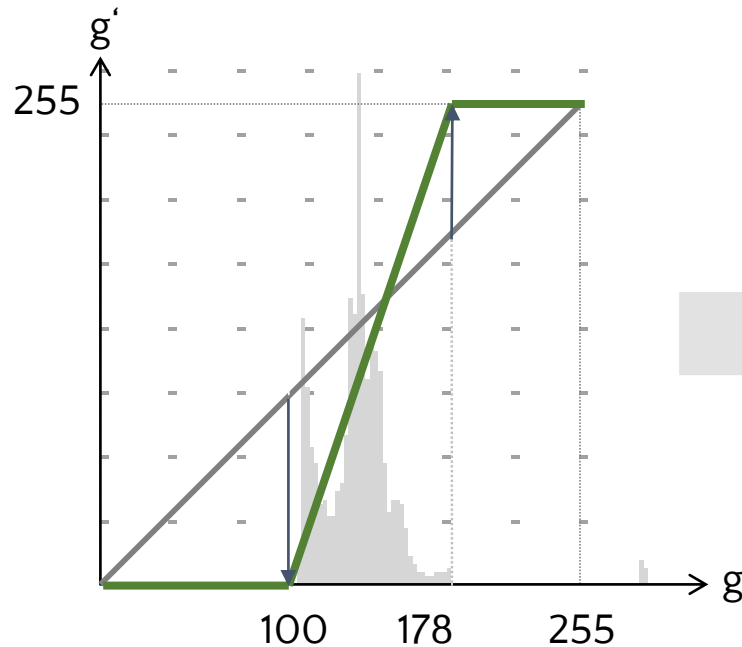
Lineare Grauwerttransformation damit:

$$g' \approx 3,27 \cdot g - 327$$

Mit  $g' = 0$  für  $g < 100$  u.  $g' = 255$  für  $g > 178$



# Kontraststreckung



Lineare Grauwerttransformation:  
 $g' = 3,27 \cdot g - 327$

Mit  $g' = 0$  für  $g < 100$  und  
 $g' = 255$  für  $g > 178$

$g$	$g'$	darstellbarer Grauwert
100	0	0
101	3,27	3
102	6,54	7
...	...	...
139	127,53	128
...	...	...
176	248,52	249
177	251,79	252
178	255,06	255

Berechnen der linearen Grauwerttransformation für die Grauwerte des Eingabebilds, die zwischen  $g_{\min}$  u.  $g_{\max}$  liegen

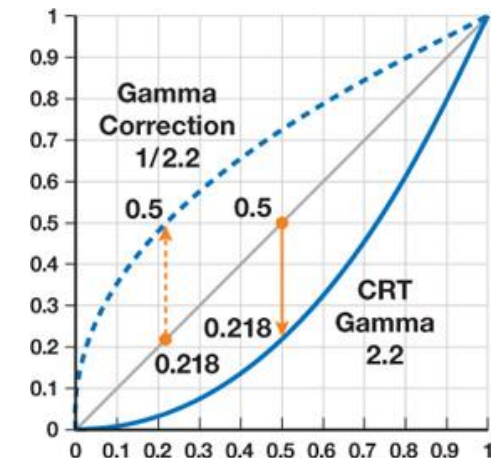
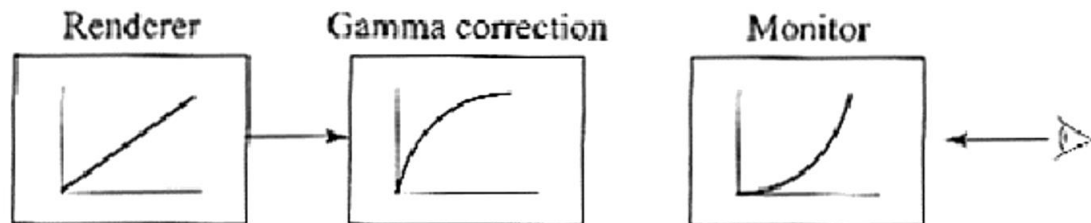
**Ziel:** überprüfen, ob zwei Grauwerte auf einen abgebildet werden

- Wenn zwei Grauwerte auf einen Grauwert abgebildet werden, geht Bildinformation verloren, die nicht mehr rekonstruiert werden kann
- Bei unserer Kontraststreckung kann eine Bildverfälschung ausgeschlossen werden, da keine zwei Grauwerte auf einen Grauwert abgebildet werden
- Kein allgemeingültiger Beweis, aber starkes Indiz, dass Kontrastverstärkung Bildinhalte nicht verfälscht und daher auch bei sensiblen Daten (z.B. medizin. Aufnahmen) genutzt werden darf



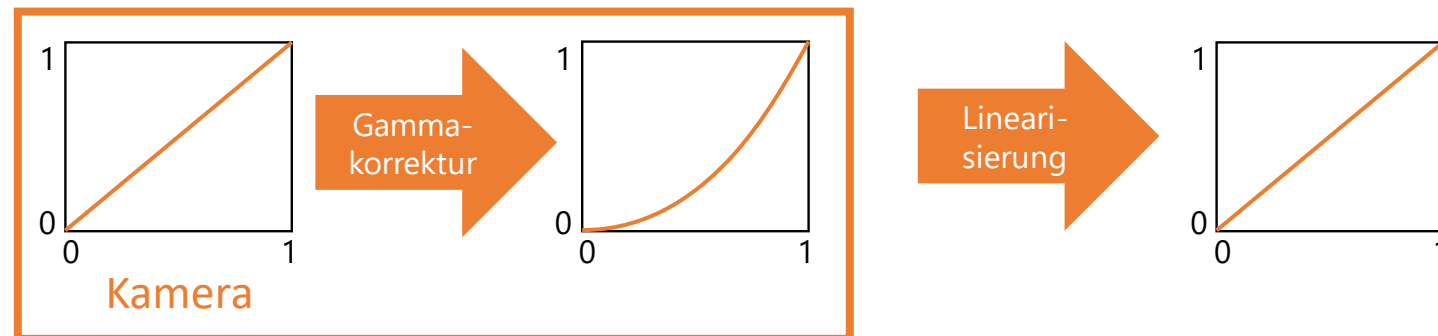
# Gammakorrektur

- Renderer besitzt lineare Intensitätscharakteristik
  - Lichttransport verhält sich linear
  - Monitore haben Nichtlinearität bei Helligkeitswiedergabe
    - $I^\gamma$  mit  $\gamma \in [2.0, 2.4]$  (für sRGB:  $\gamma = 2.2$ )
- Gammakorrektur kompensiert Nicht-Linearität
  - Dazu Farbwerte vor Ausgabe mit  $\frac{1}{\gamma} \approx 0.45$  potenzieren
    - Kalibriert nur Intensität, keine Farben
  - Rechnerisch billiger bei Annahme, dass  $\gamma \approx 2$



# Gammakorrektur

- Umgekehrtes Problem bei Bildern/Texturen
- Linearisierung der RGB-Werte
  - sRGB-bedingte Gammakorrektur meist schon in Bild (insbes. JPEG) enthalten
  - Invertieren, um lineare RGB-Werte zu erhalten
    - Dazu in Shader Texturwerte nach Lookup mit  $\gamma$  potenzieren
    - Damit RGB-Antwortkurve der Kamera proportional zu eingehender Bestrahlungsstärke





Bsp.: Sepia-Tonung

# Anhang: Farbtransformationen

Anwendungsbeispiel Farbtransfer von anderen Bildern (nach Reinhard et al., 2001)

# Farbtransformationen

- Anwendungs-Idee: Eigenschaften eines Bildes auf ein anderes Bild übertragen
  - Auf Eingabebild (Source) die Farbkomposition des Zielbildes (Target) übertragen
- Dazu Verfahren entwickeln, mit dem Farbgestaltung des Zielbildes (Target) erfasst u. auf Eingabebild (Source) übertragen werden kann
  - Dabei sollen Bildinhalte der Source im Ergebnisbild (Result) möglichst erhalten bleiben

T. Pouli, E. Reinhard: „Example-based color image manipulation and enhancement“, SIGGRAPH 2012 Courses, Example-based color image manipulation and enhancement | ACM SIGGRAPH 2012 Courses





# Farbtransformationen

- Zur Erfassung der Farbverteilung in Source und Target transformiert man beide Bilder in das Lab-Farbsystem
- Pro Lab-Farbkanal (L, a, b) erfasst man die mittlere Bildhelligkeit, entspricht dem durchschnittlichen Grauwert (Mittelwert als float)
- Streuung der Grauwerte um den Mittelwert im Histogramm (Standardabweichung s, float)

Reinhard et al.: "Color Transfer between Images",  
IEEE Computer Graphics and Applications 21(5), 2001



# Bsp.: Farbtransfer

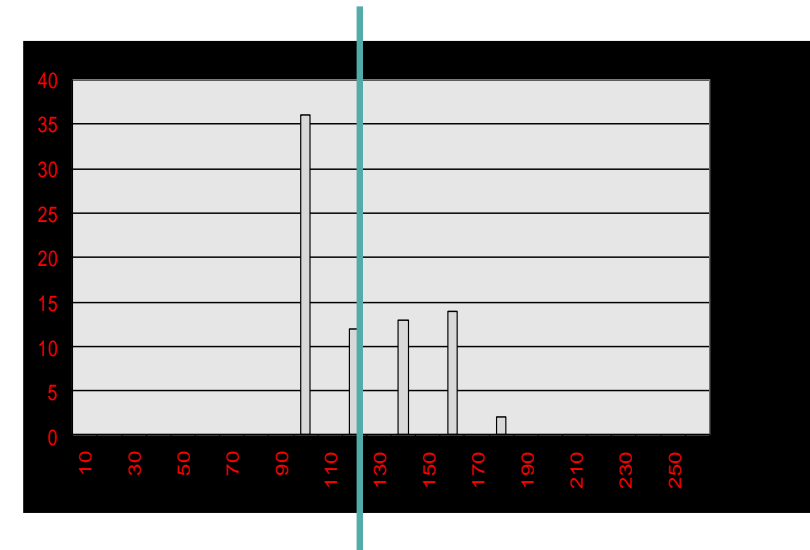
Berechnung der mittleren Bildhelligkeit durch Bildung des Mittelwerts:

Der Mittelwert ist der Durchschnittswert

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Mittelwert
Anzahl der Grauwerte
Grauwerte an der i. Stelle

Häufigkeit der Grauwerte



Grauwerte (x<sub>i</sub>)

Mittelwert (=mittlere Bildhelligkeit) x<sub>i</sub>: 122,857

Aus **DATA**tab: <https://datatab.de/tutorial/standardabweichung-varianz-spannweite>

# Bsp.: Farbtransfer

Standardabweichung ist abhängig vom Kontrastumfang des Bildes :

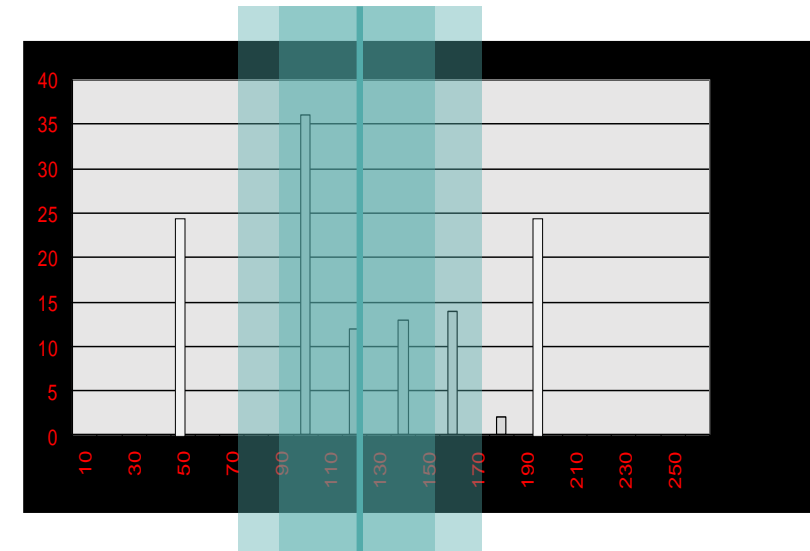
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Anzahl der Grauwerte

Grauwerte an der i. Stelle

Mittlere Bildhelligkeit = Mittelwert

Häufigkeit der Grauwerte



Grauwerte (x<sub>i</sub>)

Standardabweichung  $\sigma$ : ca. 50

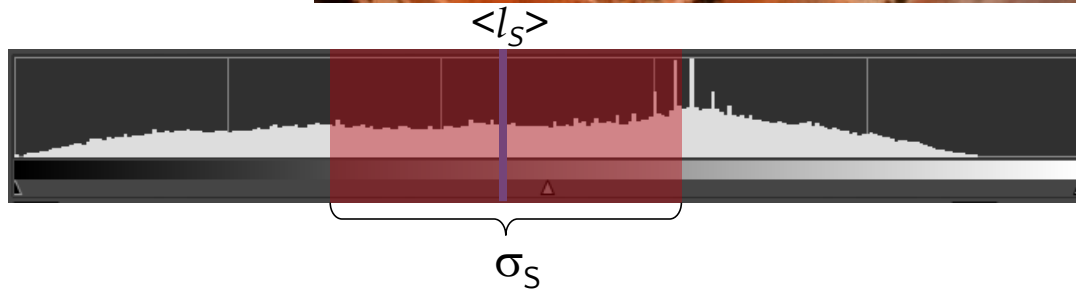
Aus **DATA**tab: <https://datatab.de/tutorial/standardabweichung-varianz-spannweite>



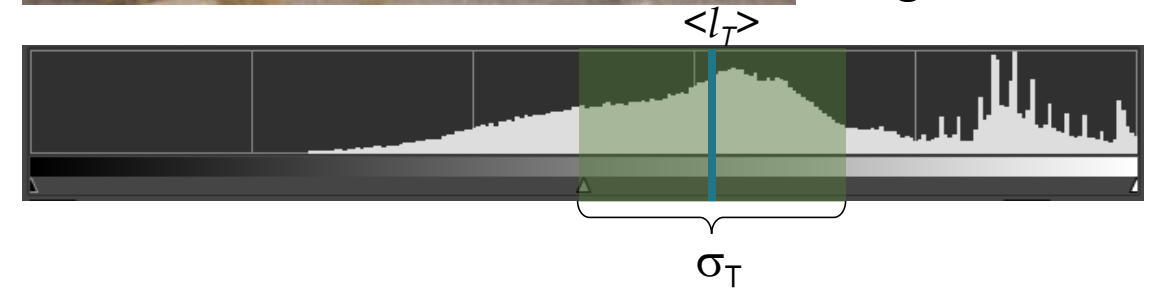
# Bsp.: Farbtransfer

1. Mittelwerte und Standardabweichung für die Lab-Kanäle der Source und des Target berechnen :

Source



Target



# Bsp.: Farbtransfer

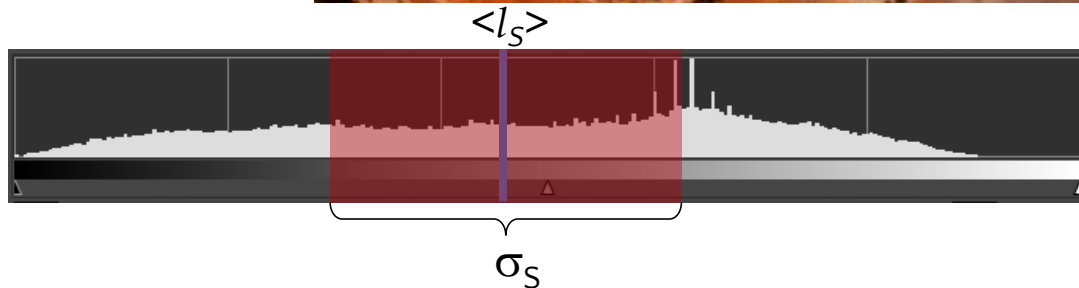
2. Die Mittelwerte  $\langle l_s \rangle$ ,  $\langle a_s \rangle$ ,  $\langle b_s \rangle$  der Source von Werten der entsprechenden Source-Kanäle abziehen :



$$l_s^* = l_s - \langle l_s \rangle$$

$$a_s^* = a_s - \langle a_s \rangle$$

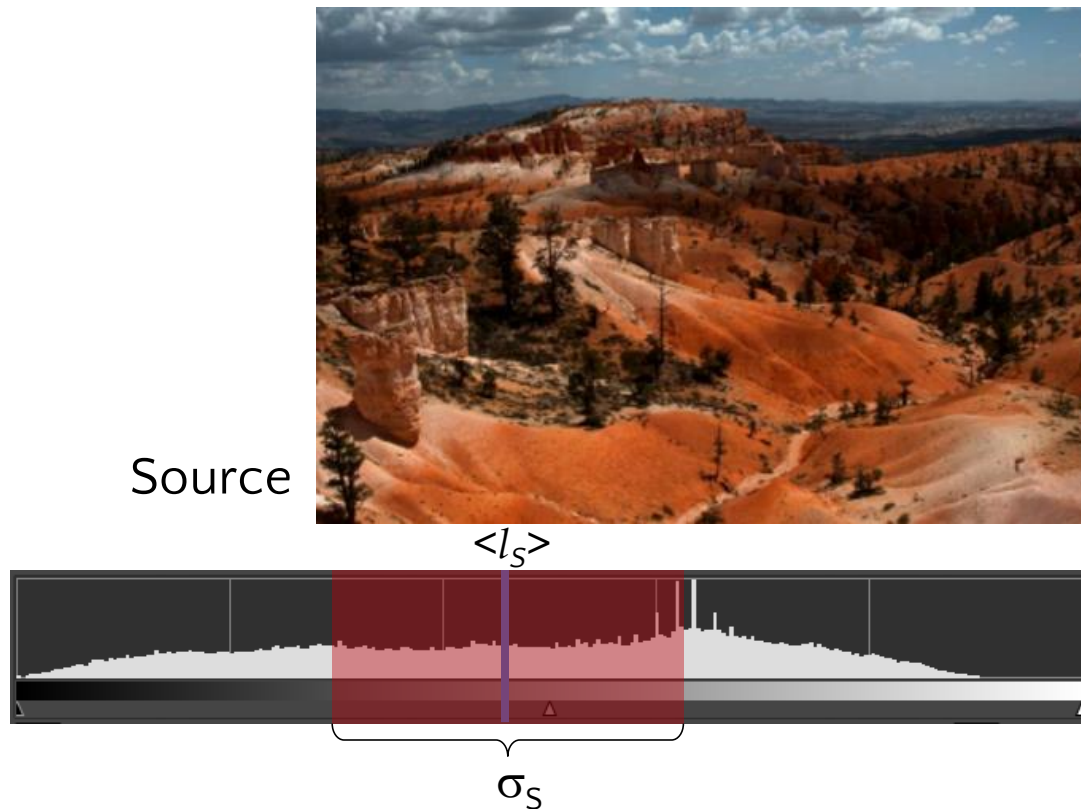
$$b_s^* = b_s - \langle b_s \rangle$$



- Alle Lab-Farbkanäle haben jetzt Mittelwert 0
- Die Grauwerte der Kanäle können nach dieser Subtraktion auch negativ sein

## Bsp.: Farbtransfer

3. Die durch Subtraktion transformierten Werte der Source mittels Standardabweichungen ( $\sigma_T/\sigma_S$ ) skalieren:



$$l'_S = \frac{\sigma_T^l}{\sigma_S^l} l^*$$

$$a'_S = \frac{\sigma_T^a}{\sigma_S^a} a^*$$

$$b'_S = \frac{\sigma_T^b}{\sigma_S^b} b^*$$

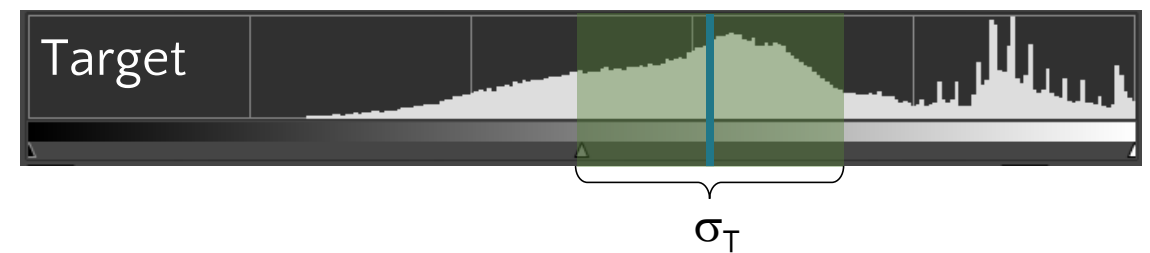
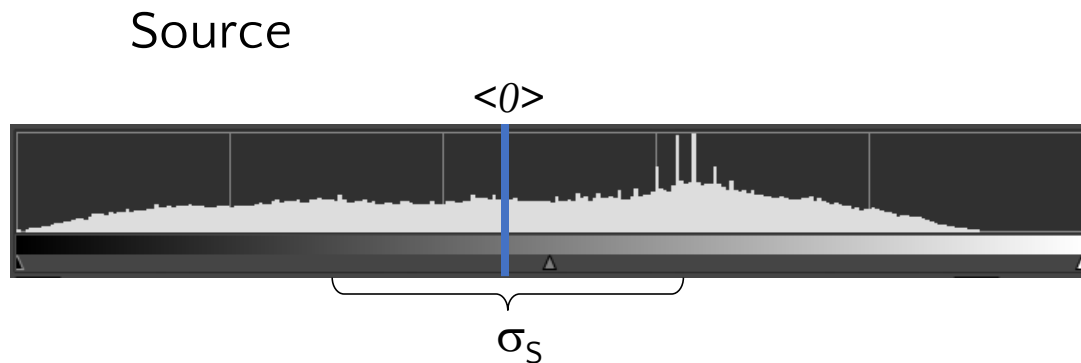
Reinhard et al.: "Color Transfer between Images", IEEE Computer Graphics and Applications 21(5), 2001

# Bsp.: Farbtransfer

## 3. Die durch Subtraktion transformierten Werte der Source mittels Standardabweichungen ( $\sigma_T/\sigma_S$ ) skalieren:

Durch die Skalierung wird der Kontrastbereich der Source dem Target-Bild angenähert

Diese Transformation findet in allen Lab-Farb-Kanälen statt. Die Mittelwerte aller Farbkanäle des Source-Bilds sind immer noch 0



# Bsp.: Farbtransfer

## 3. Die durch Subtraktion transformierten Werte der Source mittels Standardabweichungen ( $\sigma_T/\sigma_S$ ) skalieren:



$\langle 0 \rangle$

$\sigma_S$

Durch die Skalierung wird der Kontrastbereich der Source dem Target-Bild angenähert

Bild links, negative Werte schwarz dargestellt

Diese Transformation findet in allen Lab-Farb-Kanälen statt. Die Mittelwerte aller Farbkanäle des Source-Bilds sind immer noch 0



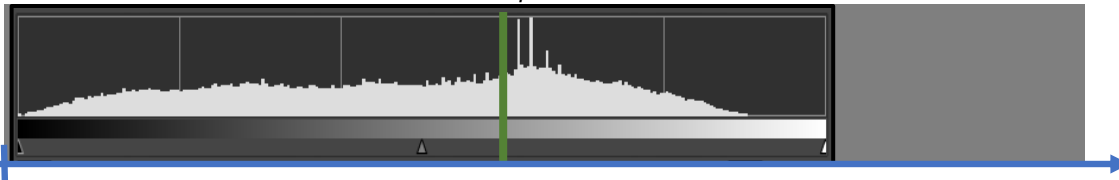
# Bsp.: Farbtransfer

4. Die Mittelwerte der jeweiligen Target-Kanäle auf passende transformierte Source-Kanäle (L, a, b) addieren:

Source



$\langle l_T \rangle$



Dadurch werden die Werte in den positiven Bereich verschoben und die Werte werden wieder darstellbar

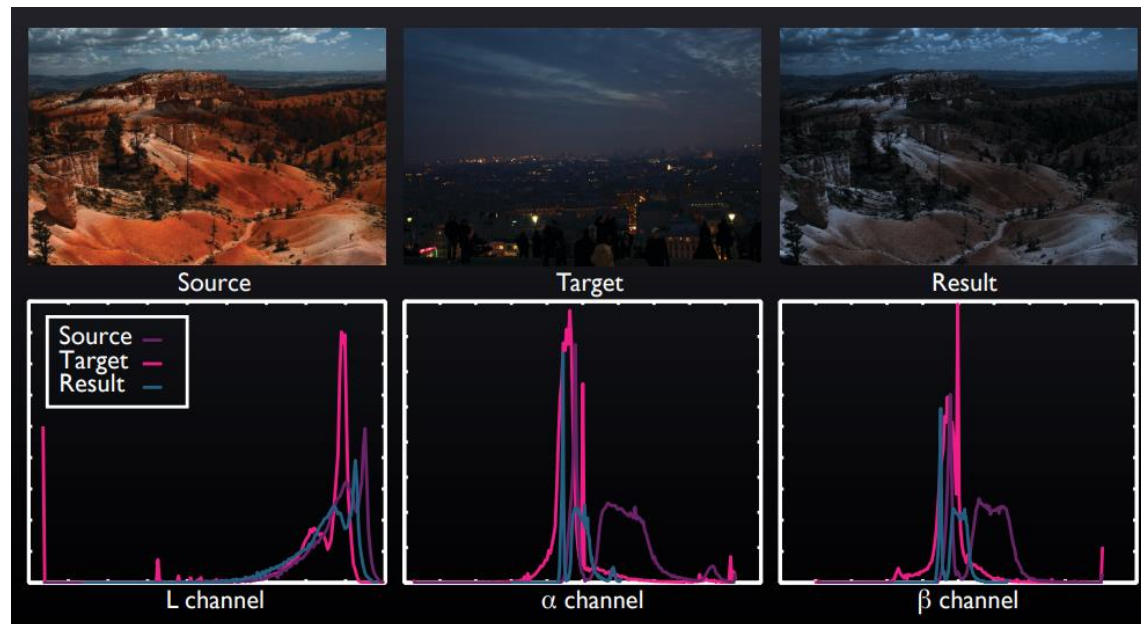
Falls es weiterhin negative Werte gibt, werden diese auf den Wert 0 abgebildet. Werte größer 255 werden auf 255 abgebildet

# Bsp.: Farbtransfer

$$f(\text{Source}, \text{Target}) =$$



Result

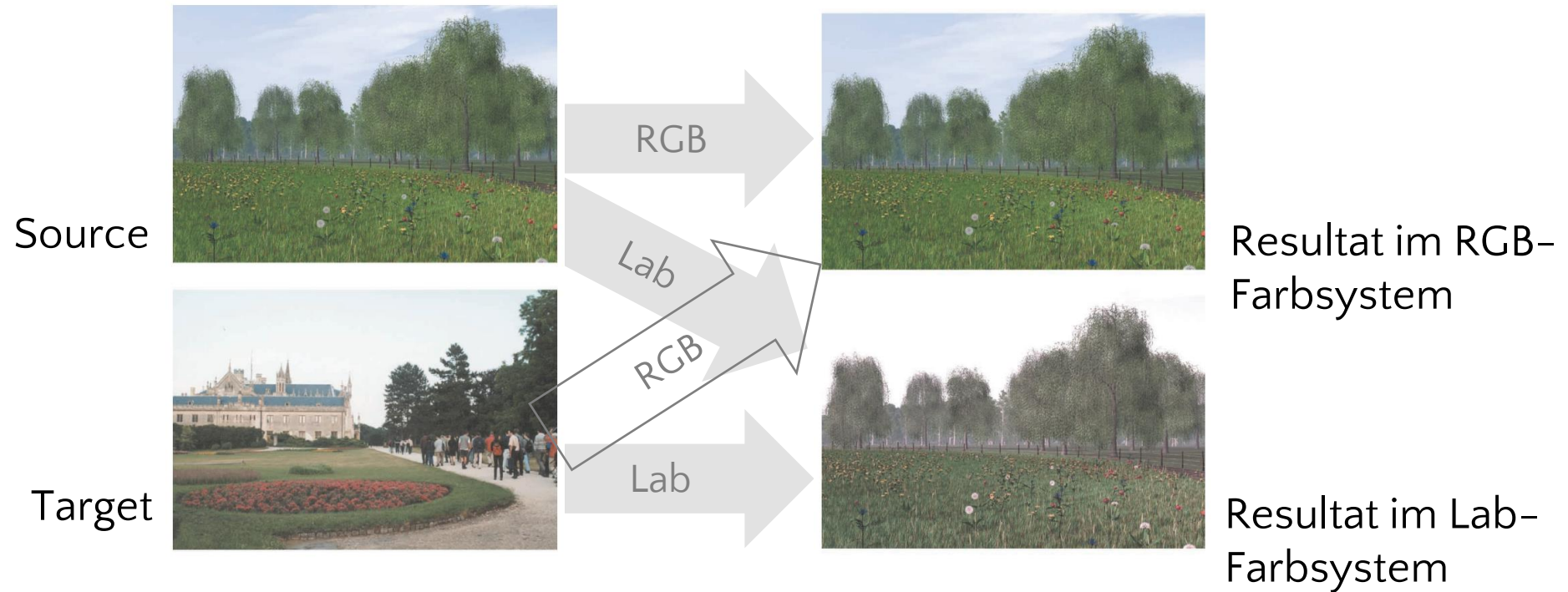


Reinhard et al.: "Color Transfer between Images", IEEE Computer Graphics and Applications 21(5), 2001



# Bsp.: Farbtransfer

Warum funktioniert diese Transformation im Lab-System aber nicht (in allen Fällen) im RGB-Farbsystem?

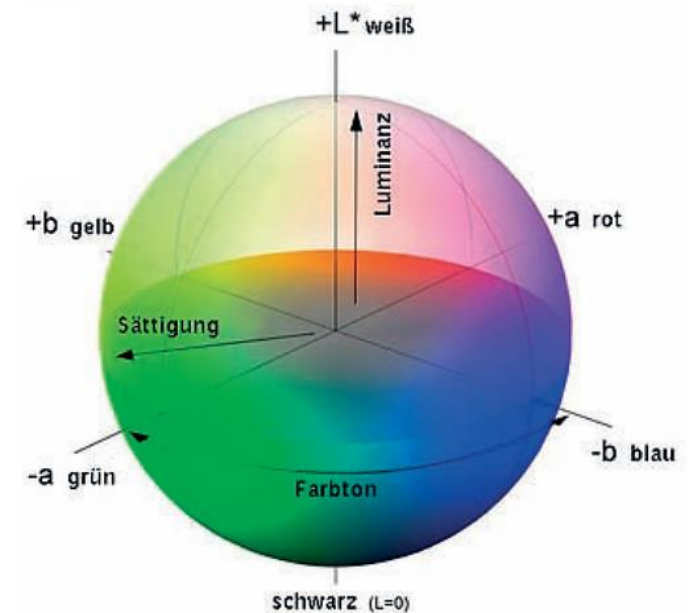


# Bsp.: Farbtransfer

Warum funktioniert diese Transformation im Lab-System aber nicht (in allen Fällen) im RGB-Farbsystem?

Im wesentlichen gibt es zwei Gründe dafür:

1. Im Lab-Farbraum steht die Länge des Abstands zwischen zwei Farben im direkten Verhältnis zu unseren Fähigkeiten diese Farben unterscheiden zu können.  
Im RGB-Farbraum ist dies nicht der Fall.
2. Im RGB-Farbraum modellieren alle drei Farbkanäle zusammen einen Farbton.  
Im Lab-System werden die Farbtöne durch Komplementärfarben und Intensitätswerte modelliert, die sich im Verhältnis zu RGB gegenseitig weniger beeinflussen.



Vielen Dank!

Noch Fragen?

