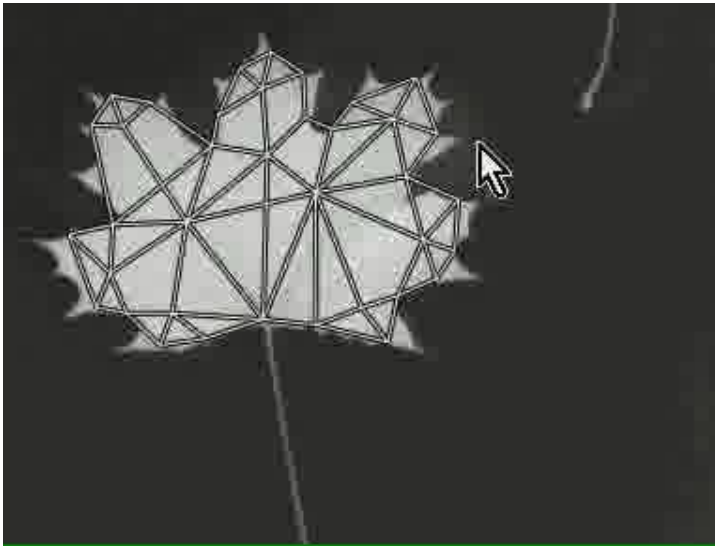




Famous Last Question



*Wie könnte man eine Sequenz von Filmbildern
besonders gut verlustfrei komprimieren?*

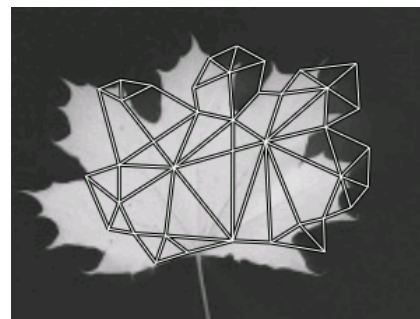


Bild 1

...

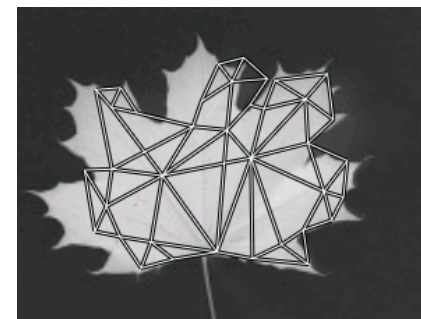


Bild 41

...

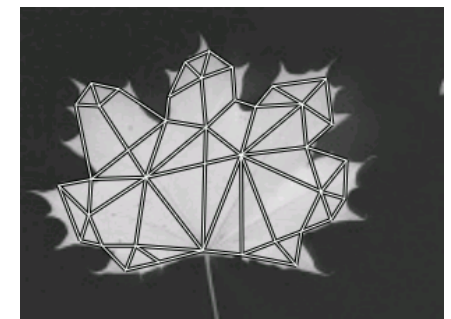


Bild 81

...



Bildverbesserung

- Verbesserung von Bildeigenschaften zur *besseren Wahrnehmbarkeit* oder zur *Vorbereitung von Analyseschritten*.
- Bildeigenschaften:
 - Signal-Rausch-Verhältnis
 - Kontrast
 - Informationsgehalt
- Punktbasierte Methoden
- Flächenbasierte Methoden



Welches Bild ist besser?
Warum?
Wie ist das messbar?





Pixelbasierte Bildverbesserung

- Abbildung der Grau-/Farbwerte unabhängig von ihrem Ort oder ihrer Zuordnung

- innerhalb der Grau- bzw. Farbwerte:

$$g_{neu} = f(g) \text{ oder } [r_{neu}, g_{neu}, b_{neu}] = [f(r), f(g), f(b)]$$

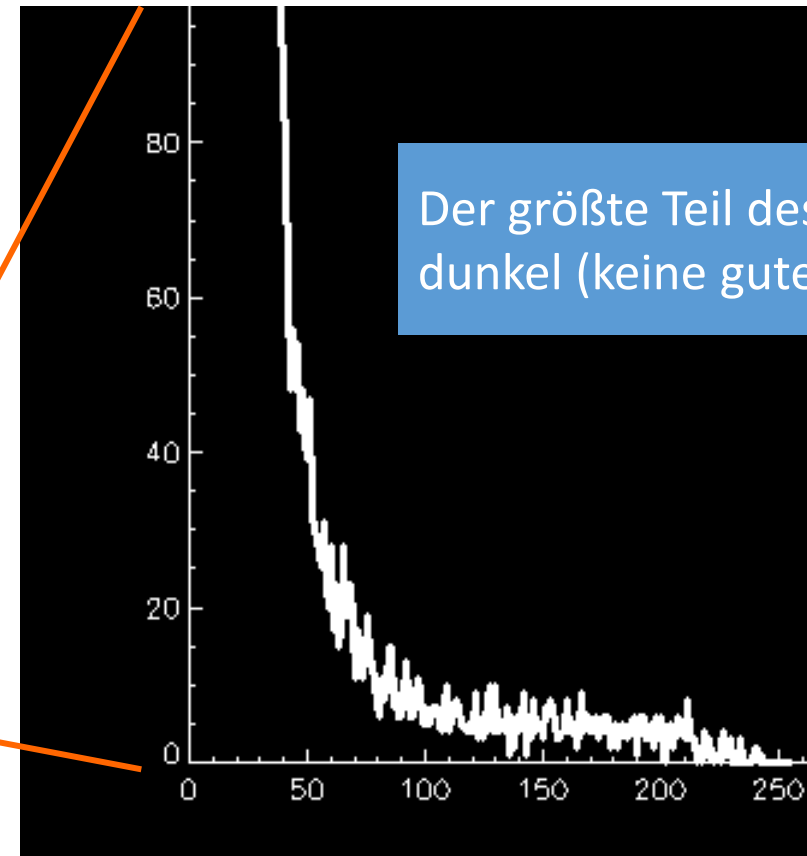
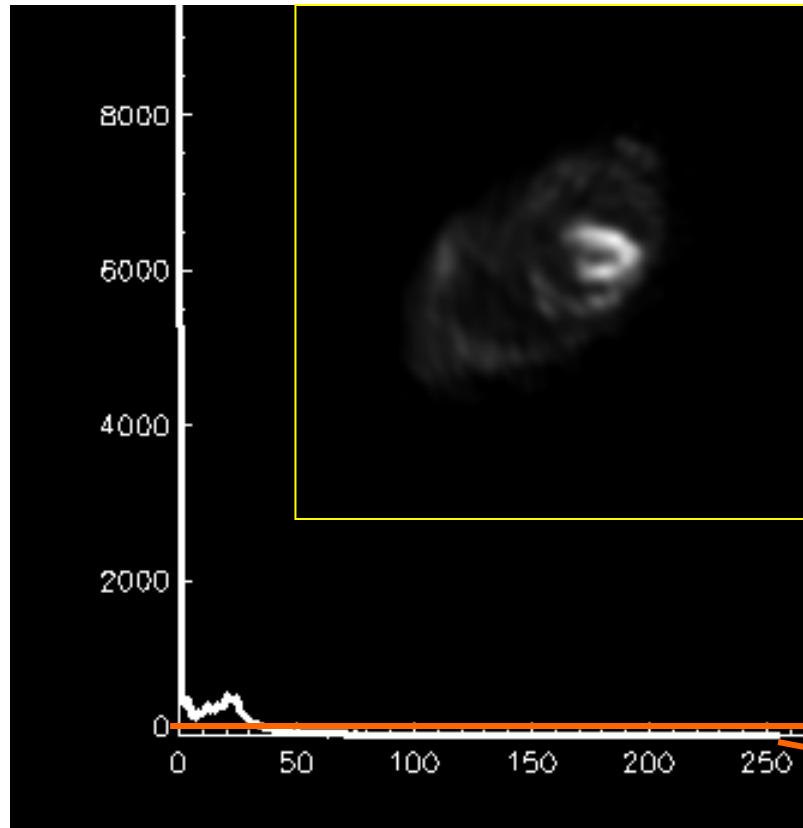
- von Grauwerten in Farbwerte (Falschfarbdarstellung):

$$[r_{neu}, g_{neu}, b_{neu}] = [f_{rot}(g), f_{grün}(g), f_{blau}(g)]$$

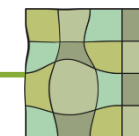
- **Figure of Merit** (Qualitätsmerkmal): globaler/lokaler Kontrast, Entropie
- Methoden
 - Monotone Abbildung der Grauwerte
 - Nicht monotone Grauwertabbildung
 - Falschfarbdarstellung



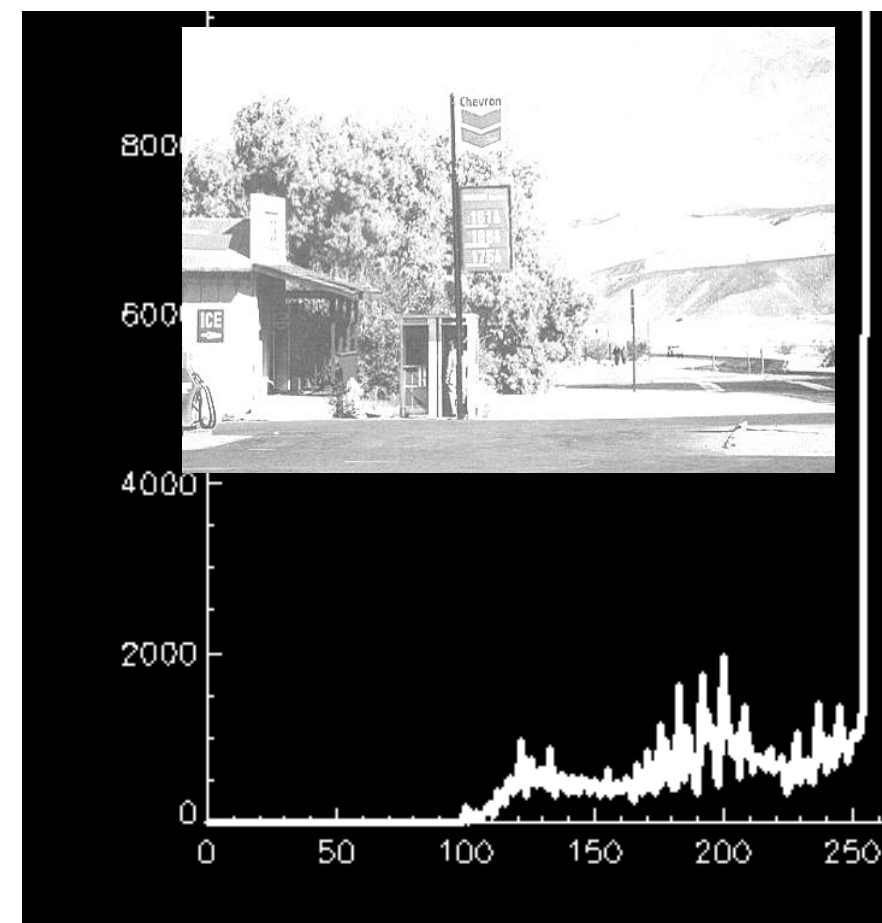
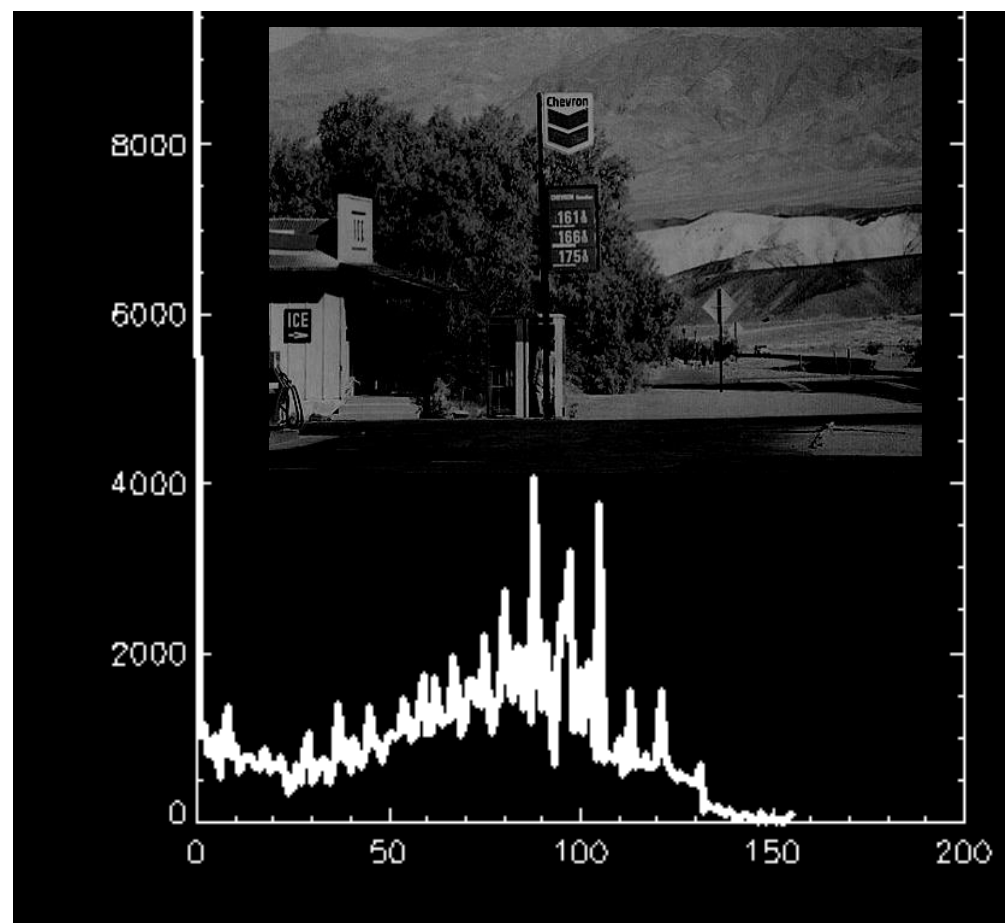
Nutzung des Grauwertspektrums

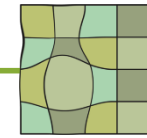


Der größte Teil des Bildes ist dunkel (keine gute Ausnutzung)



Unter-/Überbelichtung



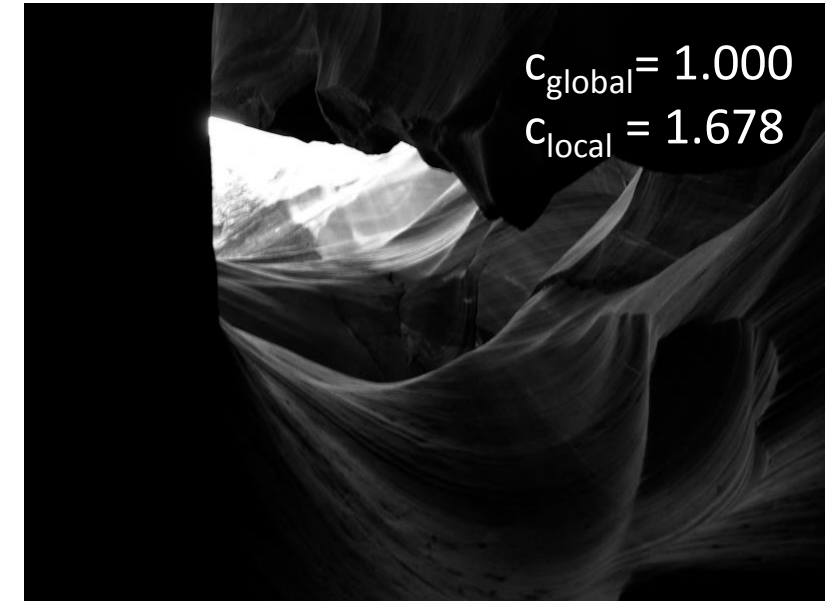


Kontrast

- *Globaler Kontrast*: Größter Grauwertunterschied im Bild

$$c_{global}(f) = \frac{[\max_{m,n}(f(m,n)) - \min_{m,n}(f(m,n))]}{g_{range}},$$

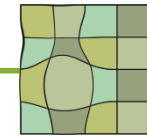
mit g_{range} – Grauwertbereich



- *Lokaler Kontrast*: z.B. durchschnittlicher Grauwertunterschied zwischen benachbarten Pixeln

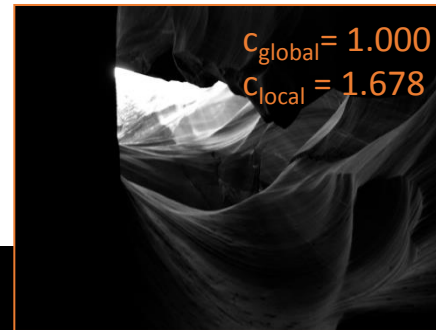
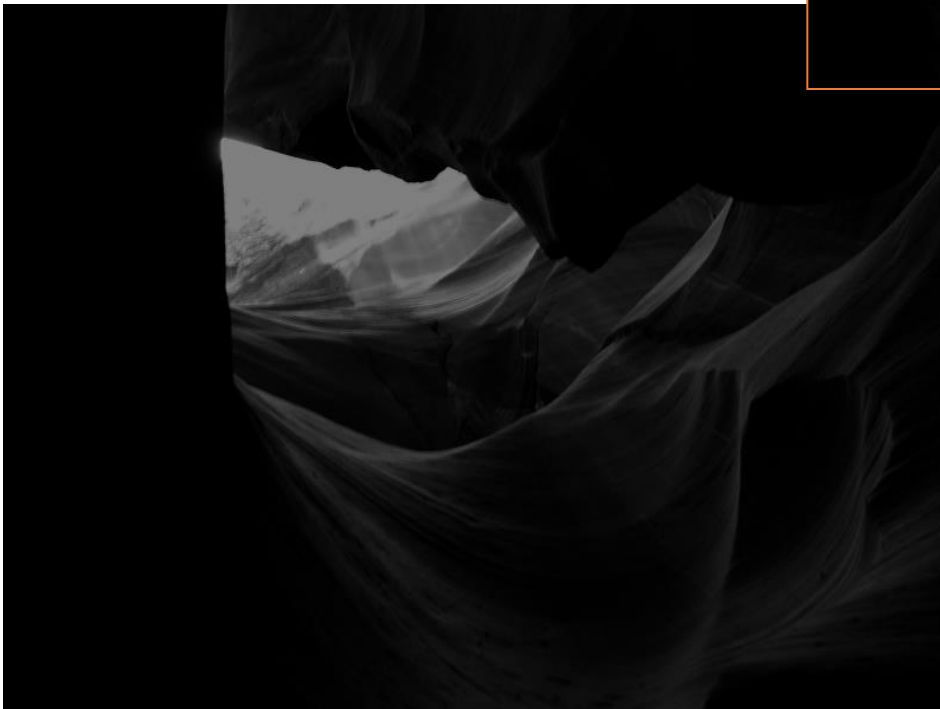
$$c_{local}(f) = 1/MN \sum_m \sum_n |f(m,n) - f_{nb}(m,n)|,$$

mit $f_{nb}(m,n)$ – durchschnittlicher Grauwert in der Umgebung von (m,n) .



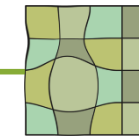
Globaler / Lokaler Kontrast

$$c_{\text{global}} = 0.500$$
$$c_{\text{local}} = 0.839$$



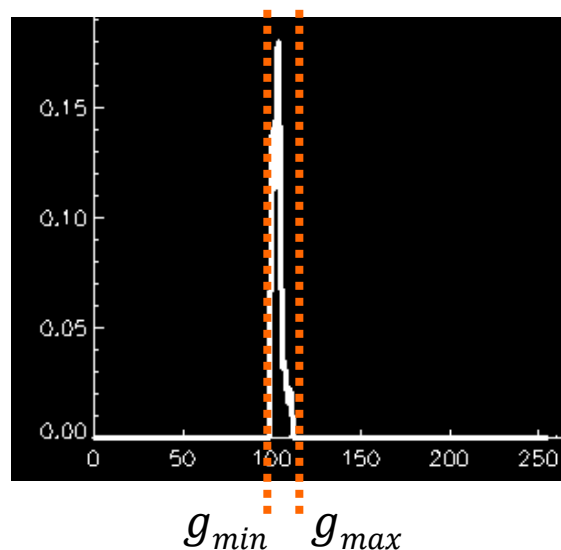
$$c_{\text{global}} = 1.000$$
$$c_{\text{local}} = 4.580$$

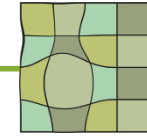




Maximierung des globalen Kontrasts

- Kontrastumfang g_{min} bis g_{max} im Verhältnis zum maximalen Wertebereich w_{min} bis w_{max} (z.B. 0...255) ist der Skalierungsfaktor.
- Transferfunktion:
$$g'(g) = (g - g_{min}) \cdot \frac{w_{max} - w_{min}}{g_{max} - g_{min}}$$

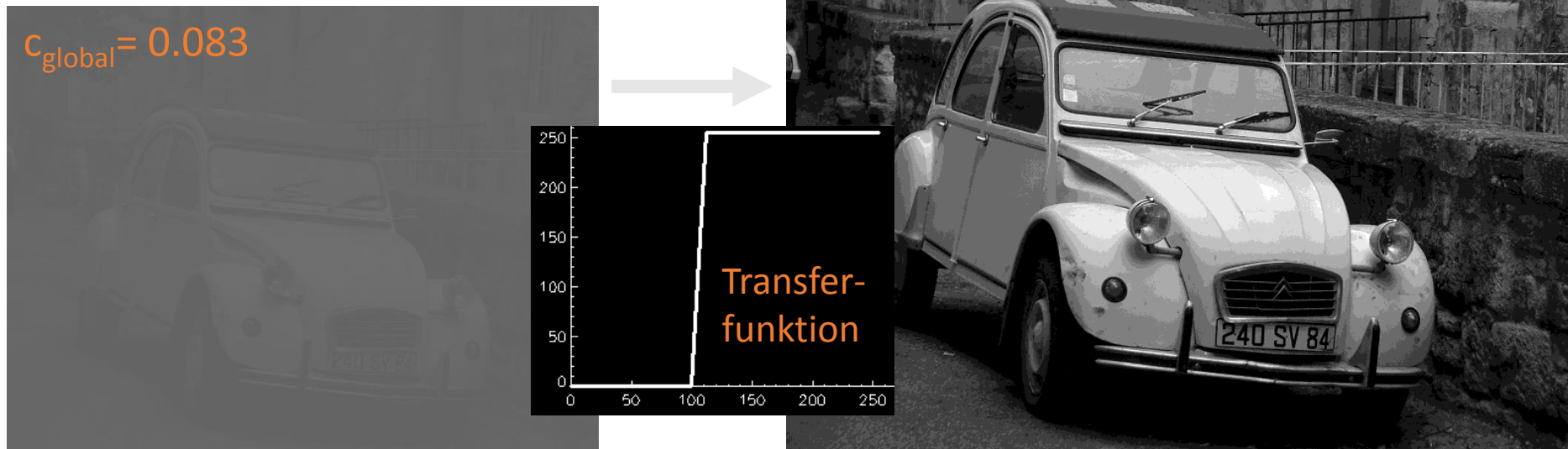


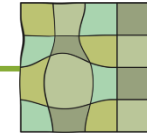


Maximierung des globalen Kontrasts

$$g'(g) = (g - g_{\min}) \cdot \frac{w_{\max} - w_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}, \quad g_{\min} = 100, g_{\max} = 112, w_{\min} = 0, w_{\max} = 255$$

$$g'(g) = (g - 100) \cdot \frac{255}{12}$$

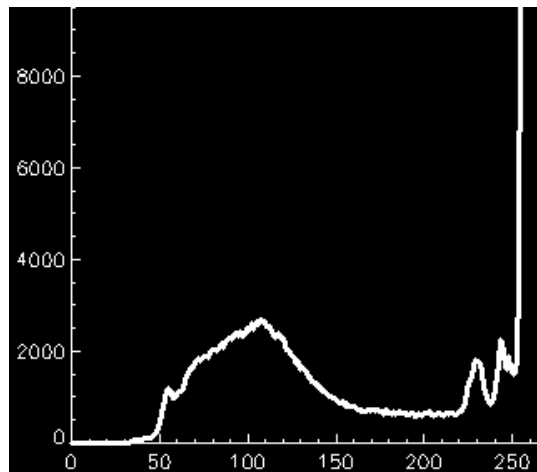




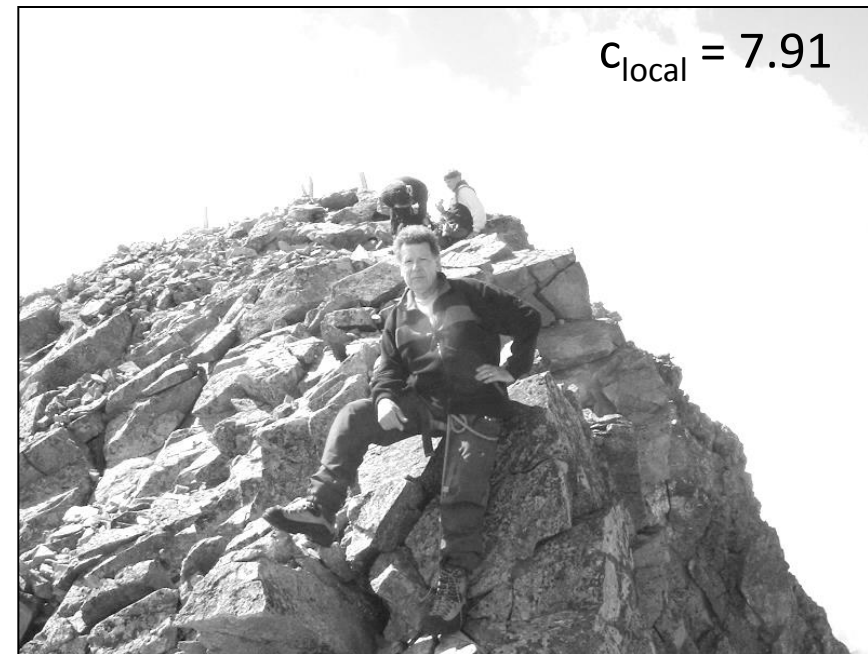
Verbesserung des lokalen Kontrasts

- Bild ist zu hell (zu dunkel), aber Grauwertbereich ist nahezu ausgenutzt.
- Nichtlineare, monotone Transferfunktion, z.B. Gammakorrektur:

$$g'(g) = w_{\max} \cdot \left(\frac{g}{w_{\max}} \right)^\gamma$$

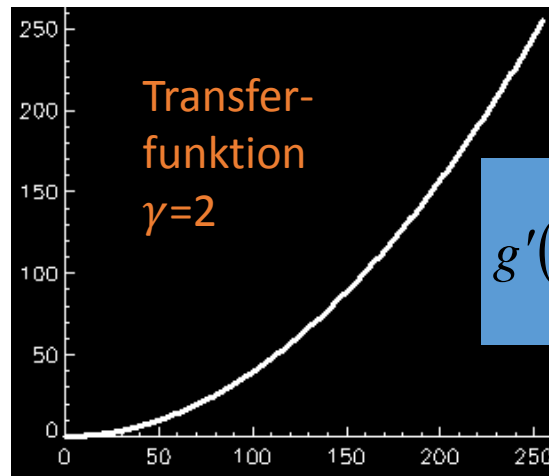


←
Histogramm

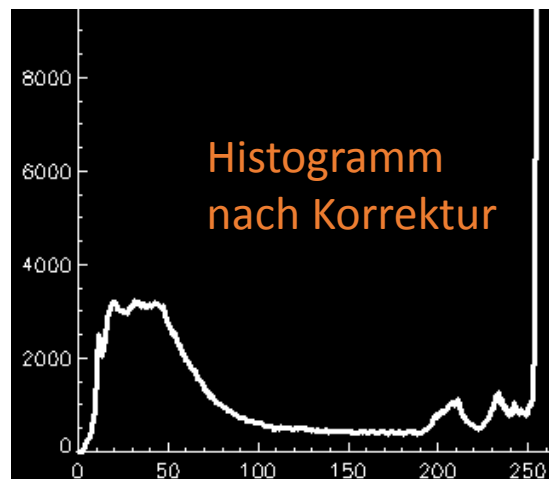




Verbesserung des lokalen Kontrasts



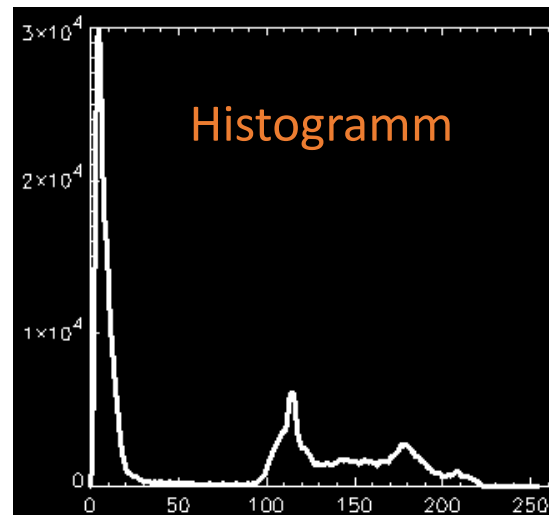
$$g'(g) = w_{\max} \cdot \left(\frac{g}{w_{\max}} \right)^{\gamma}$$





Maximierung des Informationsgehalts

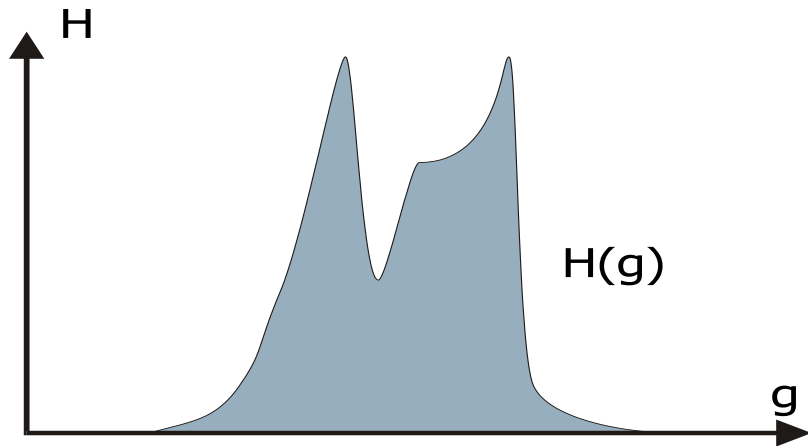
- Gibt es eine „optimale“ Korrektur?
- Optimal = maximaler Informationsgehalt



$$c_{\text{local}} = 4.245$$

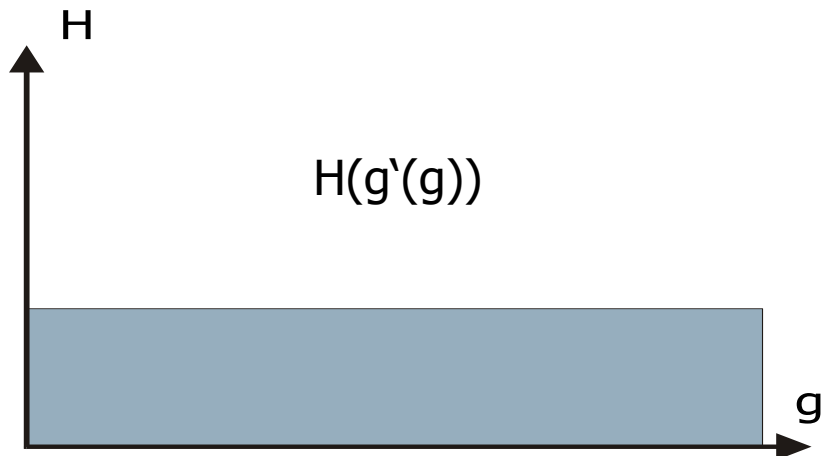


Maximaler Informationsgehalt



Entropie ist maximal, falls $P(g_i) = \text{const}$ für $i = 0, N - 1$

gesucht: Histogrammtransformation $g'(g)$ zur
Maximierung der Entropie

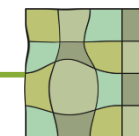


Annahme:

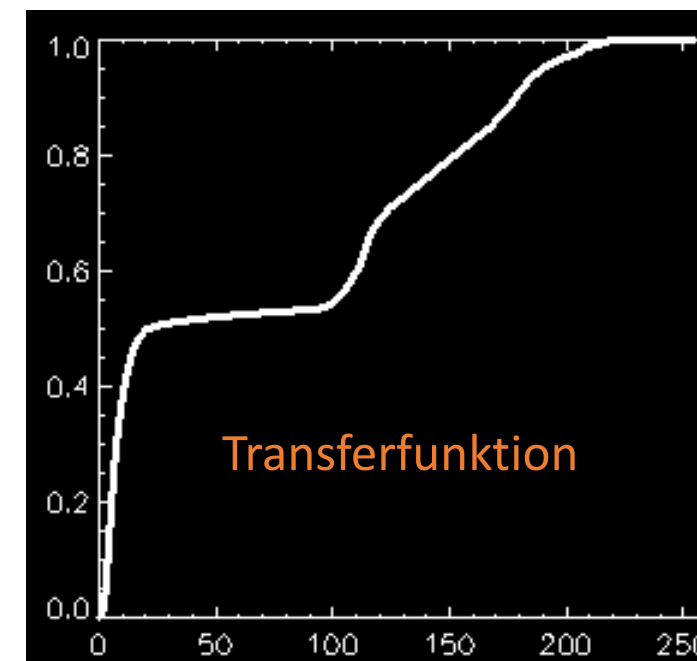
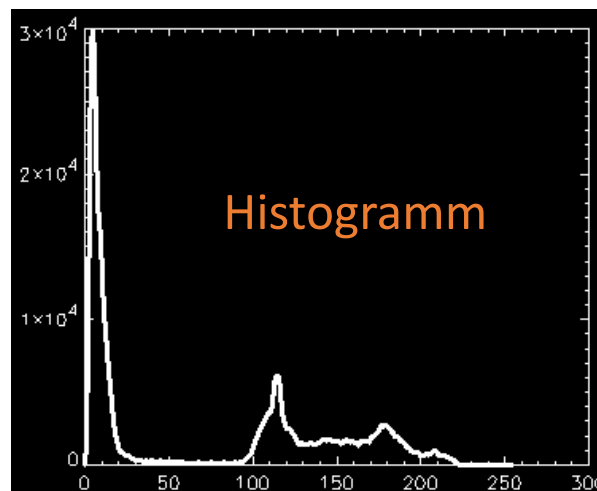
$H(g)$ ist normiert und kontinuierlich, d.h., $\int H(g) = 1$.

Dann existiert die folgende Transferfunktion g' :

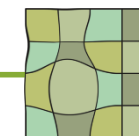
$$g'(g) = \int_0^g H(w) dw$$



Beispiel



Aber: was ist, falls $g'(g) \cdot (N - 1)$ keine ganze Zahl ist?



Histogrammlinearisierung

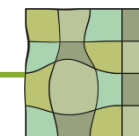
- Transferfunktion für ein diskretes Histogramm:

$$E[H(g)] = \left\lceil N_g \sum_{w=0, g-1} H(w) \right\rceil - 1, \text{ mit: } N_g - \text{Anzahl der Grauwerte.}$$

- Beispiel:

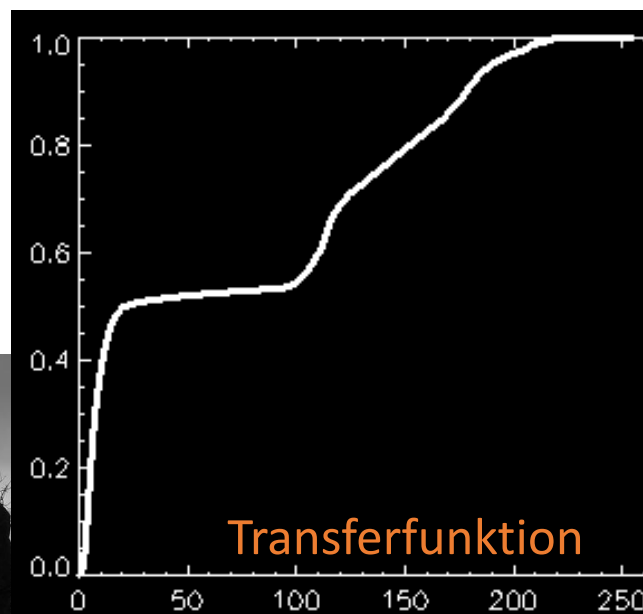
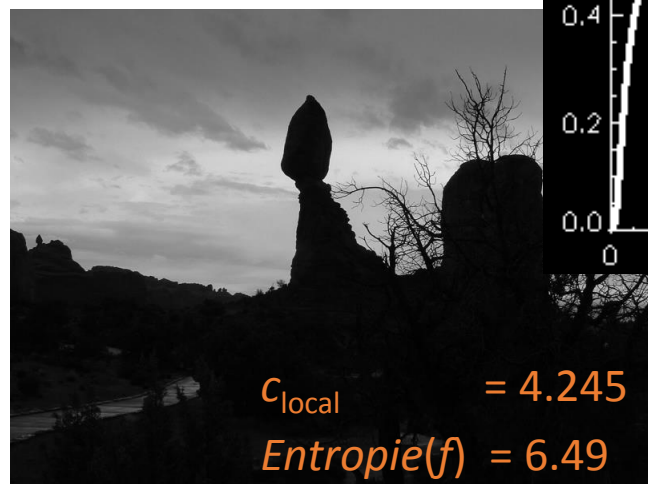
Grauwert	0	1	2	3	4	5	6	7
Häufigkeit	50	150	350	250	100	60	30	10
H(g)	0.05	0.15	0.35	0.25	0.10	0.06	0.03	0.01
kumulativ	0.05	0.20	0.55	0.80	0.90	0.96	0.99	1.00
Grauwert	0.4	1.6	4.4	6.4	7.2	7.68	7.92	8.00
aufgerundet	1	2	5	7	8	8	8	8
$\lceil \rceil - 1$	0	1	4	6	7	7	7	7

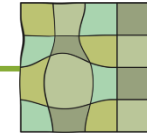
- Keine *Linearisierung*, sondern von der Häufigkeit abhängige *Spreizung*.



Beispiel

- Warum wurde die Entropie **kleiner**? ► FLQ



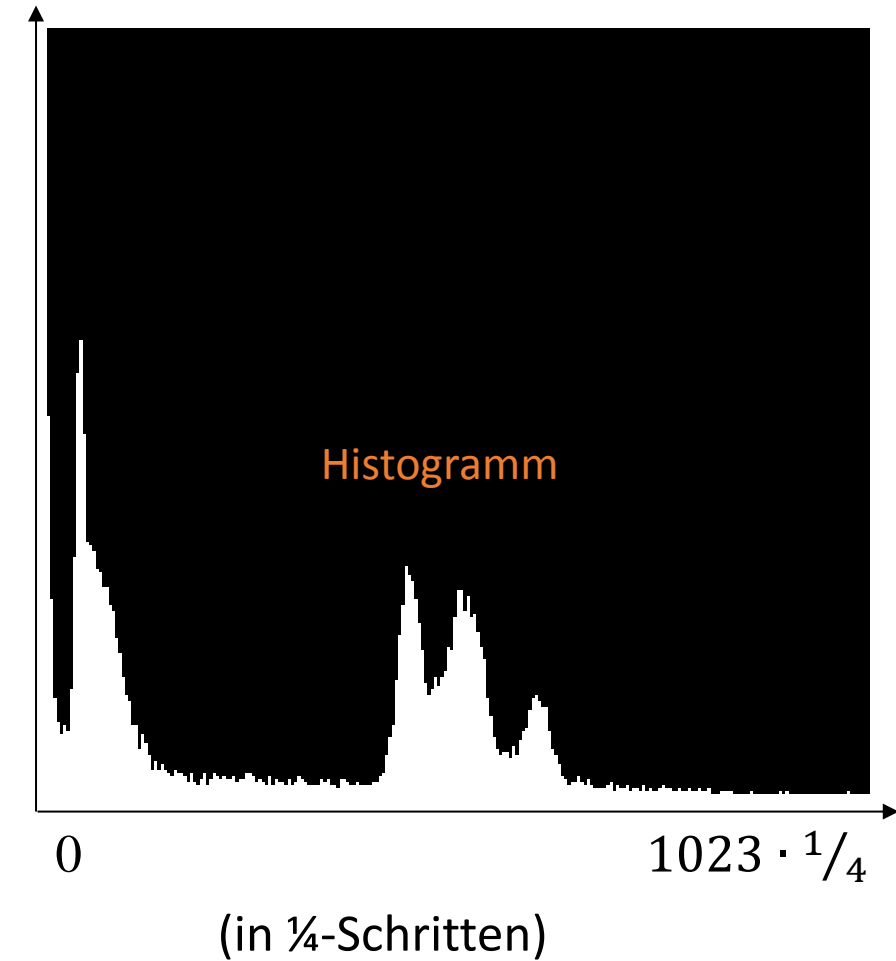


Beispiel

- Das geht auch in Farbe:
 - Farbkanäle werden unabhängig voneinander behandelt.
 - *(Ist das eine gute Idee? Was wäre eine bessere?)*

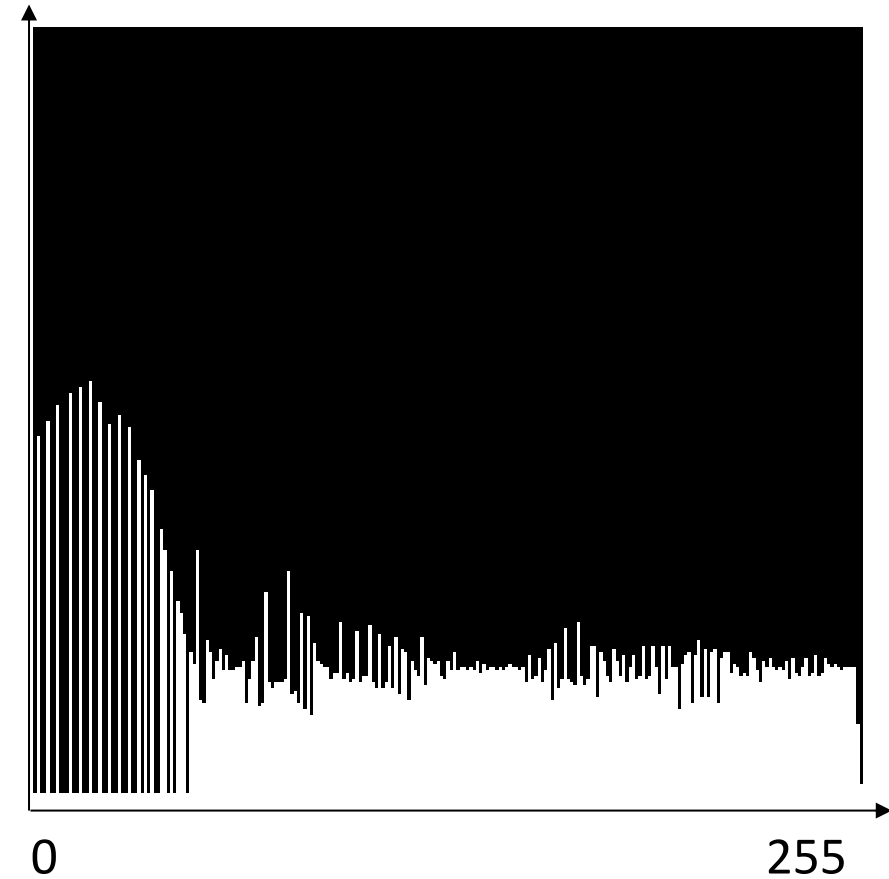
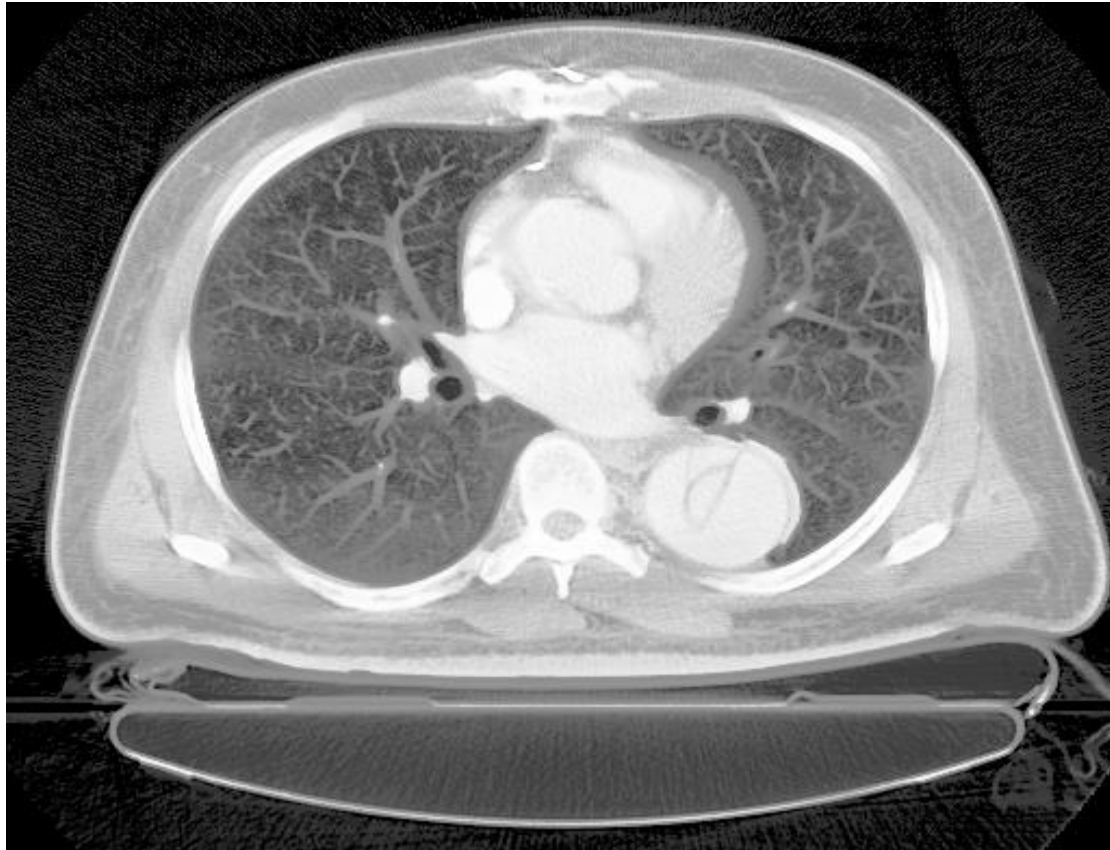


Histogrammlinearisierung

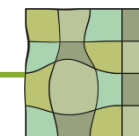




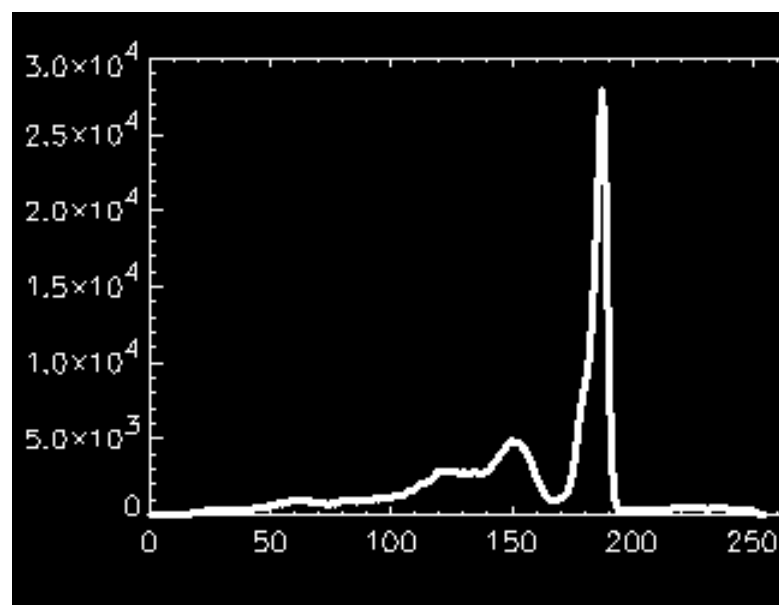
Histogrammlinearisierung

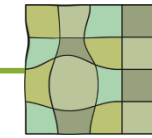


(in vollen Schritten)



Problem

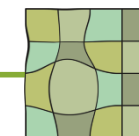




Problem

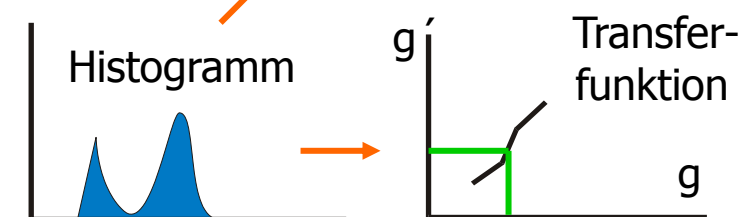
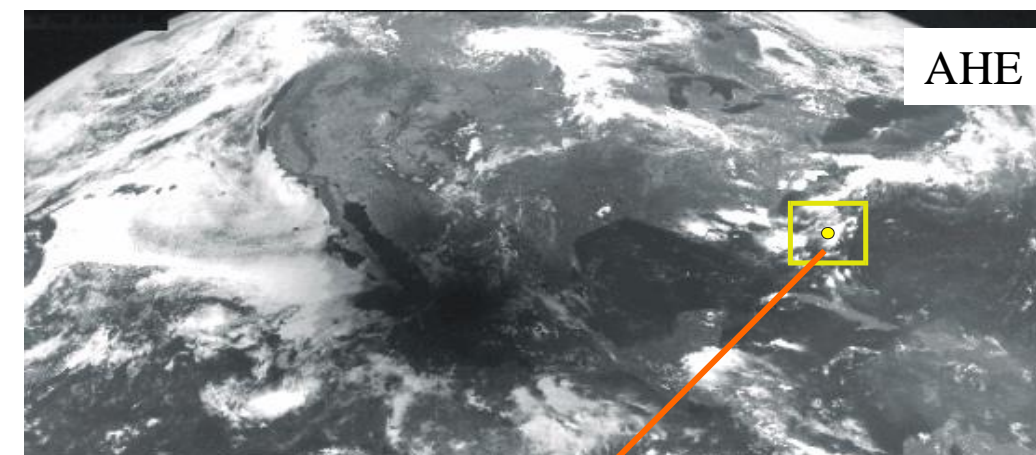


Das „Unwichtige“ wurde verstärkt, das Wichtige abgeschwächt!



Histogrammlinearisation: Varianten

- *Adaptive Histogram Equalisation (AHE)*
 - Histogramm wird für jeden Punkt für eine vorgegebene Umgebung erstellt.
 - Linearisierung nach diesem Histogramm
 - Nur der Grauwert des betreffenden Punkts wird modifiziert
- *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalisation (CLAHE):*
 - wie AHE, aber Kontrastverstärkung nur bis zu einem gewissen Maximum.
 - verhindert die bei AHE vorkommende Kontrastverstärkung im Bildhintergrund.





Adaptive Histogramlinearisierung





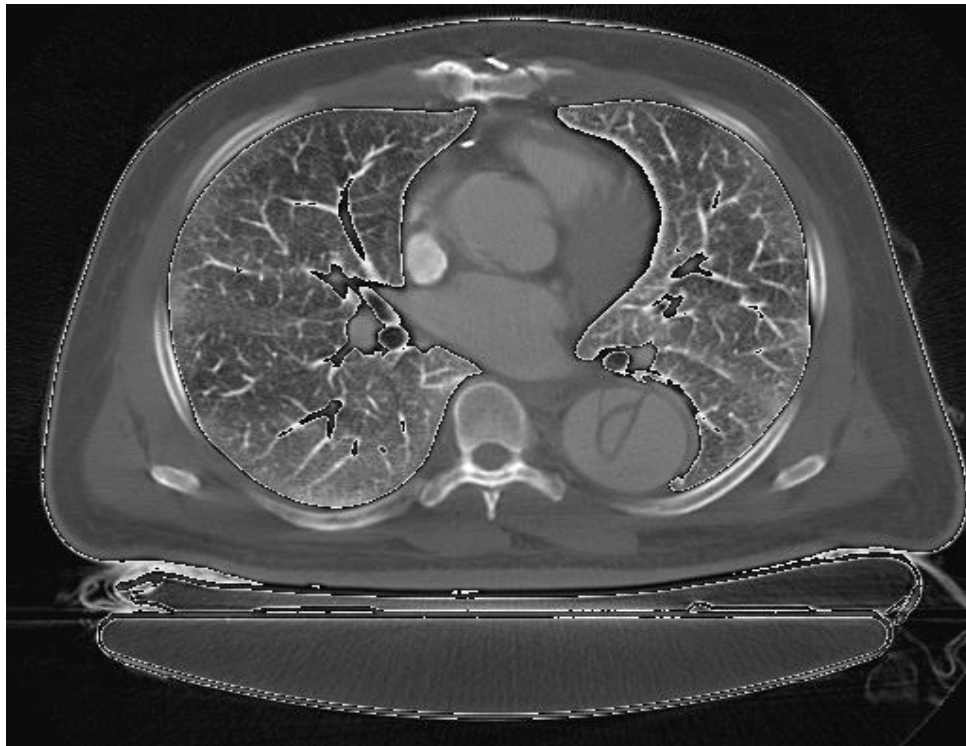
Kontrastlimitiertes AHE



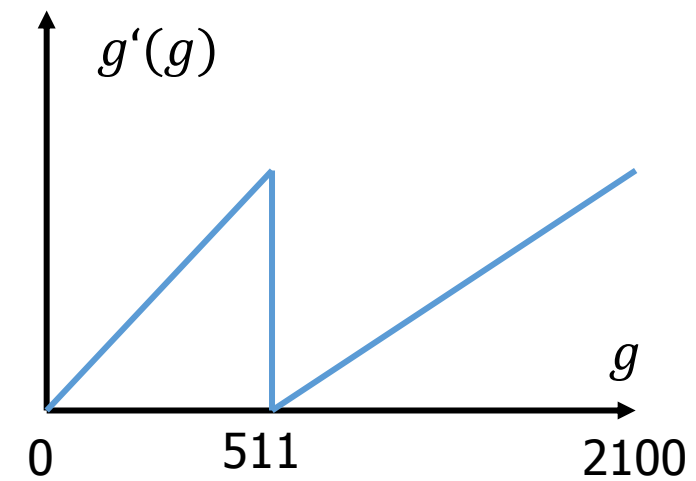


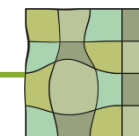
Nichtmonotone Grauwertabbildung

- Erzeugt künstliche Kanten.
- Grenzen von Maxima der Transferfunktion nicht immer erkennbar.

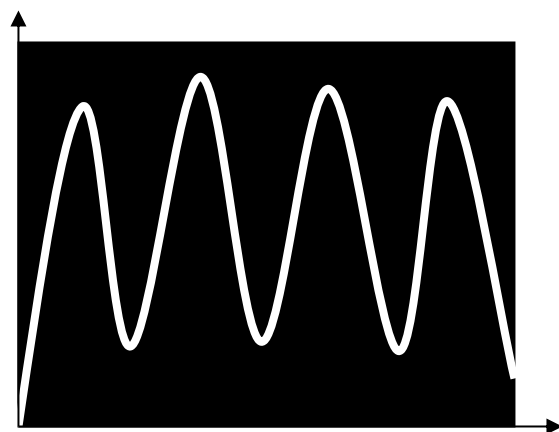


Zwei Grauwertfenster in einem Bild.





Beispiel

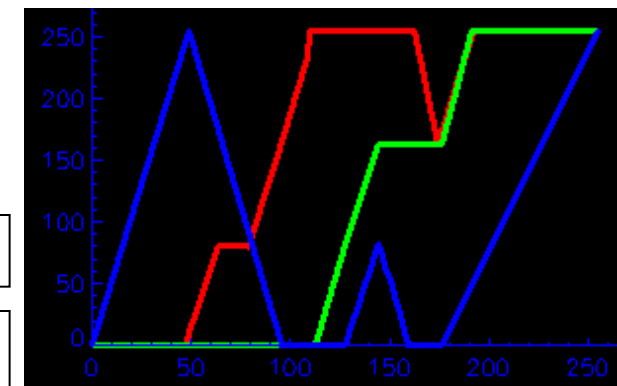
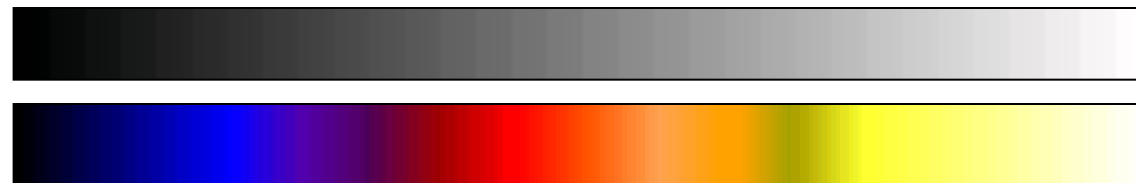
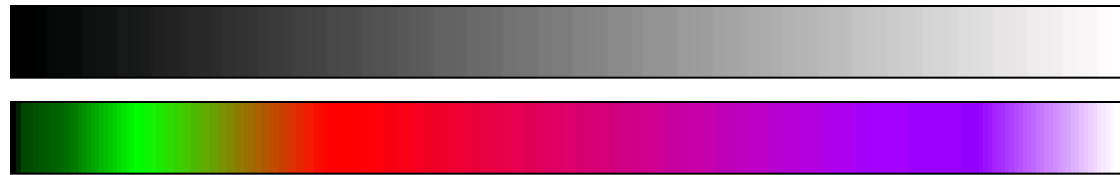
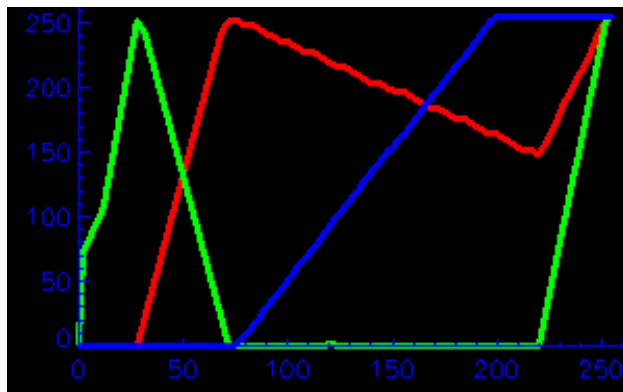


Eine Zuordnung zwischen Helligkeit und ursprünglichem Grauwert ist nicht mehr herstellbar.



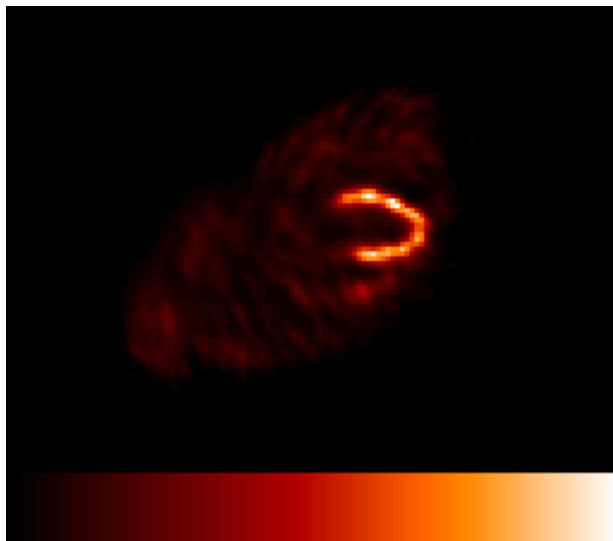
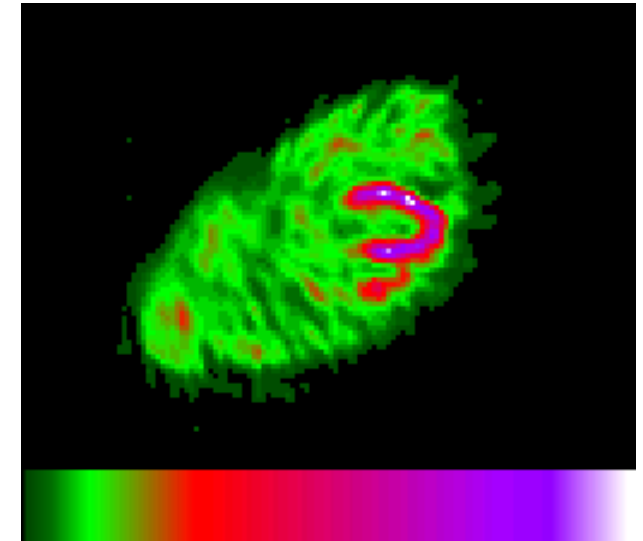
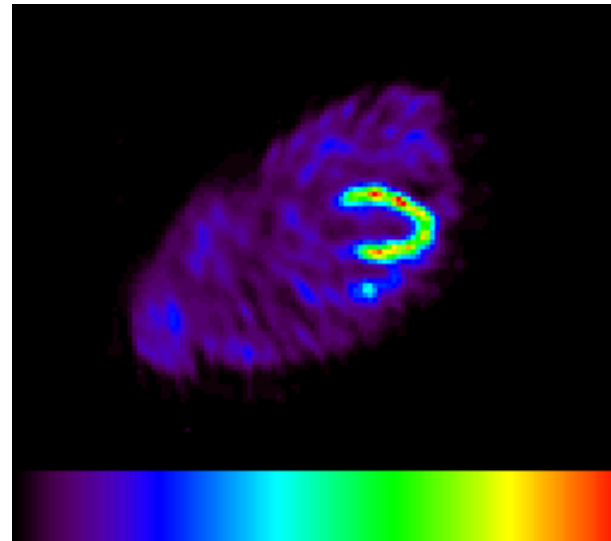
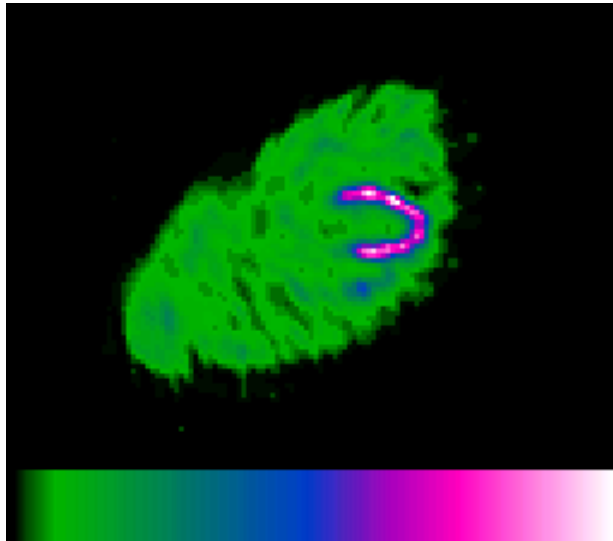
Farbe zur Kontrastverstärkung

- Es können wesentlich mehr Farb- als Grauwerte unterschieden werden.
- Kontrastverstärkung durch drei nicht-lineare, nicht-monotone Abbildungsfunktionen der Grauwerte: $f_{rot}(g)$, $f_{grün}(g)$, $f_{blau}(g)$

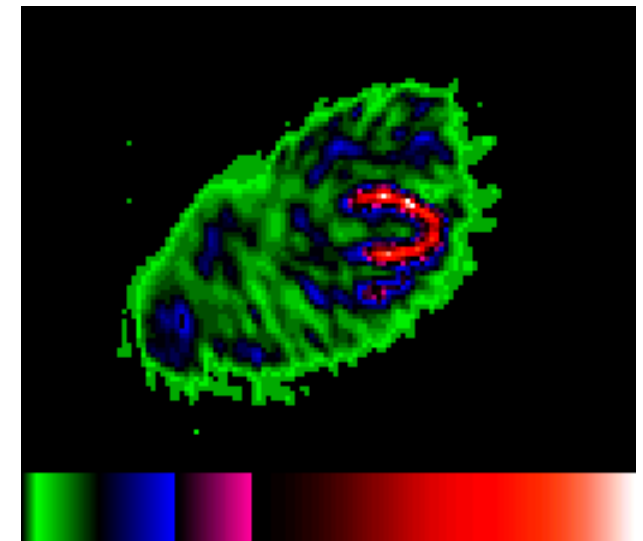




Beispiel

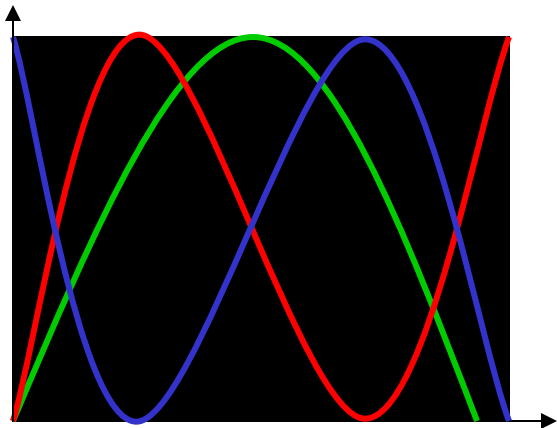


Achtung: Nichtlineare Transformationen erzeugen *künstliche Kanten*.





Beispiel

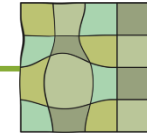


Ein Zusammenhang zwischen Farbe und
Grauwert ist nicht mehr erkennbar.



Was sollten Sie heute gelernt haben?

- Punktbasierte Verfahren werden über eine Transferfunktion zwischen Grauwerten (Farbwerten) definiert.
- Grauwerttransformationen
 - monoton: linear, γ -Korrektur, Histogrammlinearisation
 - Nicht monoton: Stufentransformation, Falschfarbdarstellung.
- Erfolg kann an kontrastbasierten Maßzahlen ermittelt werden.
- Objektabhängige Bildverbesserung erfordert Zusatzwissen.



Famous Last Question

Warum wird bei der Histogrammlinearisierung die Entropie kleiner?

Hat das damit zu tun, das einfache HE das Rauschen verstärkt?

Und wieso sieht das Bild trotz schlechterer Entropie besser aus?

