

Computer Vision

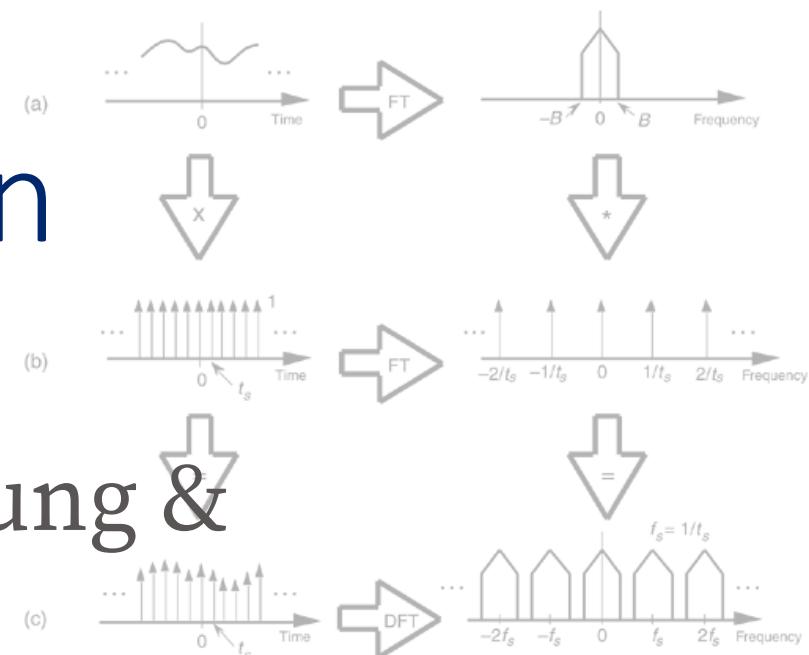
Vorlesung 1: Bildentstehung &

Digitalisierung

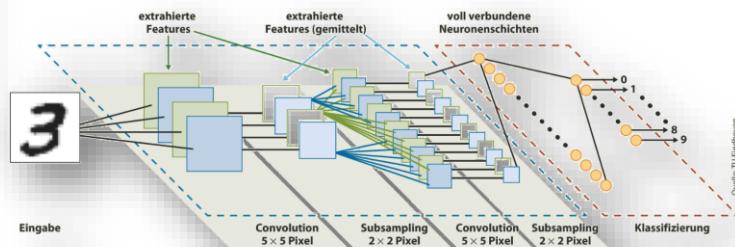
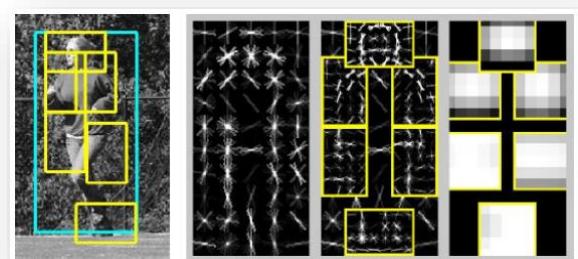
Dr.-Ing. Xiao Zhao



Elektrotechnik, Medizintechnik
und Informatik



Vorlesung – Überblick



1. Klassische Methoden

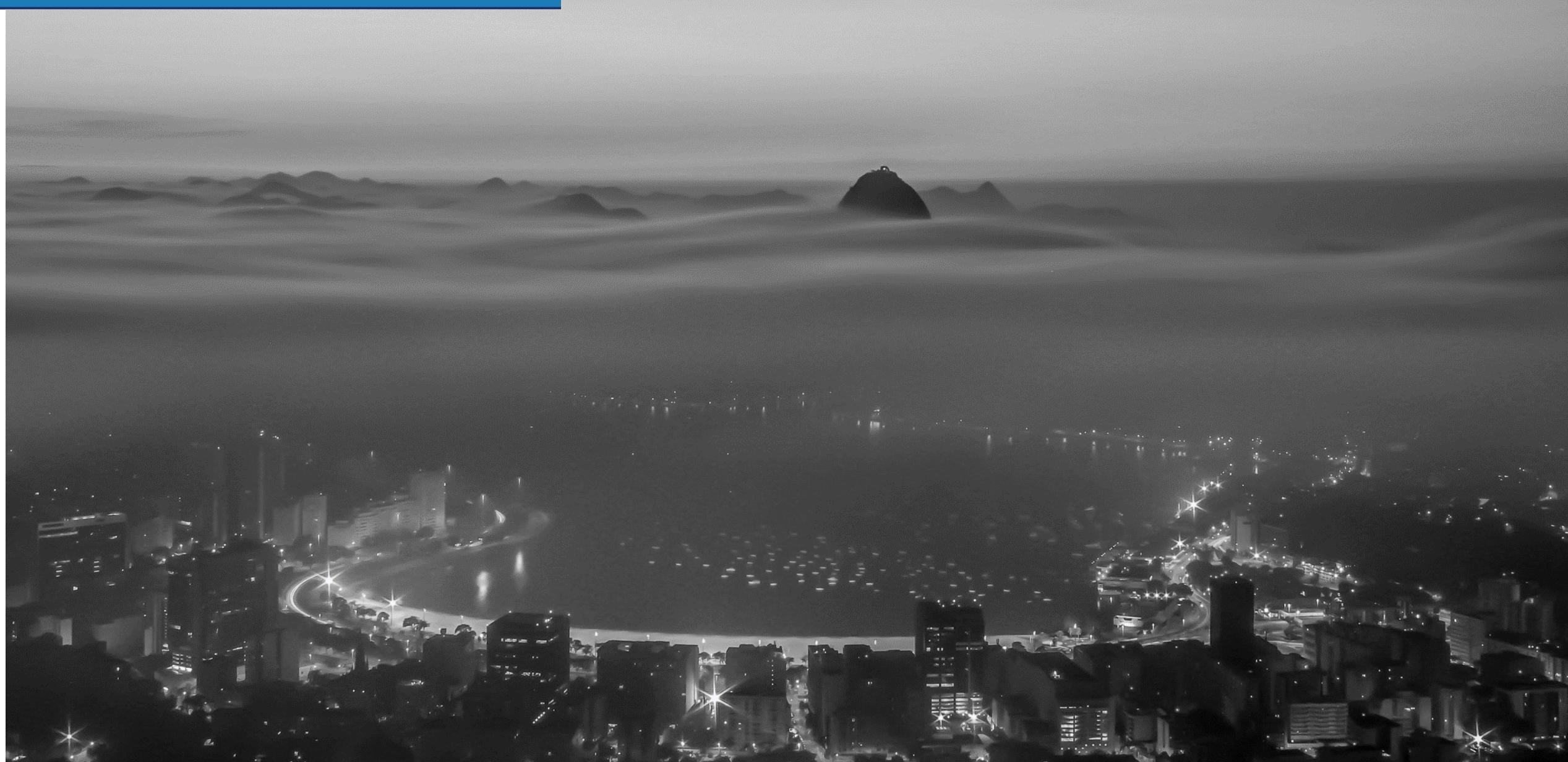
- Bildgewinnung: Kamera und Digitalisierung
- Filter in Ortsraum
- Filter in Frequenzraum
- Segmentierung: Kanten, Linie und Ecken Erkennung

2. Deep Learning

- Klassifikation
- Segmentierung
- Objekterkennung
- Fortgeschrittene Themen

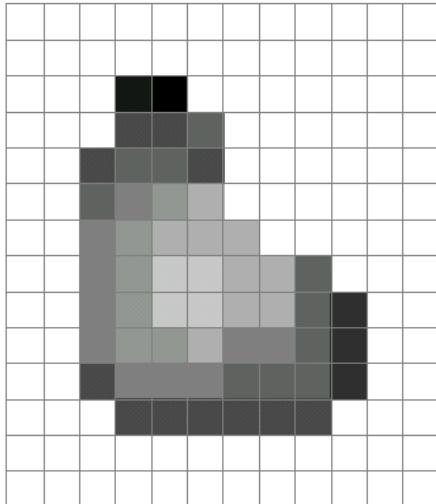
Bildgewinnung und Digitalisierung

Was ist ein Bild?



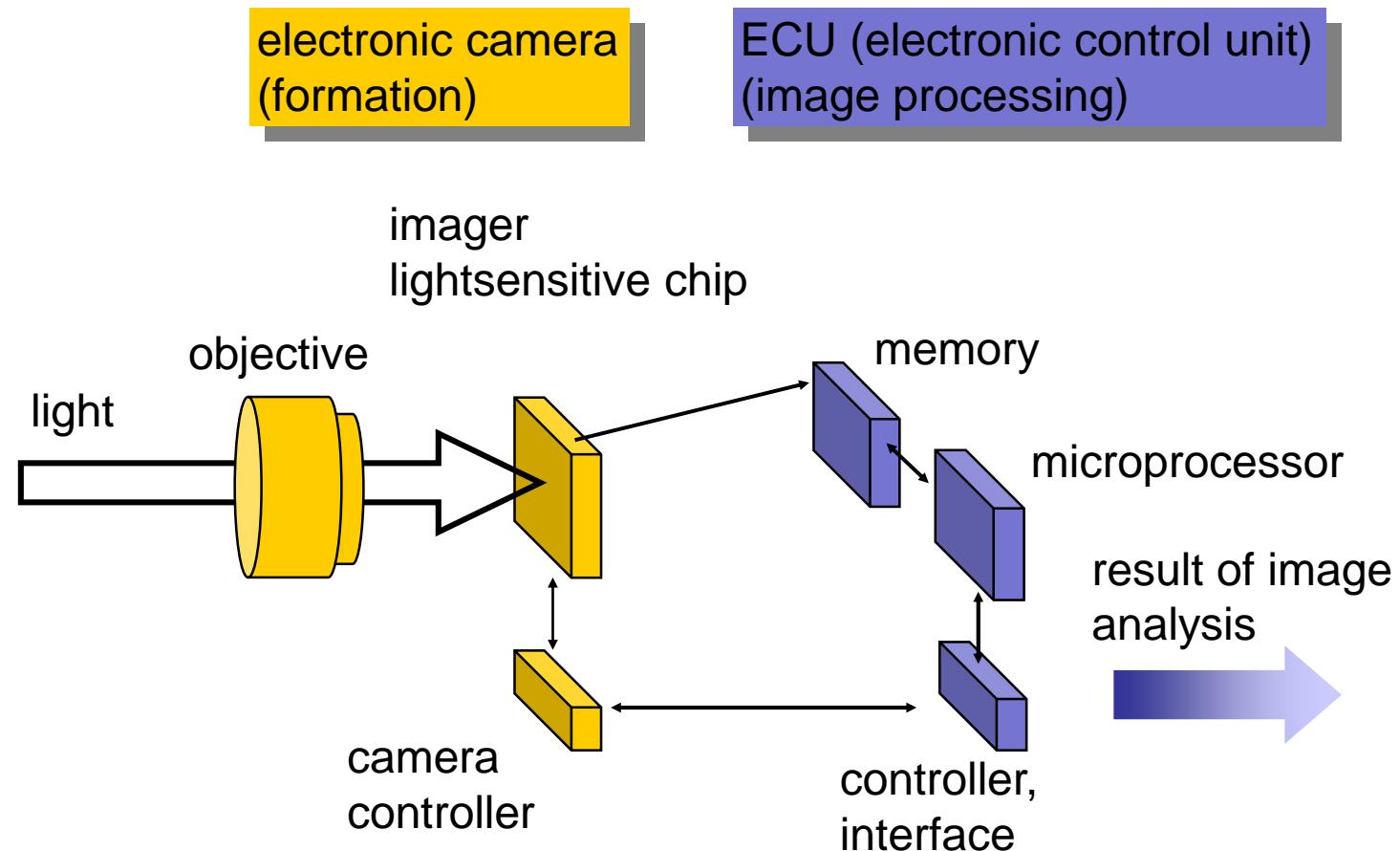
Was ist ein Bild?

- Eine Matrix mit Grauwerten



255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	20	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	75	75	75	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	75	95	95	75	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	96	127	145	175	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	127	145	175	175	175	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	127	145	200	200	175	175	95	255	255	255	255	255	255	255
255	255	127	145	200	200	175	175	95	47	255	255	255	255	255	255
255	255	127	145	145	175	127	127	95	47	255	255	255	255	255	255
255	255	74	127	127	127	95	95	95	47	255	255	255	255	255	255
255	255	255	74	74	74	74	74	74	74	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255

Bildentstehung



Von der Intensität zum Grauwert

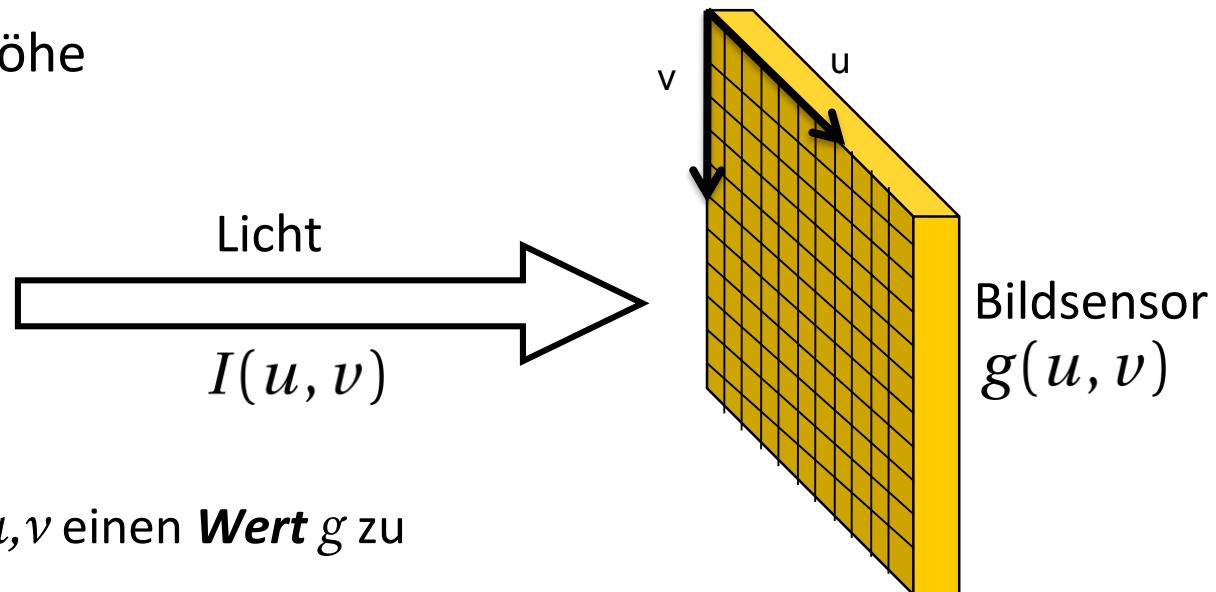
- Prozess der Bildentstehung:
 - Einfallende Lichtintensität auf einer Bildzelle I :

$$I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

- Ausgabe des Sensors:

$$g : \{0, \dots, W - 1\} \times \{0, \dots, H - 1\} \rightarrow \{0, \dots, g_{max}\}$$

mit W, H als Bildbreite und -höhe



- Der Sensor ordnet **jeder Position** u, v einen **Wert** g zu

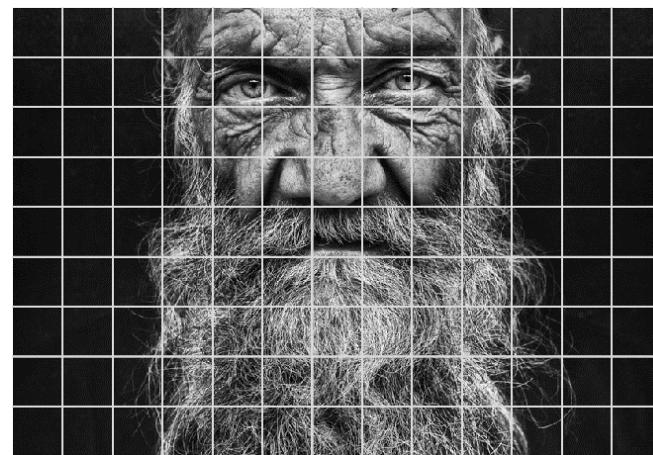
Digitalisierung

- Prozess der Digitalisierung:

1. **Diskretisierung des Ortes:** Lichtintensität wird auf regulären Gitterpunkten ausgewertet
2. **Diskretisierung des Wertes (Quantisierung):** Kontinuierliche Werte werden auf natürliche Zahlen gerundet



1
→



2
→

22	25	31	78	123	156	159	127	104	88	31	27	25
18	20	26	88	76	59	116	79	105	104	35	23	20
16	19	22	90	104	137	152	144	122	106	26	21	17
16	18	19	66	96	95	135	91	80	93	22	19	16
16	19	32	106	86	90	73	94	104	99	28	19	16
18	22	39	103	82	108	144	137	120	133	47	19	18
20	23	37	124	95	131	148	157	123	120	41	22	19
20	23	38	100	74	97	114	106	85	127	44	27	20
20	23	35	81	75	82	84	115	103	106	44	26	23

$$\mathbf{r}_{m,n} = [m \Delta x_1, n \Delta x_2]^T$$

$$g(\mathbf{r}_{m,n}) = \int_{(m-\frac{1}{2})\Delta x_1}^{(m+\frac{1}{2})\Delta x_1} \int_{(n-\frac{1}{2})\Delta x_2}^{(n+\frac{1}{2})\Delta x_2} g'(\mathbf{x}) dx_1 dx_2$$

Quantisierung

- Kontinuierliche (analoge) Werte werden diskreten Stufen zugeordnet
- Für das einfallende Licht gilt

$$I : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

- Nach der Aufnahme des Bildsensors liegen noch immer kontinuierliche Werte vor
- Es muss nun formal die Transformation von reellwertigen Intensitäten zu diskreten digitalen Werten erfolgen (Analog-Digital-Wandler)

$$g : \{0, \dots, w-1\} \times \{0, \dots, h-1\} \rightarrow \{0, \dots, g_{\max}\}$$

Quantisierung

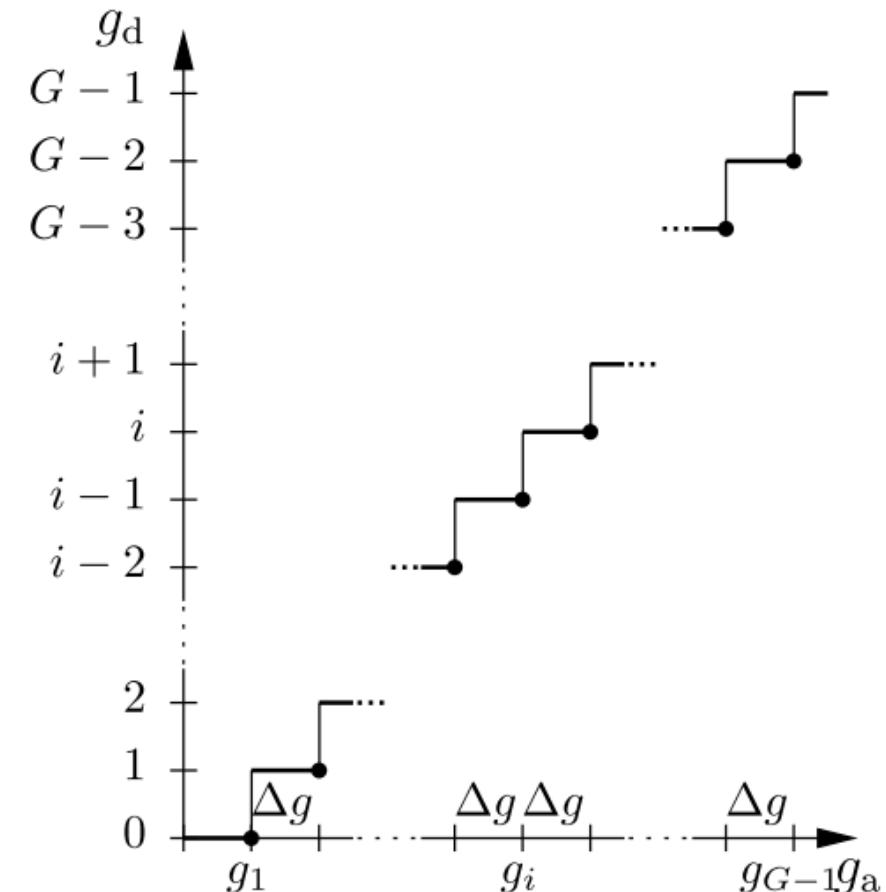
- Die Anzahl der möglichen Werte G wird vorab definiert
- Mögliche Grauwerte sind $g_a \in \mathbb{R}_0^+, g_a \in [g_0, \dots, g_G]$

$$Q : g_a \rightarrow g_d = \begin{cases} 0 & \text{for } g_a \leq g_0 \\ i & \text{for } g_i < g_a \leq g_{i+1} \quad \text{and} \quad i \in \{0, \dots, G-1\} \\ G-1 & \text{for } g_G < g_a \end{cases}$$

- Quantiserungsrauschen:
 - Durch Diskretisierung erzeugte Unsicherheit

$$\sigma_q^2 = \frac{1}{\Delta g} \int_{g_q - \Delta g/2}^{g_q + \Delta g/2} (g - g_q)^2 \, dg = \frac{1}{12} (\Delta g)^2$$

- Wo beginnen und enden die, z.B. 256, Stufen?
- Ist Quantisierung reversibel?



Quantisierung

- **Diskretisierung des Wertes (Quantisierung):** Kontinuierliche Werte werden auf natürliche Zahlen gerundet



256 Grauwerte (org)

$G=256$



16 Grauwerte

$G=16$



4 Grauwerte

$G=4$

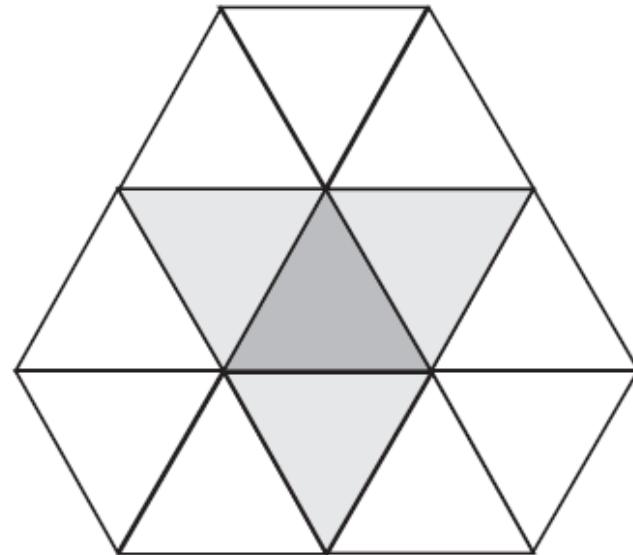


2 Grauwerte

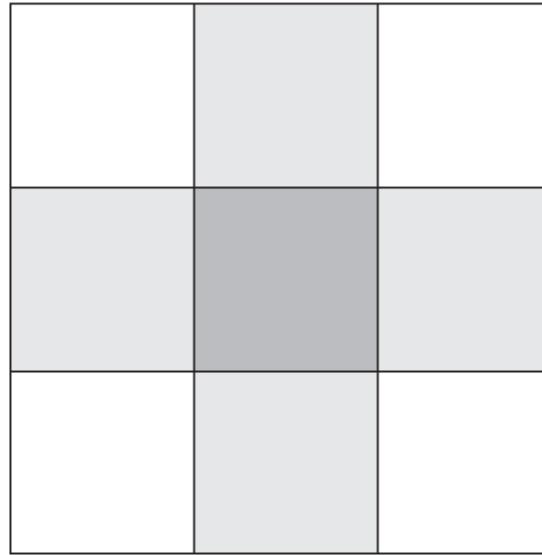
$G=2$

Reguläre Gitter

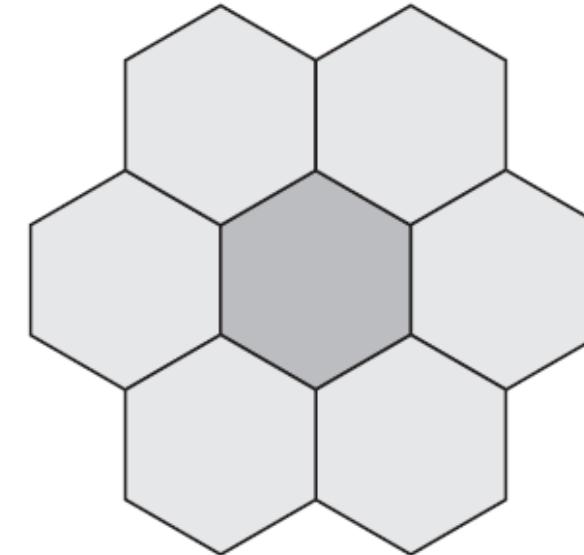
- Es sind drei reguläre Anordnungen in 2 Dimensionen möglich:



Dreieckgitter



Quadratische Gitter

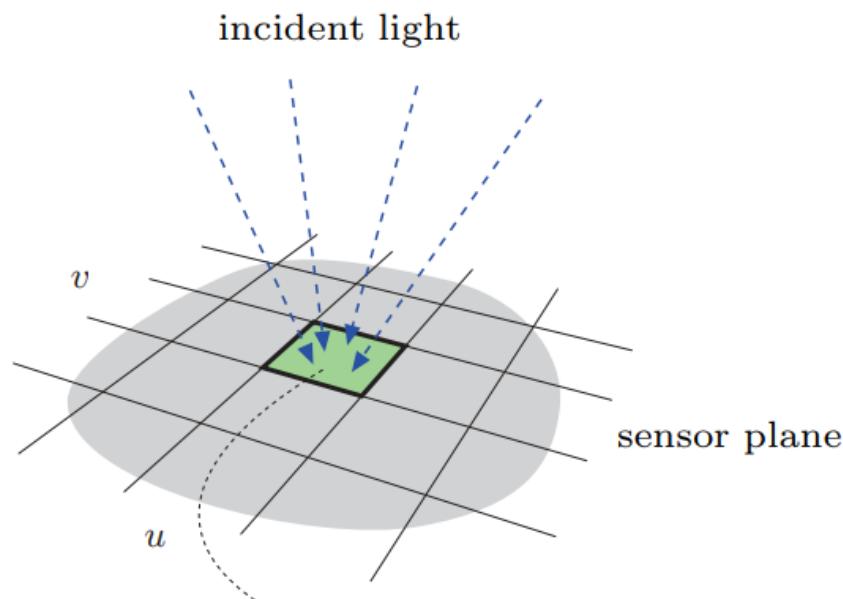


Hexagonales Gitter

- Hexagonale Strukturen in der Natur (Insekten)
- Quadratische Gitter in technischen Systemen

Bildentstehung: Zusammenfassung

1. Räumliche Diskretisierung
2. Zeitliche Lichtmessung



Gemessene Lichtintensität $I(u, v) \in \mathbb{R}$

3. Quantisierung der Pixelwerte

Übergang



$I(u, v) \in \mathbb{R}$

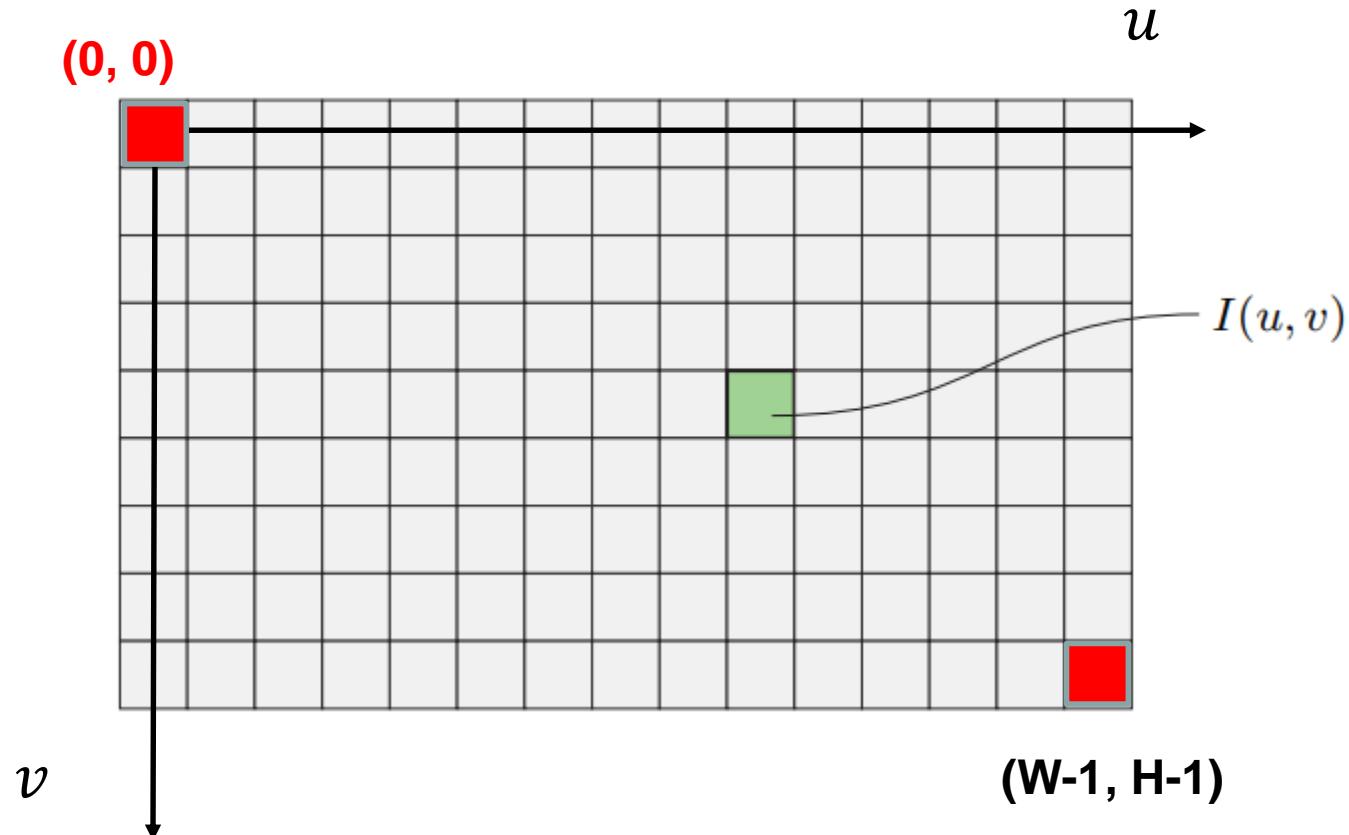
Reelle Zahl \longrightarrow Ganze Zahl

148	123	52	107	123	162	1
147	130	92	95	98	130	1
141	118	121	148	117	107	144
82	106	93	172	149	131	138
57	101	72	54	109	111	104
138	135	114	82	121	110	34
138	102	128	159	168	147	116
113	89	89	109	106	126	114
120	121	123	87	85	70	119
145	141	143	134	111	124	117
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

$g(u, v) \in \mathbb{N}$



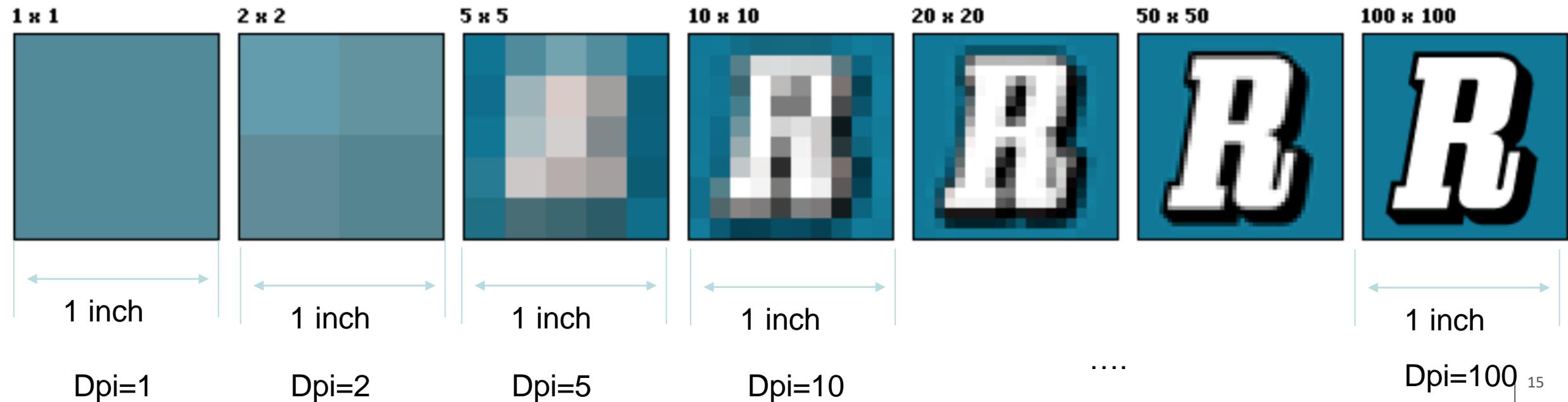
Bild Koordinatensystem



- *Breite des Bildes: W*
- *Höhe des Bildes: H*
- $u \in \{0, \dots, W - 1\}$
- $v \in \{0, \dots, H - 1\}$

Auflösung (resolution)

- Räumliche Ausdehnung in der realen Welt
- Auflösung = Anzahl der Bildelemente pro Längeneinheit (mm, inch, ...)
- Z.B. „dot per inch“ (dpi)



Pixelwerte

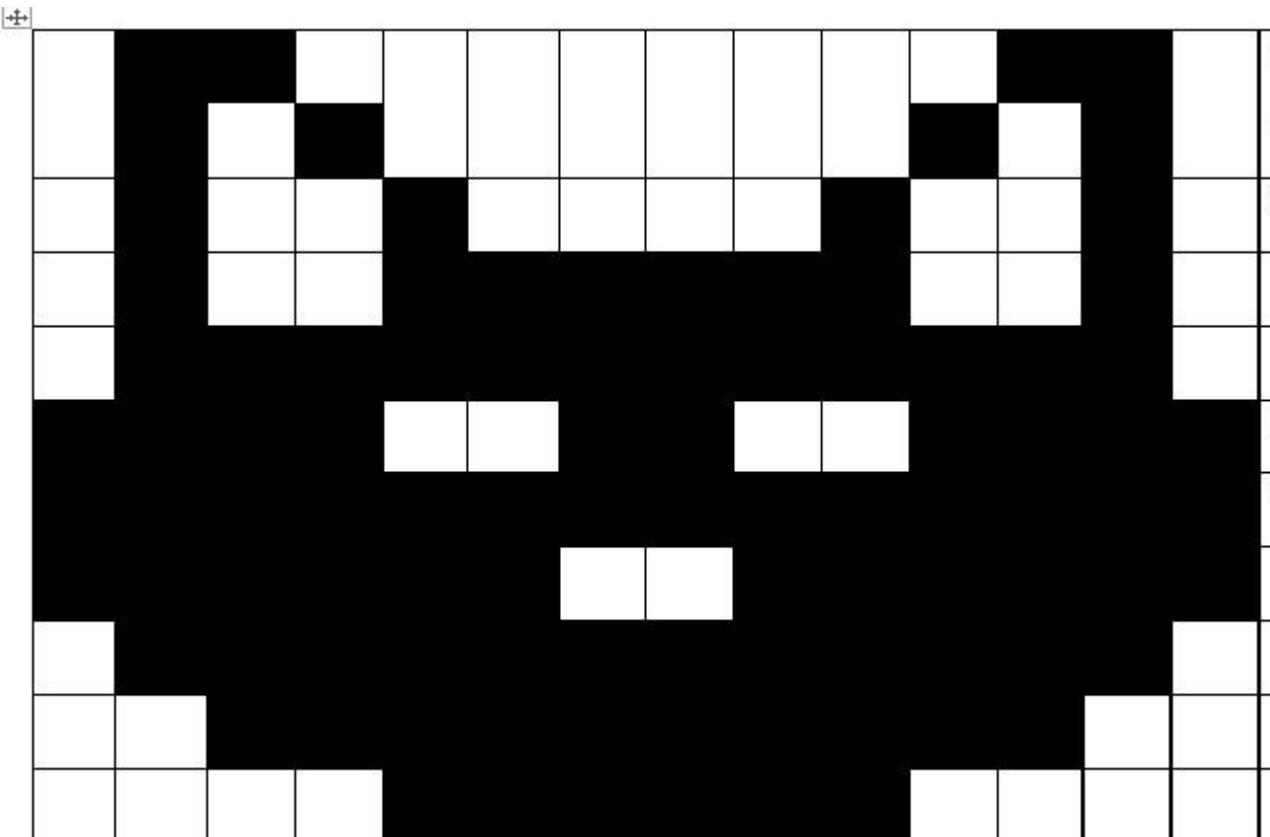
- Pixelwerte sind immer binäre Wörter der Länge k
- Ein Pixel kann grundsätzlich 2^k unterschiedliche Werte annehmen
- k: als „Bit-Tiefe“ bezeichnet

Grauwertbilder (Intensitätsbilder):

Kanäle	Bit/Pixel	Wertebereich	Anwendungen
1	1	0...1	Binärbilder: Dokumente, Illustration, Fax
1	8	0...255	Universell: Foto, Scan, Druck
1	12	0...4095	Hochwertig: Foto, Scan, Druck
1	14	0...16383	Professionell: Foto, Scan, Druck
1	16	0...65535	Höchste Qualität: Medizin, Astronomie

Binärbilder

- Bit-Tiefe: $k = 1$
- Pixelwerte: 0 oder 1
- Nur 1 Kanal



Grauwertbilder

- Bit-Tiefe:
 - 1-bit: (Binärbilder)
 - 8-bit
 - 16-bit
 - ...

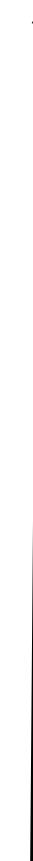
- Nur 1 Kanal



Grauwertbilder (Intensitätsbilder):

Kanäle	Bit/Pixel	Wertebereich	Anwendungen
1	1	0...1	Binärbilder: Dokumente, Illustration, Fax
1	8	0...255	Universell: Foto, Scan, Druck
1	12	0...4095	Hochwertig: Foto, Scan, Druck
1	14	0...16383	Professionell: Foto, Scan, Druck
1	16	0...65535	Höchste Qualität: Medizin, Astronomie

komplett weiß



255

65535

komplett schwarz

0

0

8-bit

16-bit

Quantisierung

- **Diskretisierung des Wertes (Quantisierung):** Kontinuierliche Werte werden auf natürliche Zahlen gerundet



256 Grauwerte (org)

 $G=256$ $K=8$ 

16 Grauwerte

 $G=16$ $K=4$ 

4 Grauwerte

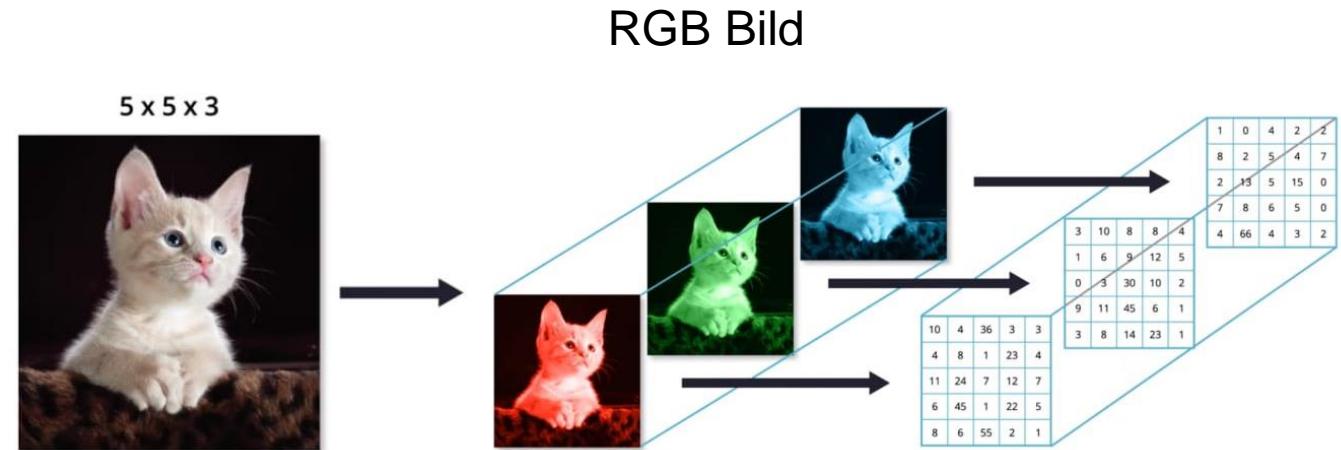
 $G=4$ $K=2$ 

2 Grauwerte

 $G=2$ $K=1$

Farbbilder

- 3 Kanäle, oft RGB (Rot, Grün, Blau)
- Typischerweise mit 8-Bit pro Kanal. Insgesamt 24-Bit pro Pixel



Farbbilder:

Kanäle	Bits/Pixel	Wertebereich	Anwendungen
3	24	$[0 \dots 255]^3$	RGB, universell: Foto, Scan, Druck
3	36	$[0 \dots 4095]^3$	RGB, hochwertig: Foto, Scan, Druck
3	42	$[0 \dots 16383]^3$	RGB, professionell: Foto, Scan, Druck
4	32	$[0 \dots 255]^4$	CMYK, digitale Druckvorstufe

Dateiformate für Bilder

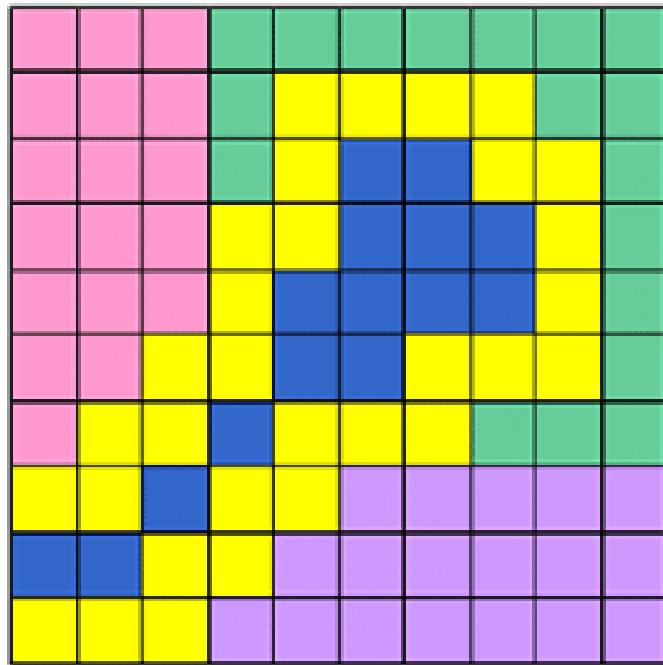
- Bilder in der Praxis meist in Dateien gespeichert
- Die Auswahl des richtigen Dateiformats nicht immer einfach:
 - **Art der Bilder:** Binärbilder, Grauwertbilder, Farbfotos
 - **Speicherbedarf und Kompression**
 - **Kompatibilität:** Austaschen von Bilddateien, Archivierung
 - **Anwendungsbereich:** im Web, im Film, im Computergrafik, ...?

Raster- vs. Vektordaten

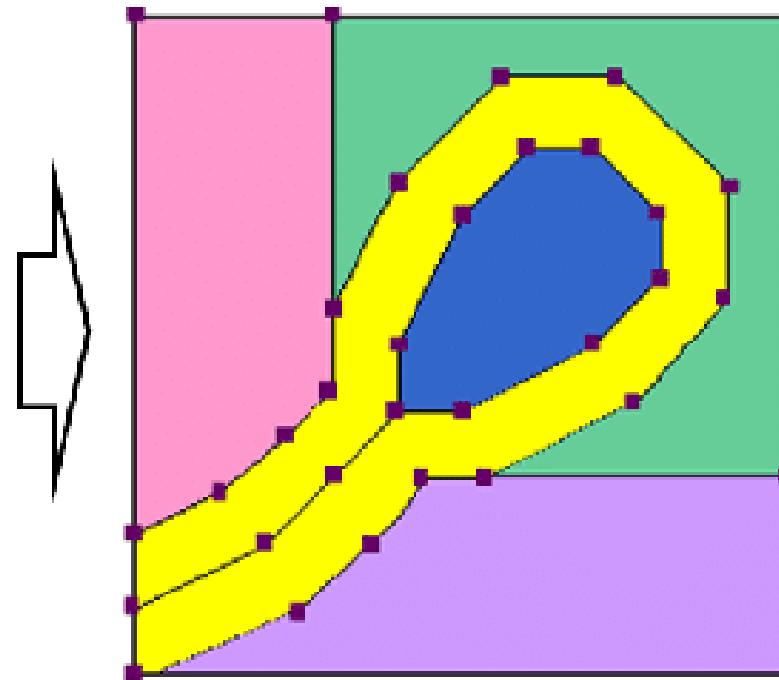
Raster Graphics	Vector Graphics
They are composed of pixels.	They are composed of paths.
In Raster Graphics, refresh process is independent of the complexity of the image.	Vector displays flicker when the number of primitives in the image become too large.
Graphic primitives are specified in terms of end points and must be scan converted into corresponding pixels.	Scan conversion is not required.
Raster graphics can draw mathematical curves, polygons and boundaries of curved primitives only by pixel approximation.	Vector graphics draw continuous and smooth lines.
Raster graphics cost less.	Vector graphics cost more as compared to raster graphics.
They occupy more space which depends on image quality.	They occupy less space.
File extensions: .BMP, .TIF, .GIF, .JPG	File Extensions: .SVG, .EPS, .PDF, .AI, .DXF

Raster- vs. Vektordaten

Rasterbild



Vectorbild



Bildformate

	JPG (JPEG)-Format	PNG-Format	TIFF-Format
Name	Joint Photographers Expert Group	Portable Networks Graphics	Tagged Image File Format
Verlust	Mit Komprimierung, verlustreich	Mit Komprimierung, aber verlustfrei	Mit/ohne Komprimierung, verlustfrei
Dateigröße	kleinere Dateigröße	größere Dateigröße	größere Dateigröße
Eigenschaften		Unterstützung von Transparenz	Anwendung für Druckvorstufen in Verlagen und Druckereien

- GIF (Graphics Interchange Format)
 - 8-bit pro Pixel, nur 256 Farben
- BMP (Windows Bitmap)
- PBM (Portable Bitmap Format)
- ...

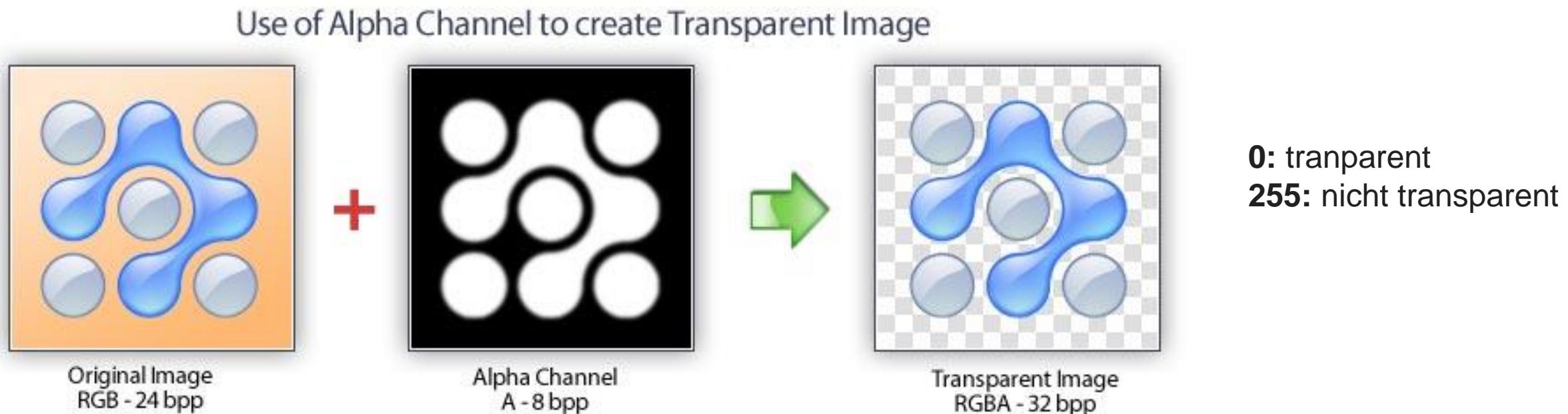
Dateigröße

File type	Size
Tiff, uncompressed	901K
Tiff, LZW lossless compression (yes, its actually bigger)	928K
JPG, High quality	319K
JPG, medium quality	188K
JPG, my usual web quality	105K
JPG, low quality / high compression	50K
JPG, absurdly high compression	18K
PNG, lossless compression	741K
GIF, lossless compression, but only 256 colors	286K

<https://matthews.sites.wfu.edu/misc/graphics/formats/formats.html#:~:text=TIFF%20is%20lossless%2C%20so%20there,browsers%20will%20not%20display%20TIFFs.>

Bildformate mit Alpha Kanal (α -Kanal)

- Ein zusätzlicher Kanal zur Transparenz, der in Rastergrafiken die Durchsichtigkeit der einzelnen Pixel speichert
- Im Alphakanal werden bei verschiedenen Grafikformaten (z. B. PNG, TIFF) Transparenzinformationen zusätzlich zu den eigentlichen Bilddaten gespeichert.



Dateiheader und Signaturen

- alle Bildformate sehen einen Dateiheader vor, der die wichtigsten Informationen über die nachfolgenden Bilddaten enthält, wie den Elementtyp, die Bildgröße usw.
- Die meisten Bildformate können durch Inspektion der ersten zwei Bytes der Datei identifiziert werden

<i>Format</i>	<i>Signatur</i>
PNG	0x89504e47
JPEG/JFIF	0xffd8ffe0
TIFF _{little}	0x49492a00
TIFF _{big}	0x4d4d002a

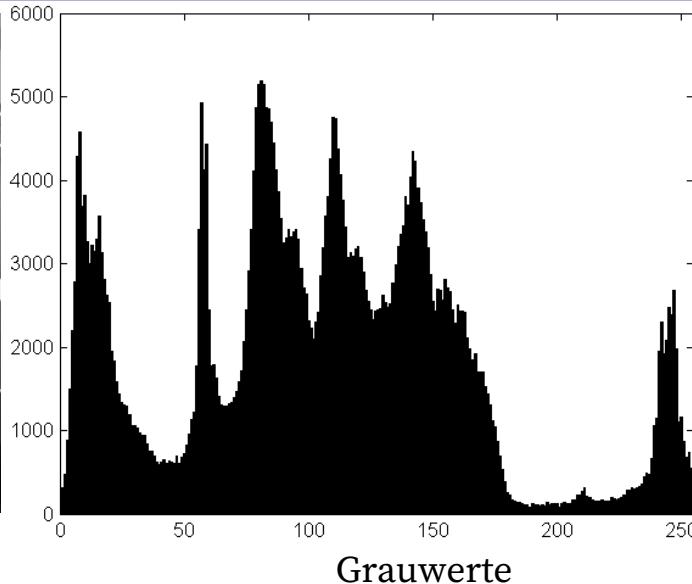
<i>Format</i>	<i>Signatur</i>
BMP	0x424d
GIF	0x4749463839
Photoshop	0x38425053
PS/EPS	0x25215053

CAT: Classroom Assessment Techniques

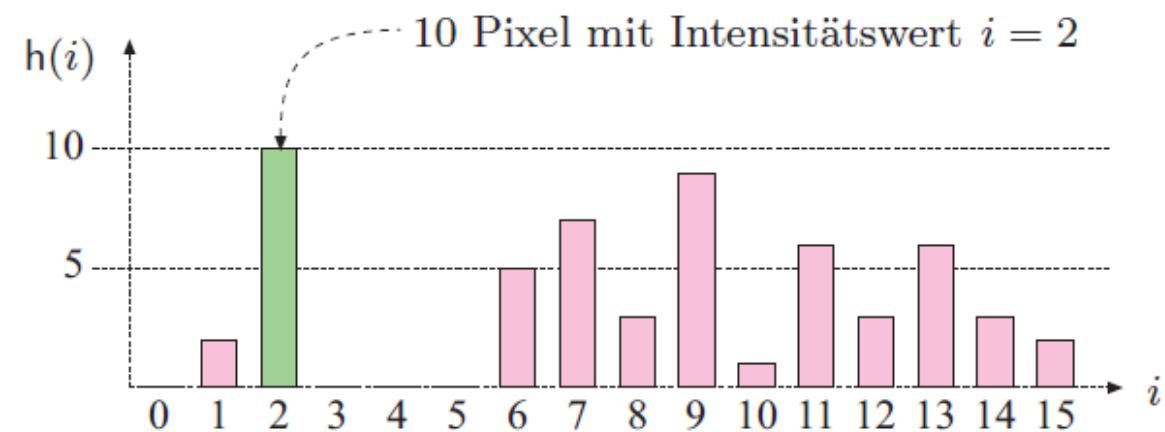
- **01_CV_Digitalisierung: Test01**

Histogramme

Histogramm – Grauwerte



$h(i)$ = die Anzahl der Pixel mit dem Intensitätswert i

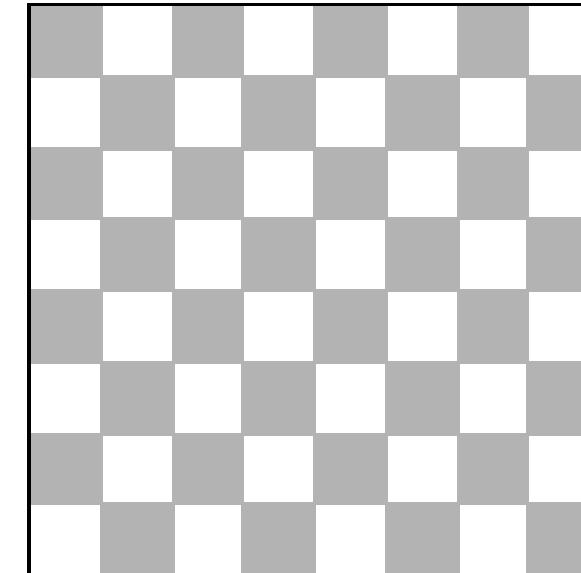
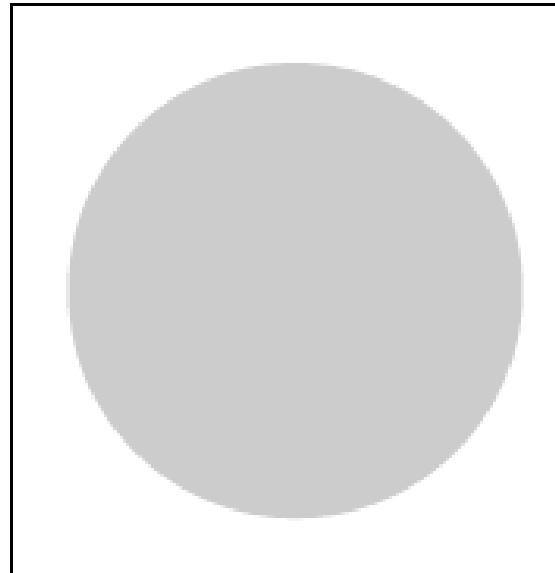
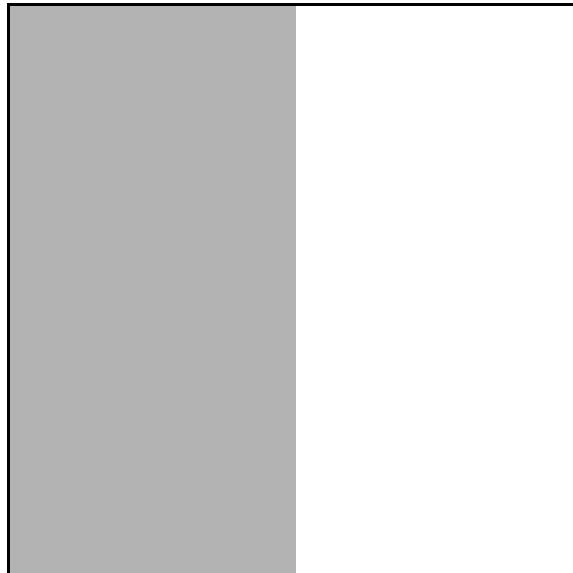


- Ein (Grauwert) Histogramm stellt die Verteilung der Grauwerte eines Bildes dar

$h(i)$	0	2	10	0	0	0	5	7	3	9	1	6	3	6	3	2
i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Histogramm

- Histogramme zeigen WAS, nicht WO

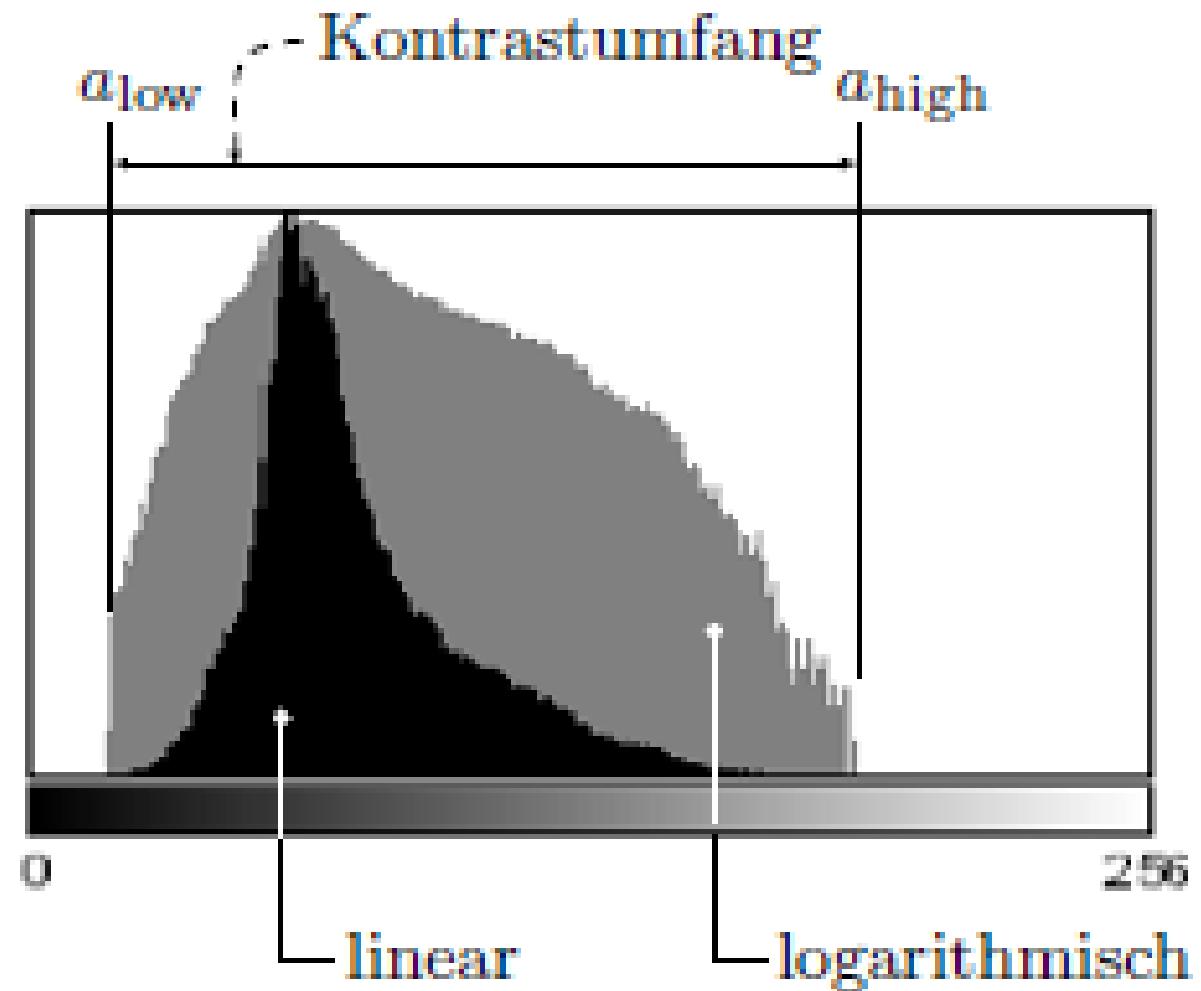


Drei recht unterschiedliche Bilder mit identischen Histogrammen

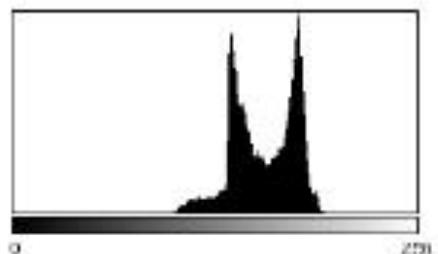
Histogramm – Kontrast

- **Kontrast:** der Bereich von Intensitätsstufen, die in einem konkreten Bild effektiv genutzt werden, also die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Pixelwert.
- **Vollem Kontrast,** wenn der gesamte Bereich (schwarz bis weiß) verwendet wird.

$$a = a_{\min}, \dots, a_{\max} = 0, \dots, K - 1$$

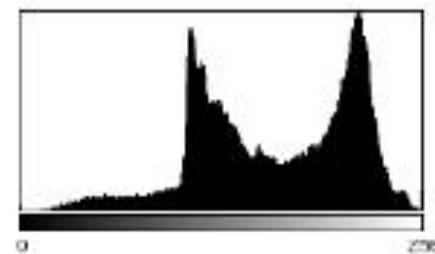


Histogramm – Kontrast



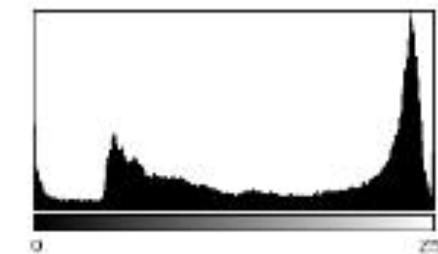
(a)

Niedriger
Kontrast



(b)

Normaler
Kontrast

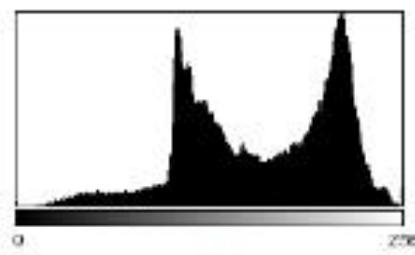


(c)

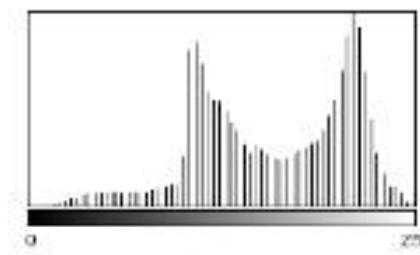
Hoher
Kontrast

Histogramm – Dynamik

- Dynamik = die Anzahl verschiedener Pixelwerte in einem Bild
- Max Dynamik (Grauwert, 8-bit), wenn die Anzahl von Pixelwerten $K = 256$



(a)



(b)



(c)

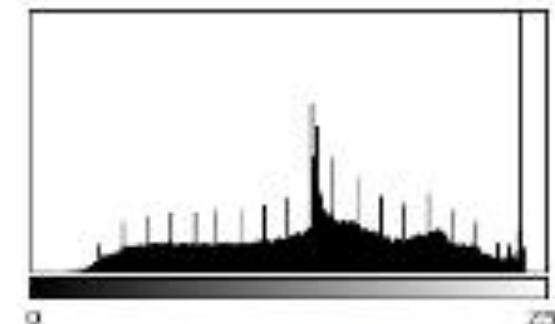
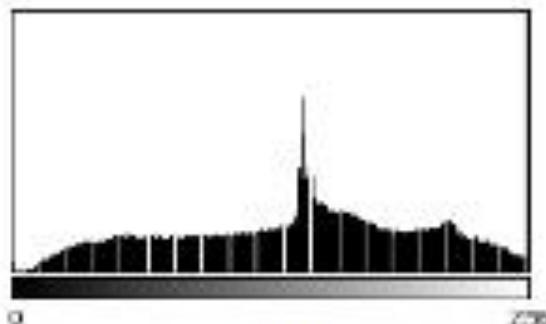
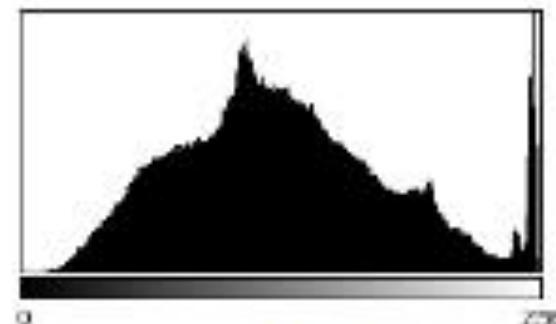
(A) Hohe Dynamik

(B) Niedrige Dynamik mit 64 Intensitätswerten

(C) Extrem niedrige Dynamik mit nur 6 Intensitätswerten

Anwendungen: Bildfehler

- Histogramme können verschiedene Arten von Bildfehlern anzeigen
- **Aufnahmen von natürlichen Szenen: mit einer weitgehend glatten Verteilung der Intensitätswerte ohne einzelne, isolierte Spitzen rechnen**



(A) Sättigungseffekt im Bereich der hohen Intensitäten
(B) Histogrammlöcher
(C) Histogrammspitzen

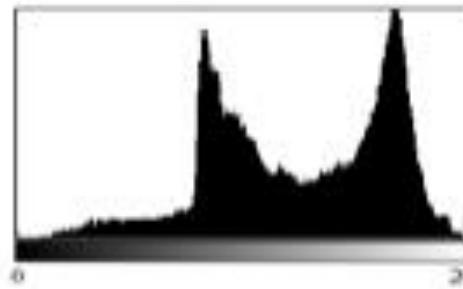
(a)

(b)

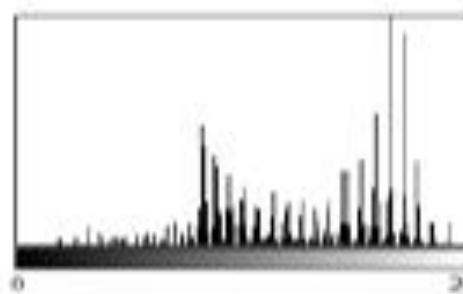
(c)

Anwendungen: Bildfehler

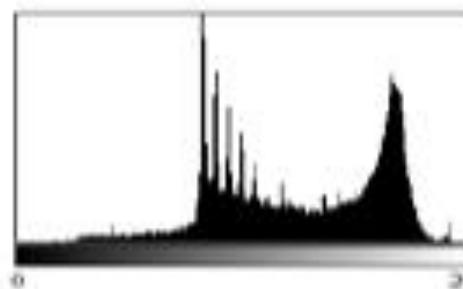
- Bildkompression hinterlassen bisweilen markante Spuren im Histogramm



(a) Original-Histogramm

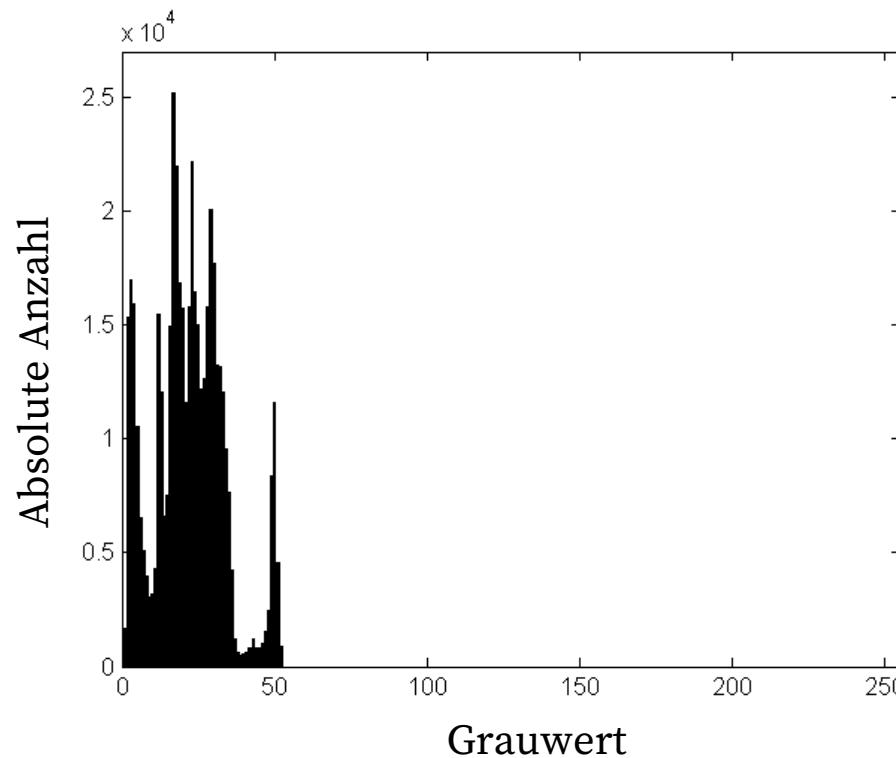
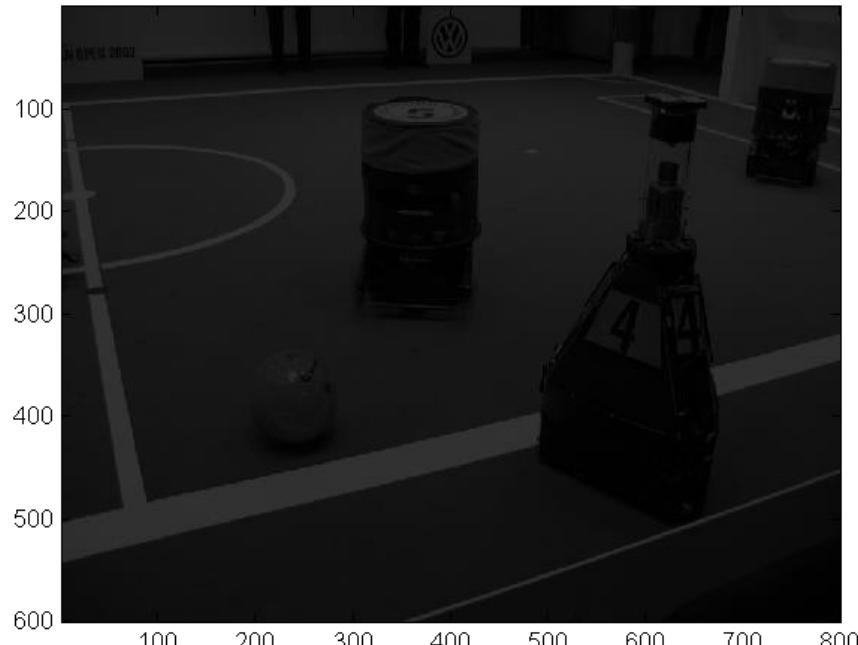


(b) Histogramm nach der GIF Konvertierung



(c) Bei der nachfolgenden Skalierung des
RGB-Farbbilds auf 50% seiner Größe

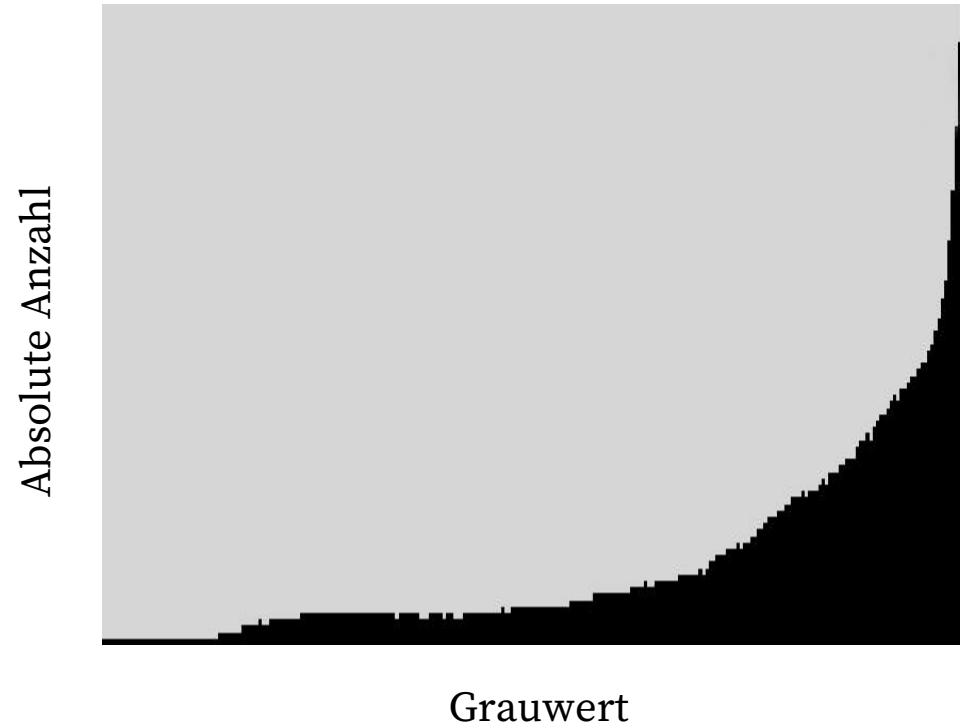
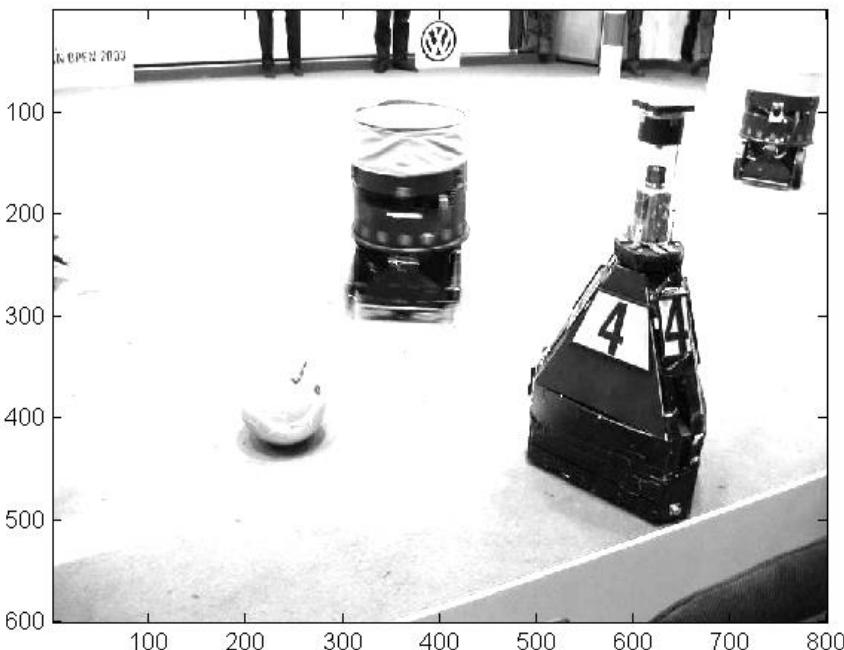
Histogramm – Anwendungen



- ***Unterbelichtung***

- Öffnen der Blende
- Belichtungszeit erhöhen
- Multiplikation der Grauwerte mit konstantem Wert
- Automatische Funktion (auto-exposure) in den meisten Kameras realisiert

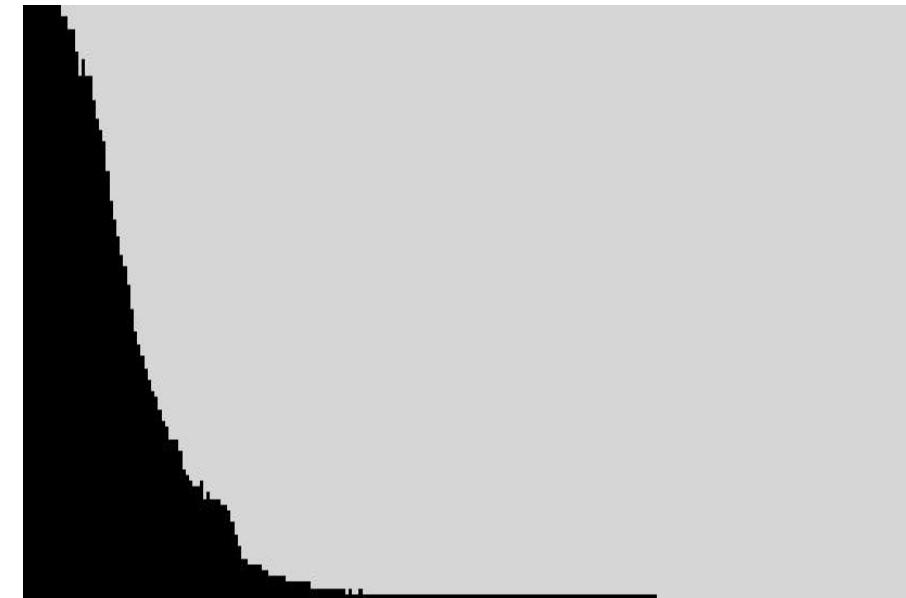
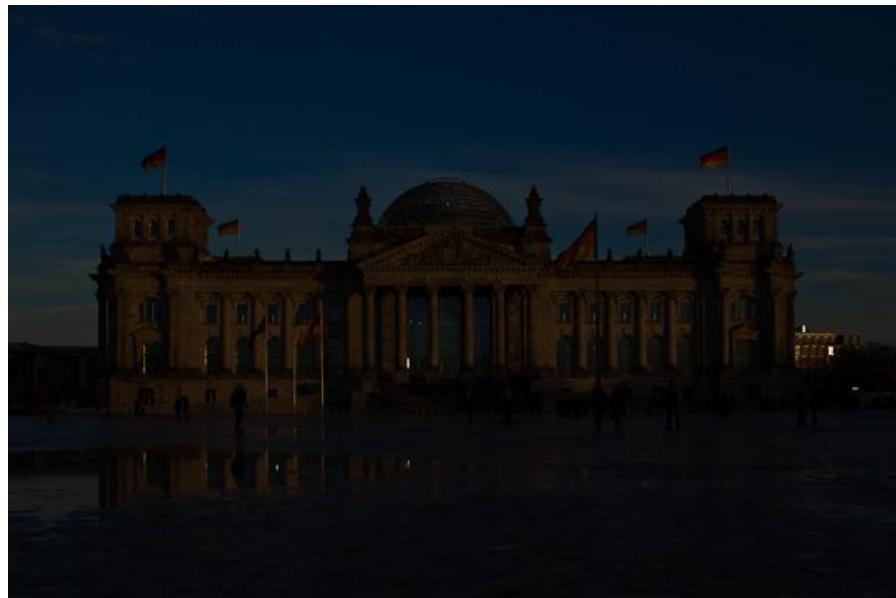
Anwendungen: Bildfehler



■ **Überbelichtung**

- Schließen der Blende
- Belichtungszeit reduzieren
- Die *Sättigung* (abgeschnittene Werte) stellt einen Informationsverlust dar, keine Rekonstruktion möglich

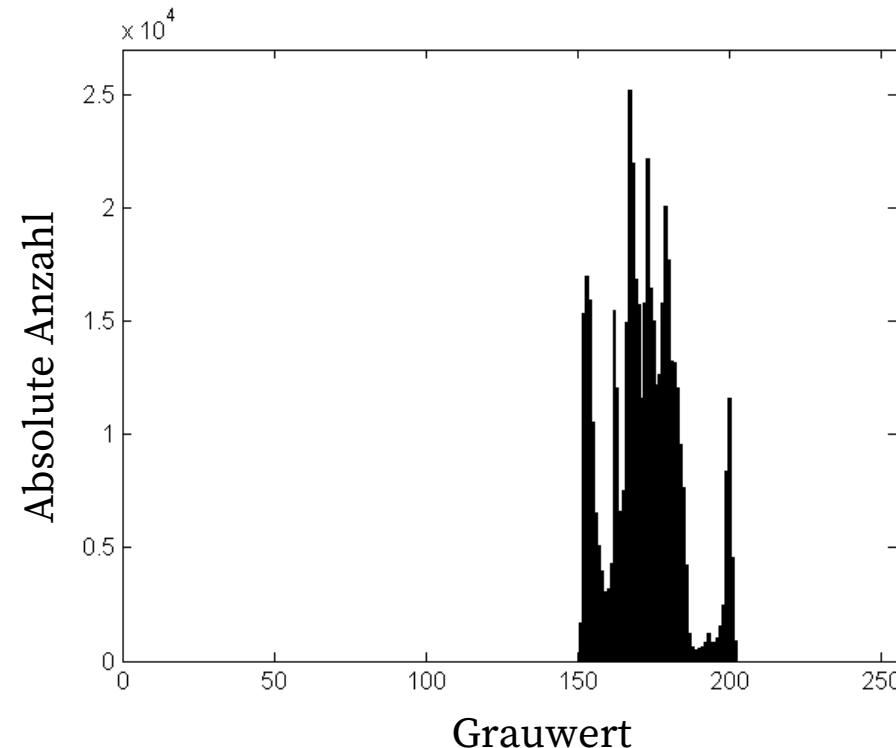
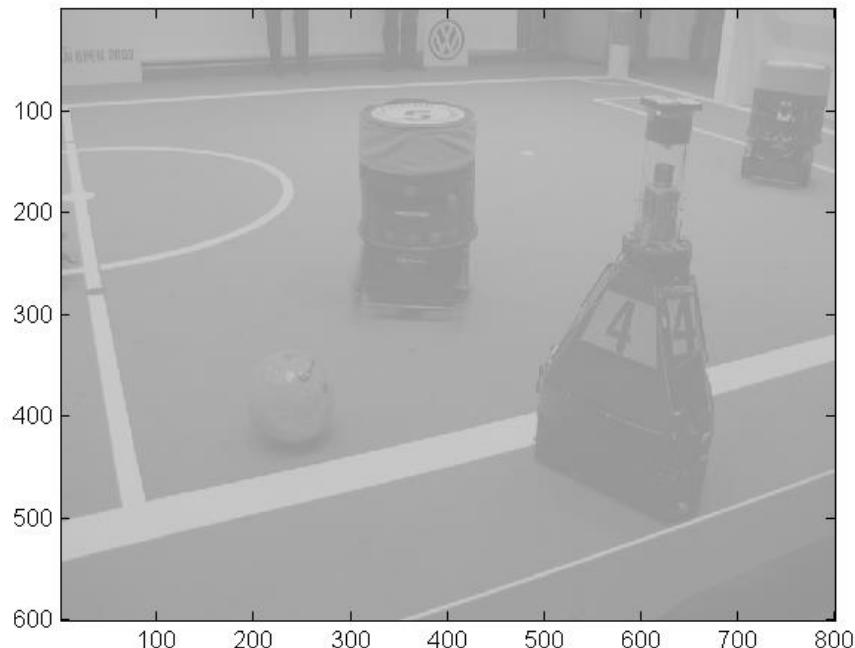
Anwendungen: Bildfehler



■ Unterbelichtung

- Belichtungszeit erhöhen
- Die *Sättigung* (abgeschnittene Werte) stellt einen Informationsverlust dar, keine Rekonstruktion möglich

Anwendungen: Bildfehler



■ ***Geringer Kontrast***

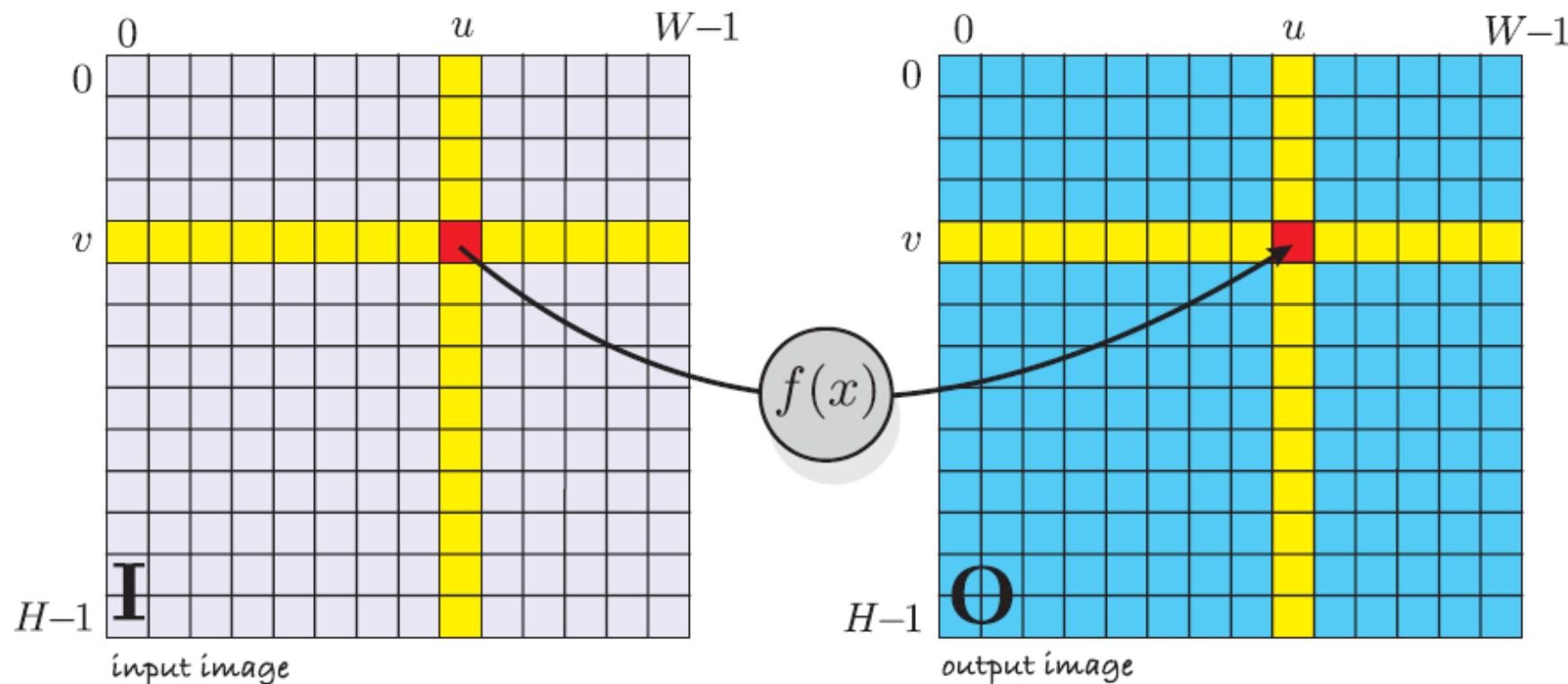
- Multiplikation der Grauwerte mit Konstantem Wert und anschließender Verschiebung
- Rekonstruktion nicht perfekt

Histogramme & Punktoperation

Punktoperationen

- **Jedes Pixel** des Ausgangsbildes, ist eine Funktion von **einem Pixel** des Eingangsbildes

$$\mathbf{O}[u, v] = f(\mathbf{I}[u, v])$$

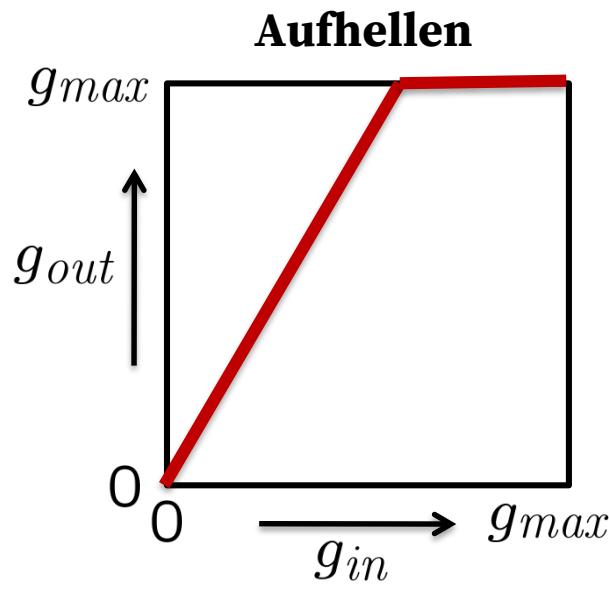


Lineare Grauwerttransformationen

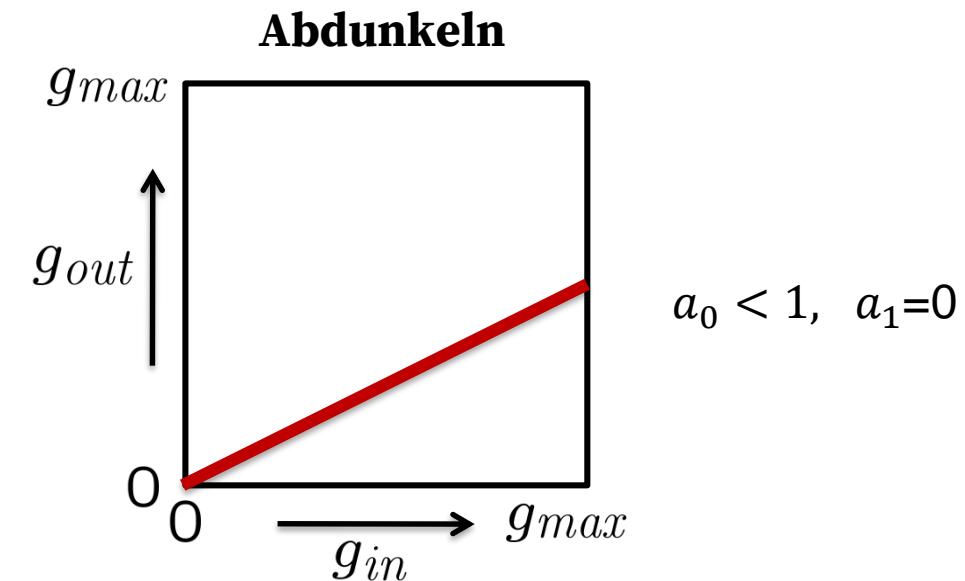
Die mathematisch einfachste Operation auf einem Histogramm stellt die lineare Skalierung nach folgender Formel dar

$$g_{out}(u, v) = a_0 g_{in}(u, v) + a_1$$

An einer gleichen Position (u, v)



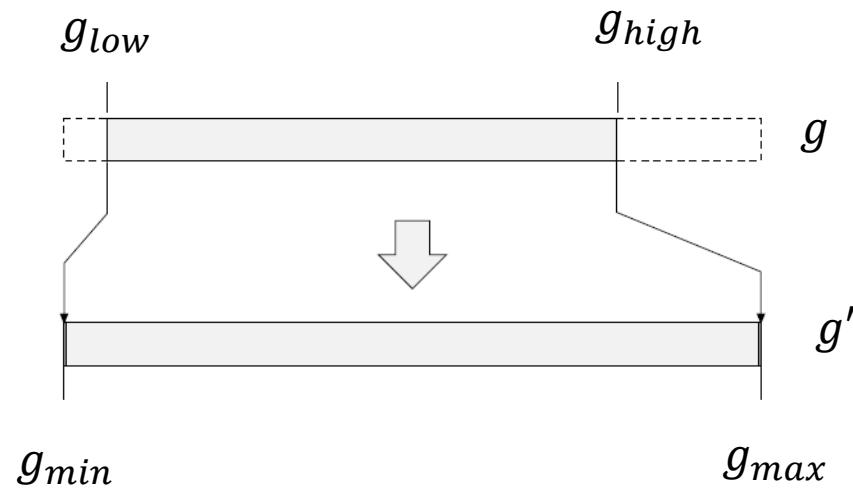
$$a_0 > 1, \quad a_1 = 0$$



$$a_0 < 1, \quad a_1 = 0$$

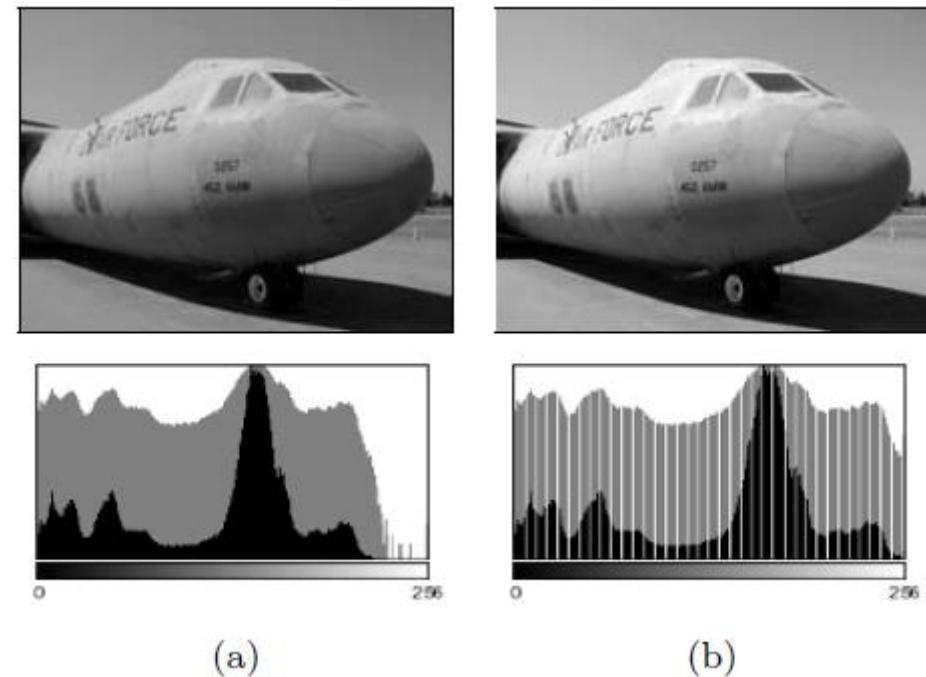
Histogramm – Automatische Kontrastanpassung

- Auch **Histogrammnormalisierung** genannt
- Versuchen, den maximalen Kontrastbereich zu nutzen!



Auto-Kontrast-Funktion:

$$g' = f(g) = (g - g_{low}) \frac{g_{max} - g_{min}}{g_{high} - g_{low}}$$



(a) Original
(b) Nach Kontrastanpassung

Histogramm – Automatische Kontrastanpassung

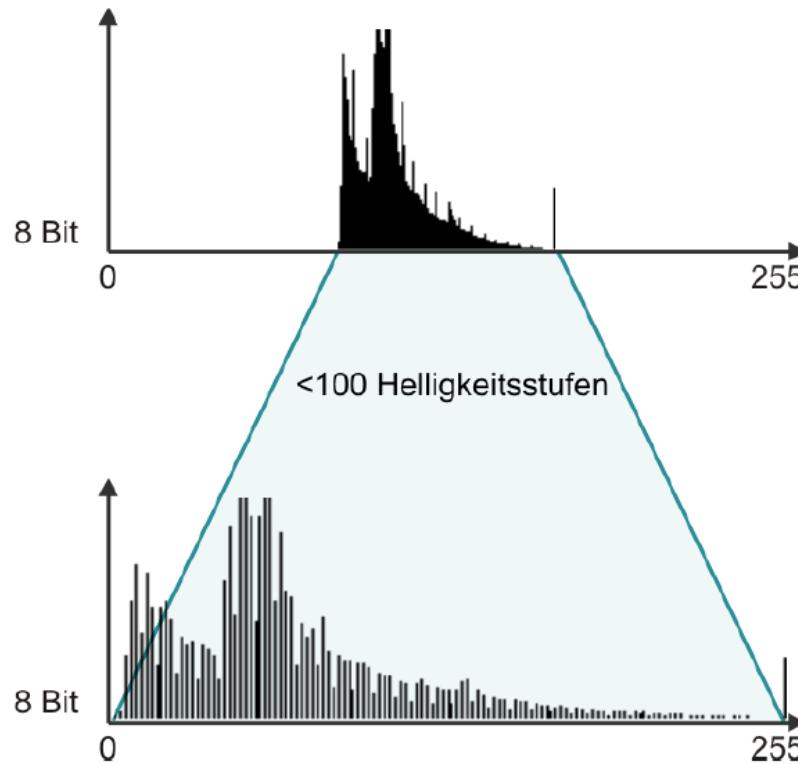


Abb. 7: Kontrastanpassung bei 8 Bit Ausgangsdaten

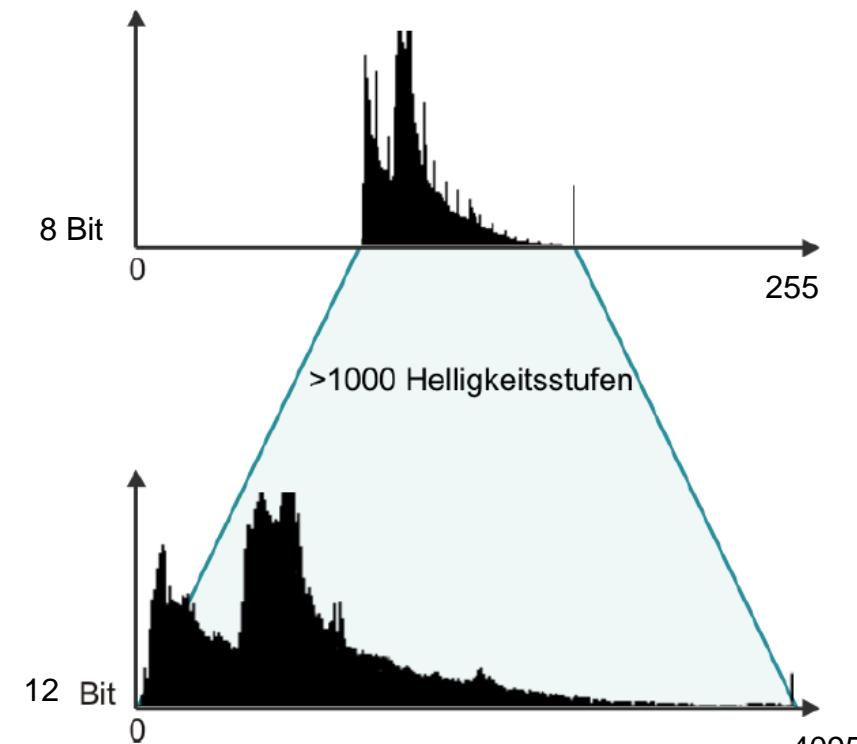
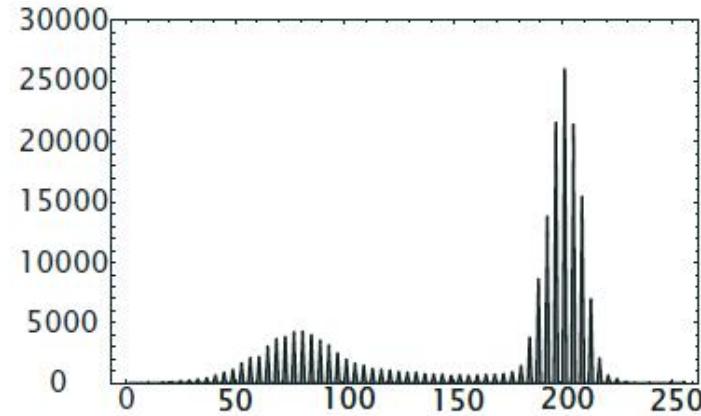
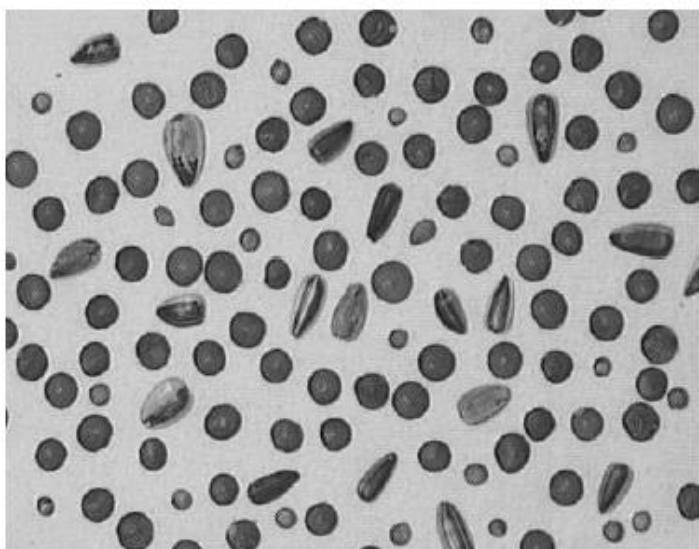
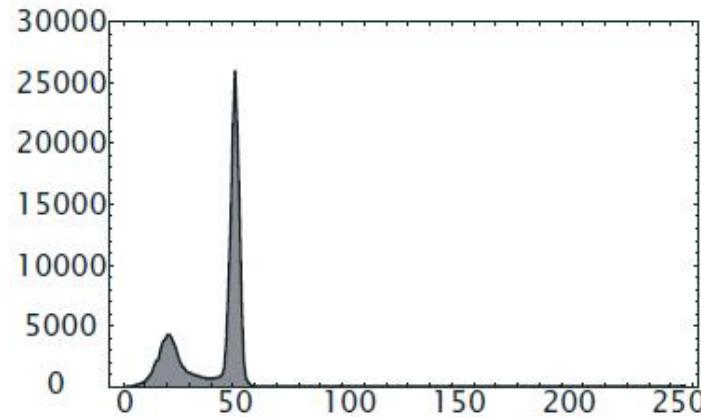
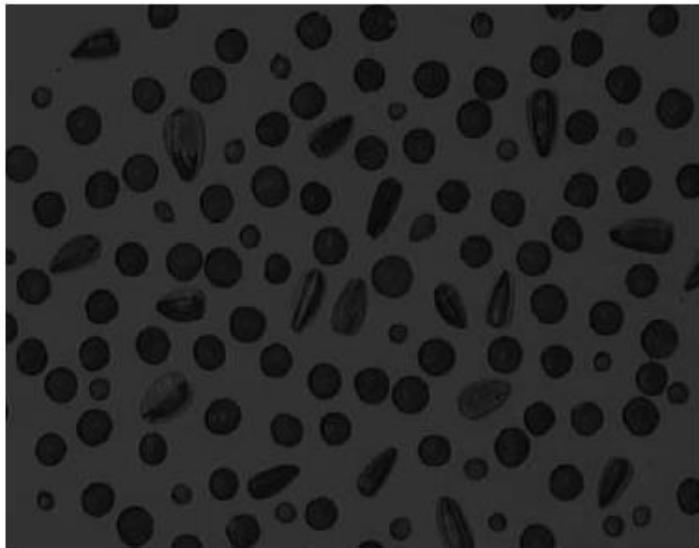
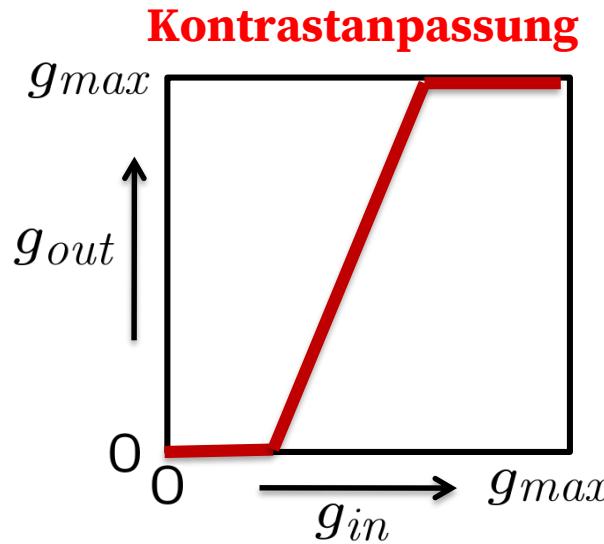


Abb. 8: Kontrastanpassung bei 12 Bit Ausgangsdaten

Histogramm – Automatische Kontrastanpassung



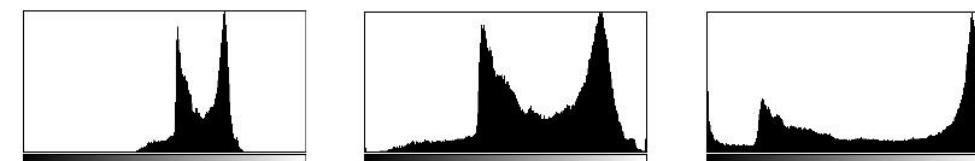
Histogramm: Erweiterte Kontrastanpassung



Die spezielle Form der Anpassung wird auch **clipping** genannt:
Zunächst werden die dunklen und hellen Werte abgeschnitten,
danach das Histogramm neu auf 255 Werte verteilt (gespreizt)

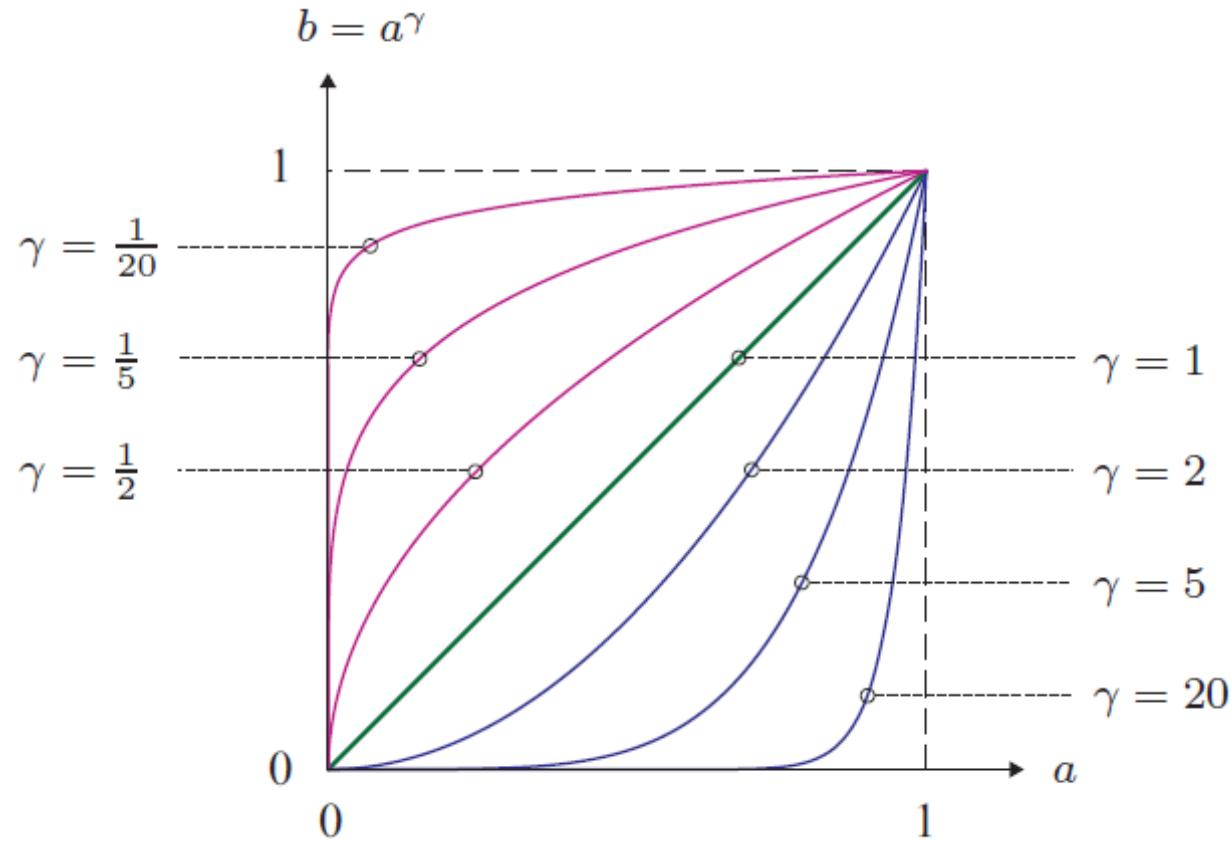
$$g_{out} = \begin{cases} 0 & \text{for } 0 \leq g_{in} \leq g_0 \\ \frac{255}{g_1 - g_0}(g_{in} - g_0) & \text{for } g_0 < g_{in} < g_1 \\ 255 & \text{for } g_1 \leq g_{in} \leq 255 \end{cases}$$

g_0, g_1 sind
Parameters
des Clippings



- (a) Original
- (b) $g_0 = g_{low}, g_1 = g_{high}$ (automatische Anpassung)
- (c) $g_0 > g_{low}, g_1 < g_{high}$ (**clipping**)

Gammakorrektur



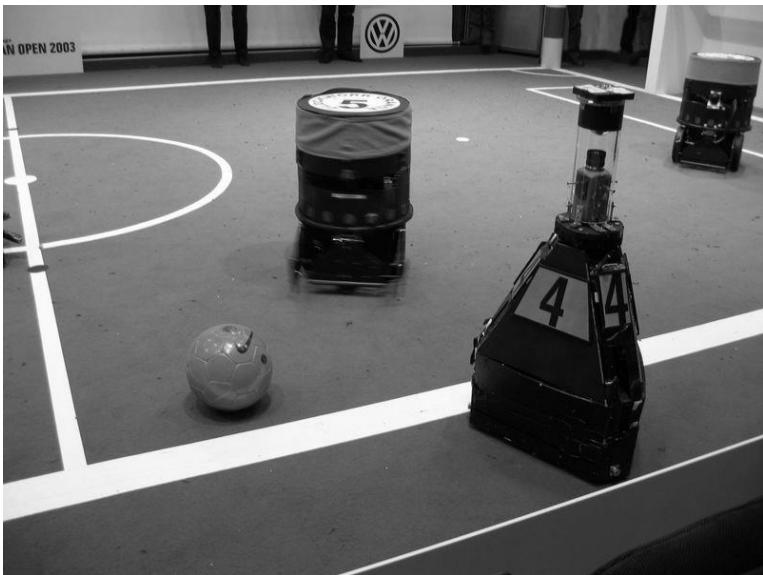
$$V_{out} = A V_{in}^\gamma$$

- $V_{in} \in [0, 1]$: Input signal
- V_{out} : Output signal
- A : Konstant

Nichtlineare Transformation!

Grauwerttransformationen: Gammakorrektur

$$\gamma = 1$$



$$\gamma = 0.5$$



$$\gamma = 2$$

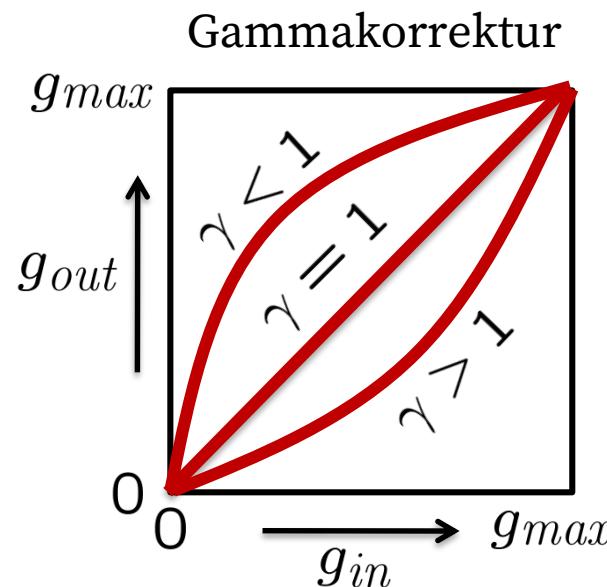
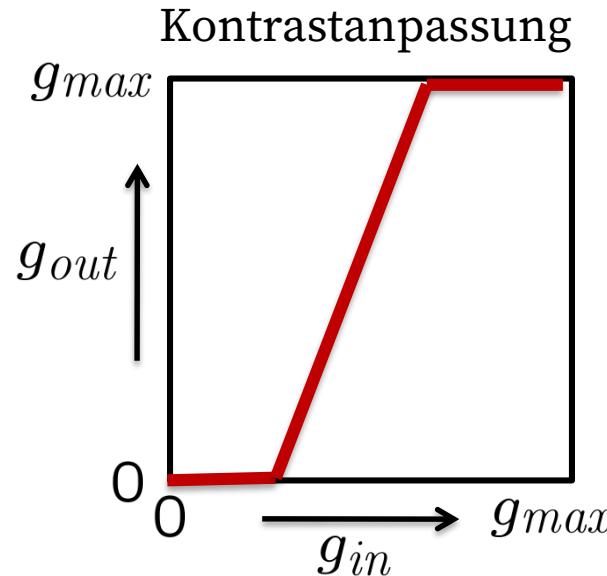


■ **Gammakorrektur**

$$g_{\text{neu}} = g_{\max} \cdot \left(\frac{g_{\text{alt}}}{g_{\max}} \right)^{\gamma}$$

- Weiß und schwarz werden beibehalten
- Transformation ist nichtlinear
- 8-bit Graubilder: $g_{\max} = 256$

Grauwerttransformationen: Vergleich



Die spezielle Form der Anpassung wird auch **clipping** genannt:
Zunächst werden die dunklen und hellen Werte abgeschnitten,
danach das Histogramm neu auf 255 Werte verteilt (gespreizt)

$$g_{out} = \begin{cases} 0 & \text{for } 0 \leq g_{in} \leq g_0 \\ \frac{255}{g_1 - g_0}(g_{in} - g_0) & \text{for } g_0 < g_{in} < g_1 \\ 255 & \text{for } g_1 \leq g_{in} \leq 255 \end{cases}$$

$$\tilde{g}_{out} = \tilde{g}_{in}^\gamma \quad 0 \leq \tilde{g}_{in} \leq 1$$

Die **Gammakorrektur** kommt üblicherweise zum Einsatz, um die Empfindlichkeitskennlinie analoger Kameras (Gamma Faktor) auszugleichen.
In Abhängigkeit des Wertes werden entweder hohe oder niedrige Grauwerte gedehnt bzw. gestaucht.

Histogramm: Grauwerttransformationen Beispiele



Original / Eingangsbild



Aufhellen

Histogramm: Grauwerttransformationen Beispiele



Original / Eingangsbild



Histogrammspreizung (Normalisierung)

Histogramm: Grauwerttransformationen Beispiele



Original / Eingangsbild



Gammakorrektur

Histogramm: Grauwerttransformationen Beispiele

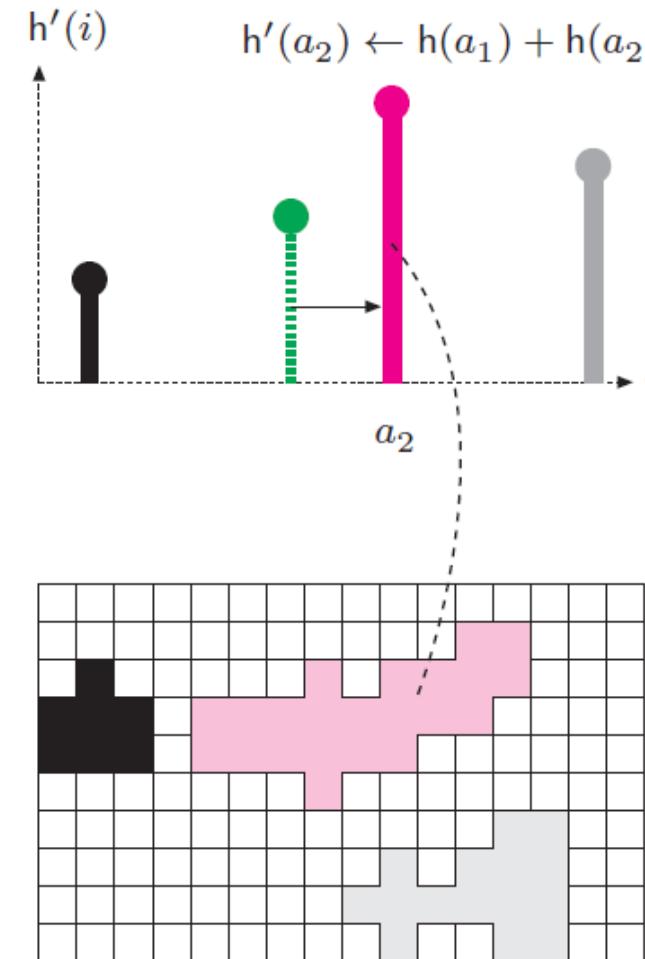
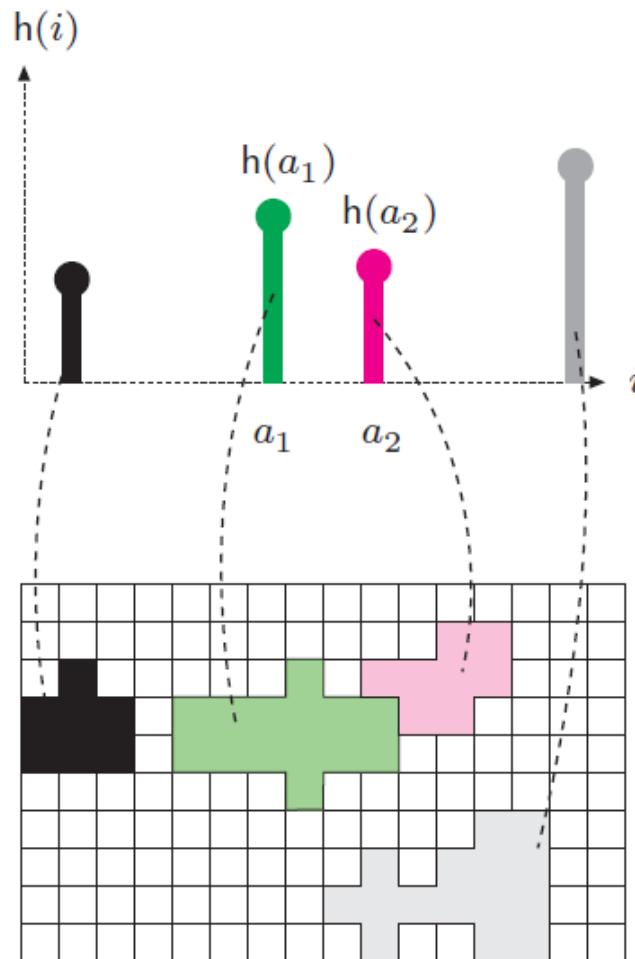


Original / Eingangsbild



Binarisierung mit Schwellwert

Histogramm – Effekte von Punktoperationen

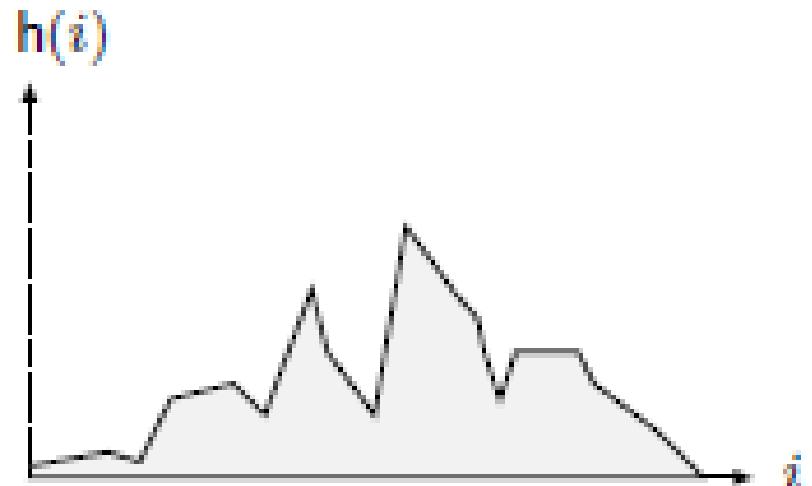


- Punktoperationen können Histogrammelemente nur **verschieben** oder **verschmelzen**
- Eine **Aufteilung** einer Histogrammelemente ist *nicht möglich*

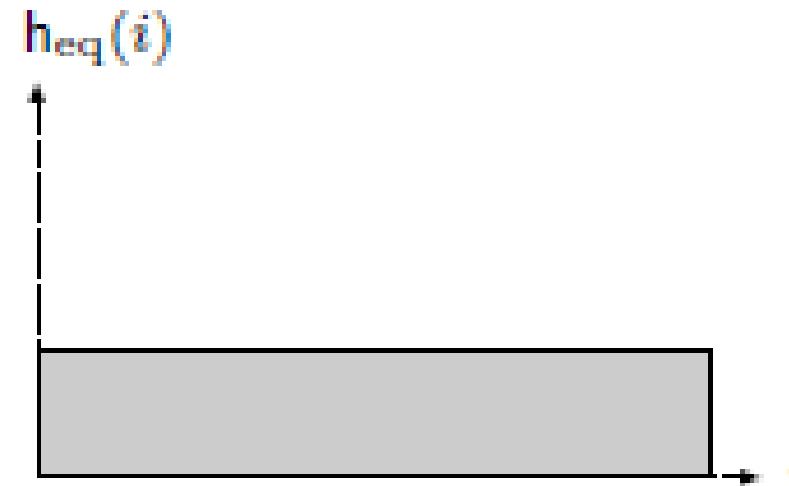
Histogrammausgleich („Histogram equalization“)

- Ziel ist es, ein Bild durch eine homogene Punktoperation so zu verändern, dass das Ergebnisbild ein **gleichförmig verteiltes Histogramm** aufweist
- Man kann daher das Bild nur so weit verändern, dass das Ergebnis ein **annähernd** gleichverteiltes Histogramm aufweist
- Warum kann **nur annährend** gleichverteiltes Histogram erzielt werden? nicht genau gleichverteiltes Histogram?

Original Histogramm

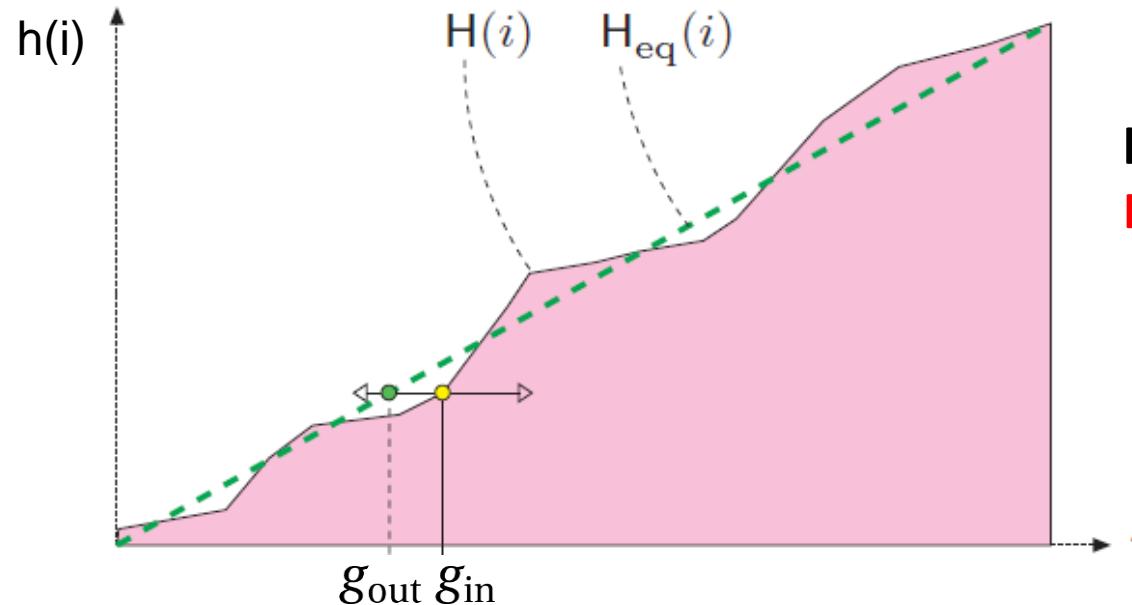


Ziel Histogramm (Idealfall)



Histogrammausgleich: Lösungsidee

- Effizienterweise wird hierfür auf *kumulativen Histogrammen* gearbeitet



$h(i)$ = die *Anzahl* der Pixel mit
Intensitätswerten $\leq i$

- Die resultierende Formel lautet $g_{out} = H(g_{in}) \cdot \frac{K-1}{M \cdot N}$ mit $H(g_{in}) = \sum_{k=0}^{g_{in}} h(k)$
 - M, N : Breite und Höhe des Bildes
 - $H(g_{in})$: Wert des *kumulativen Histogramms*, gegeben den Grauwert g_{in}
 - K : Anzahl der möglichen Grauwerte (in der Regel 8 bit, $K = 256$)

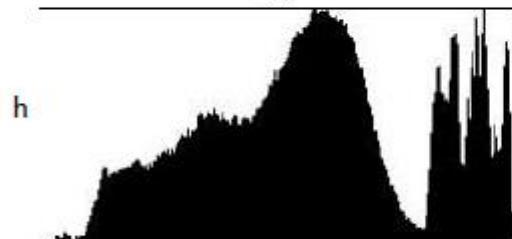
Histogrammausgleich: Beispiel



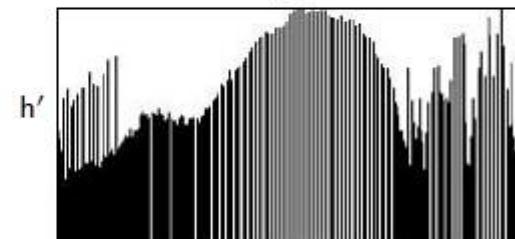
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

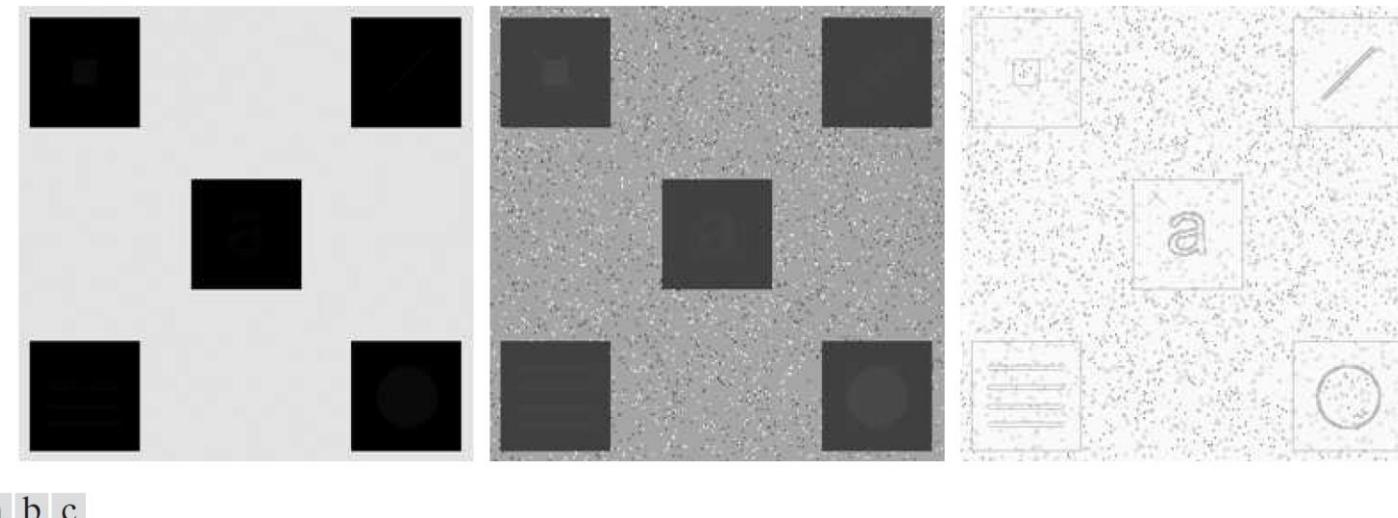


(f)

- **01_CV_Digitalisierung: Test02**

Lokale Histogrammverarbeitung

- Die zuvor besprochenen Histogramm-Verarbeitungsmethoden sind **global**
- Bei der **lokalen** Histogrammverarbeitung wird versucht, nur lokale Regionen eines Bildes in der Punktoperationen zu verwenden
- Unterschiedliche Regionen in einem Bild bekommen am Ende unterschiedliche Punktoperationen

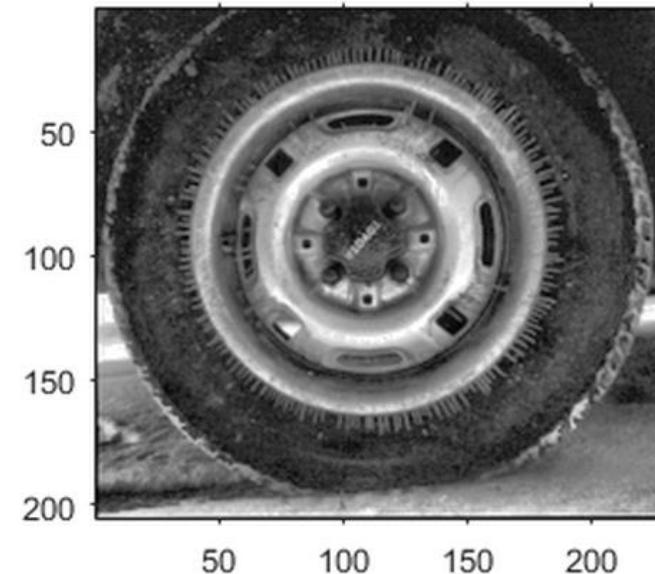
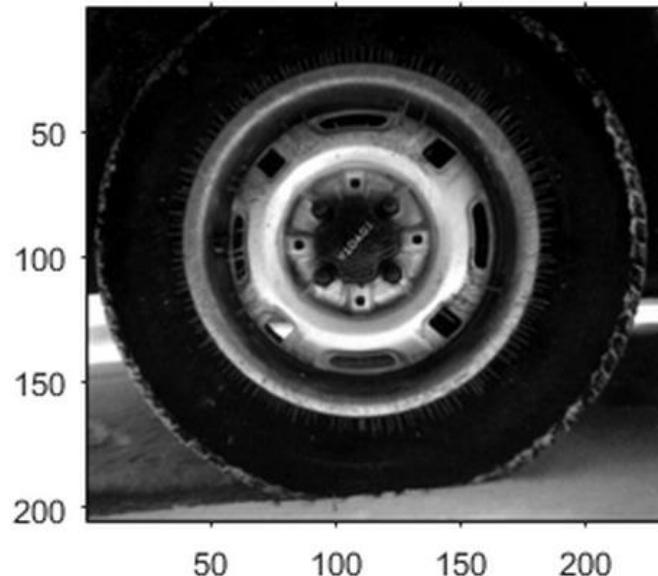


a b c

FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization. (c) Result of local histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size 3×3 .

CLAHE – Adaptiver Histogrammausgleich

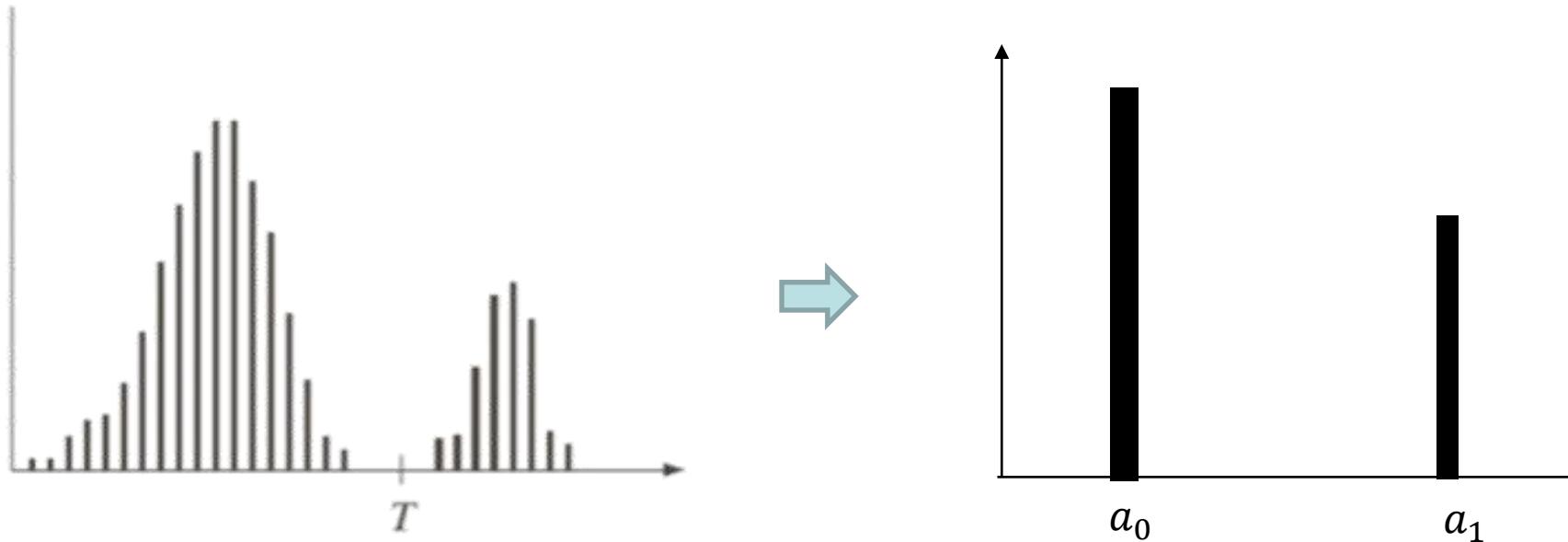
- Eine Spezialisierung der lokale Verarbeitung ist:
 - Contrast-limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE, verfügbar in OpenCV, cv2.createCLAHE())
 - CLAHE arbeitet auf Bildsegmenten (Kacheln), nicht dem Gesamtbild



Histogramm: Schwellwertoperation (thresholding)

- Schwellwertoperation: Bildwerte werden in zwei Klassen getrennt, abhängig von einem vorgegebenen Schwellwert ("threshold value")
- Binarisierung: $a_0=0$, $a_1=255$ (oder 1 für 1-bit Bilder)

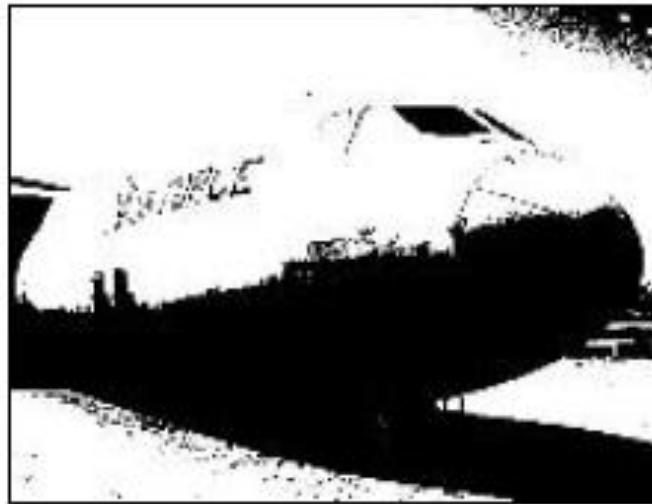
$$g'(u, v) = \begin{cases} a_0, & \text{if } g(u, v) > T \\ a_1, & \text{if } g(u, v) \leq T \end{cases}$$



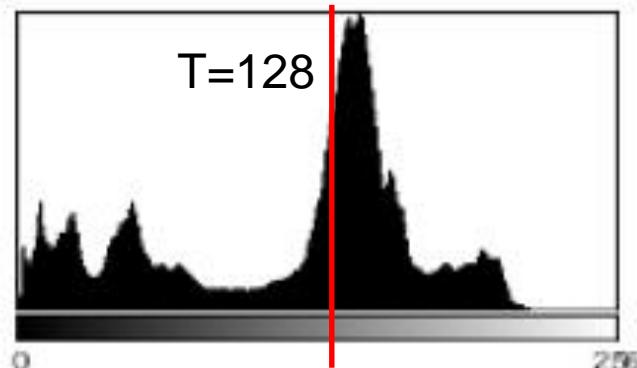
Histogramm: Schwellwertoperation (thresholding)



(a)



(b)



(c)



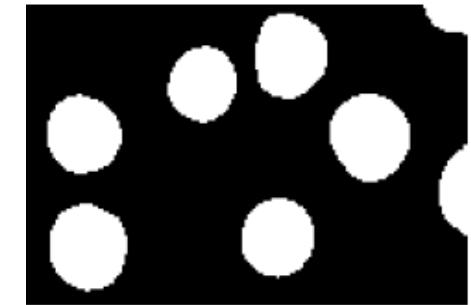
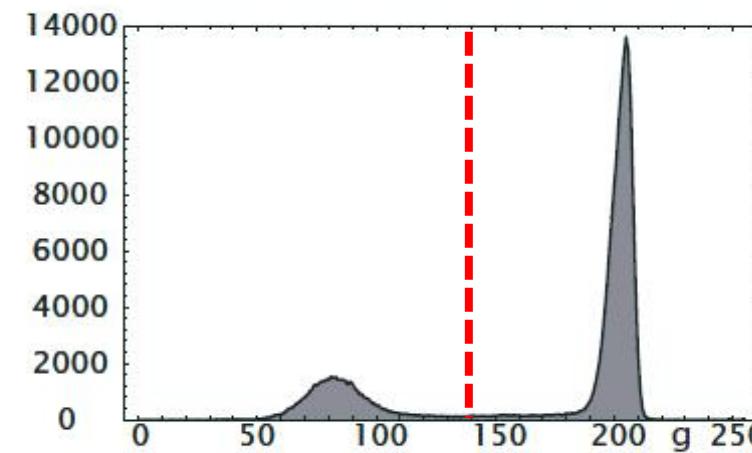
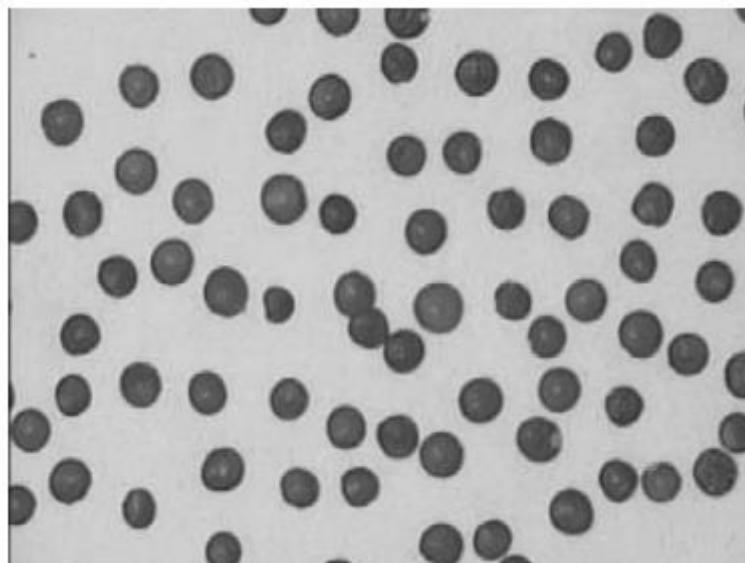
(d)

(a) Original
(b) Nach Schwellwertoperation

Binarisierung: $a_0=0$, $a_1=255$

Histogrammanwendungen – Schwellwertbildung

- In vielen Bildern kann eine Separierung von Vorder- und Hintergrund auf Basis von Grauwerten erfolgen
- Der Schwellwert kann im Histogramm abgelesen werden



Schwellwert: 147

Zusammenfassung

- Bildgewinnung und Digitalisierung
 - Diskretisierung des Ortes
 - Quantisierung: von der Intensität zum Grauwert
- Pixel, Koordinatensystem, Auflösung
- Binärbilder, Grauwertbilder, Farbbilder
- Dateiformate
 - Raster- und Vektordaten
 - Bildformate (JPG, PNG, TIFF)

Zusammenfassung

- Histogramm & Operation
 - Kontrastanpassung
 - Gammakorrektur
 - Histogrammausgleich
 - Schwellwertoperation

Zusammenfassung

- Wo kann man mehr erfahren?
 - Burger, Kapitel 2, 4 und 5 (Digitale Bilder, Histogramme, Punktoperationen)
 - Gonzalez, Kapitel 2 und 3 (Histogramme und Punktoperatoren)



Referenz

- [1] Burger, Burge, Digitale Bildverarbeitung – Eine algorithmische Einführung, 3rd ed., 2015
- [2] Gonzalez, Woods, Digital Image Processing, 4th ed., 2017