

2D Graphik: Digitalphotographie, Abtastung von Bildern

Vorlesung „2D Graphik“

Andreas Butz, Otmar Hilliges

Freitag, 11. November 2005

Themen heute

- Bilder aus der Digitalphotographie
 - Kontrastumfang, Histogramme
 - Kurzeinführung Zonensystem
 - High Dynamic Range (HDR) Bilder
- Abtastung von Bildern
 - Sampling
 - Aliasing
 - Moire Muster
 - Konvolution und Korrelation

Bilder aus der Digitalphotographie

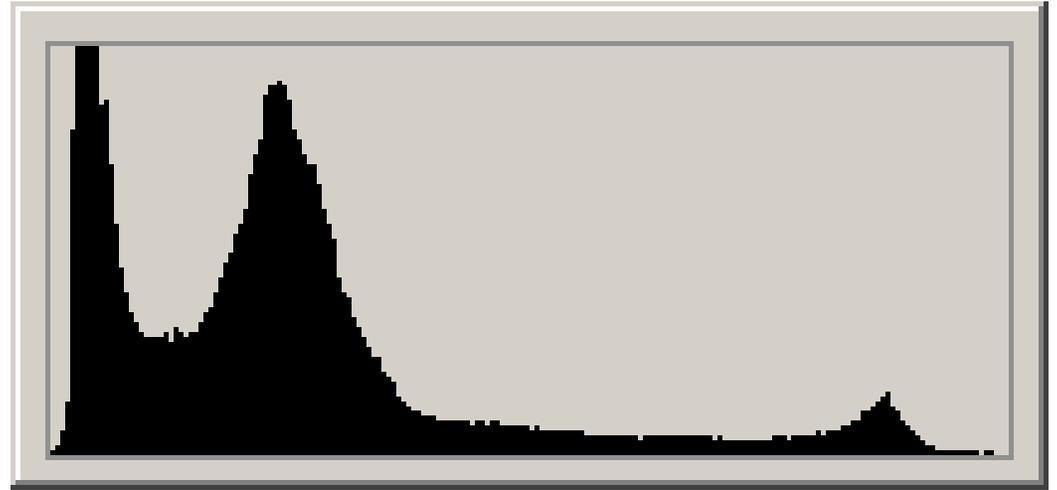
Kontrastumfang einer Szene



Kontrastumfänge versch. Medien

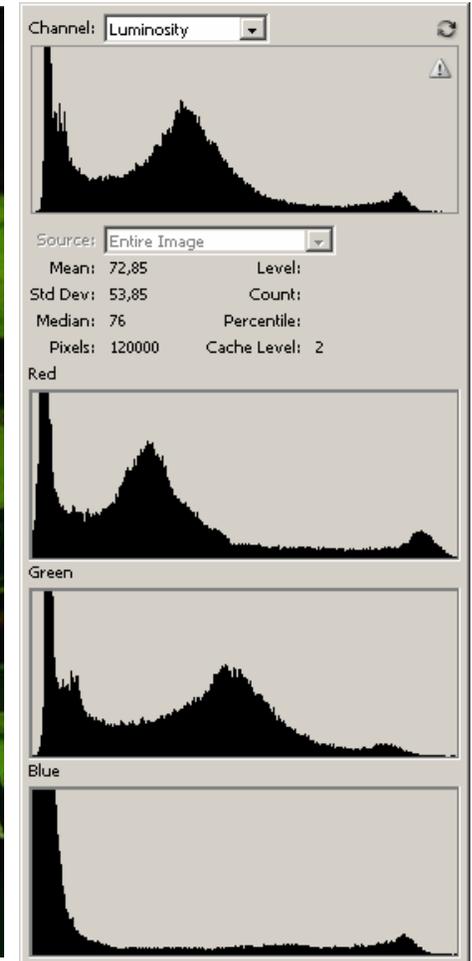
- Auge:
 - 2^{10} ohne Irisanpassung
 - 2^{20} mit Irisanpassung
- Schwarzweißfilm: ca. 2^8
 - Push-Entwicklung: 2^7
 - Pull-Entwicklung: 2^9
- Moderner Farbnegativfilm: 2^{10}
- Diafilm: 2^5
- Digitalkamera:
 - EOS 10D bei 400 ASA: 2^9

Histogramm eines Bildes

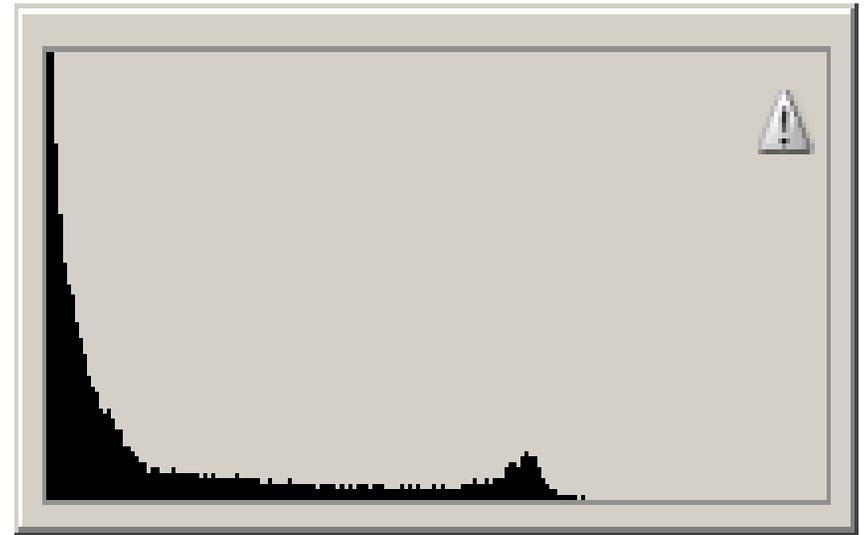
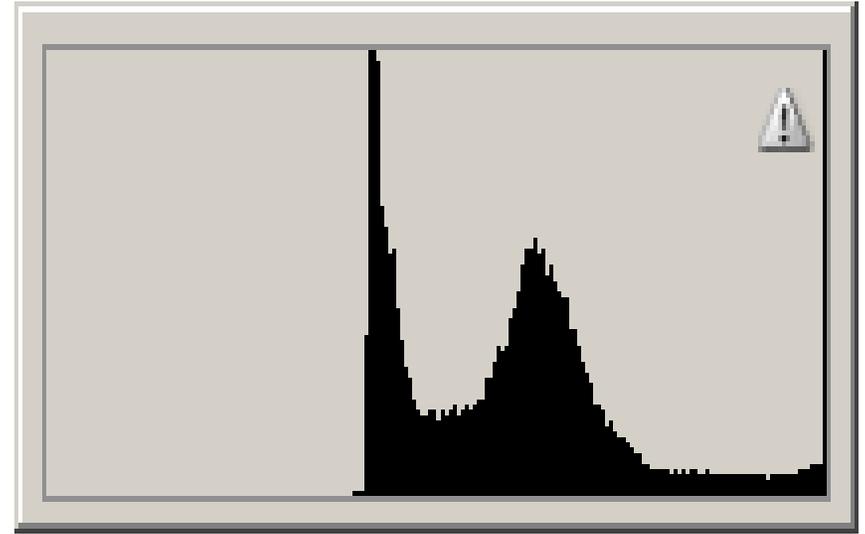


- Relative Anzahl der Pixel im Bild je Helligkeit
- Wichtiges Instrument zur Beurteilung der Datenqualität

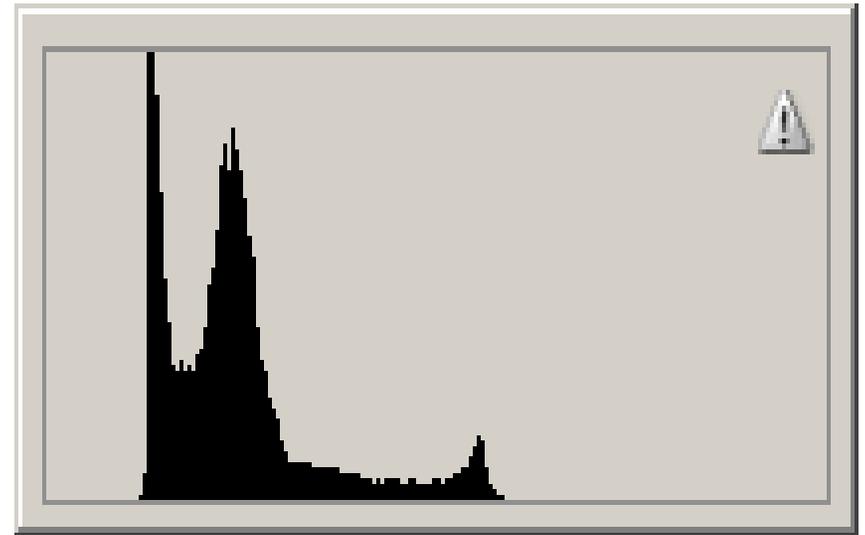
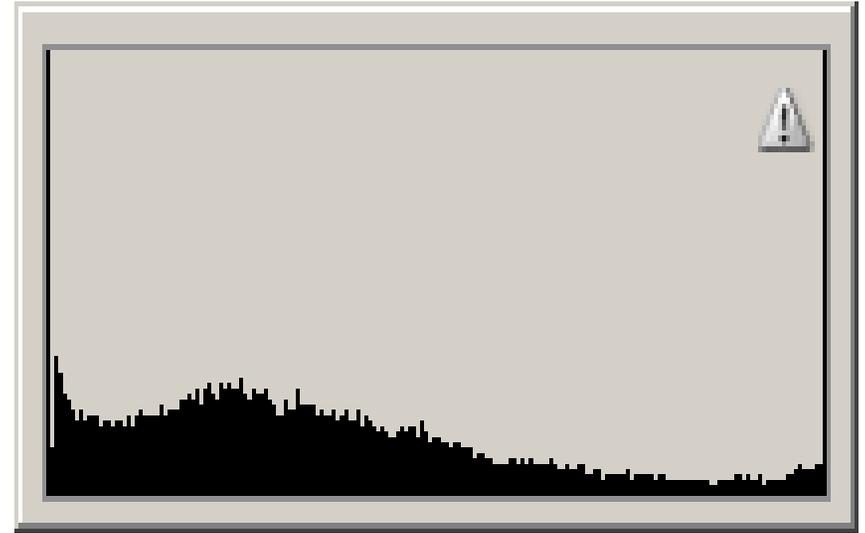
Histogramme der Farbkanäle



Über- und Unterbelichtung

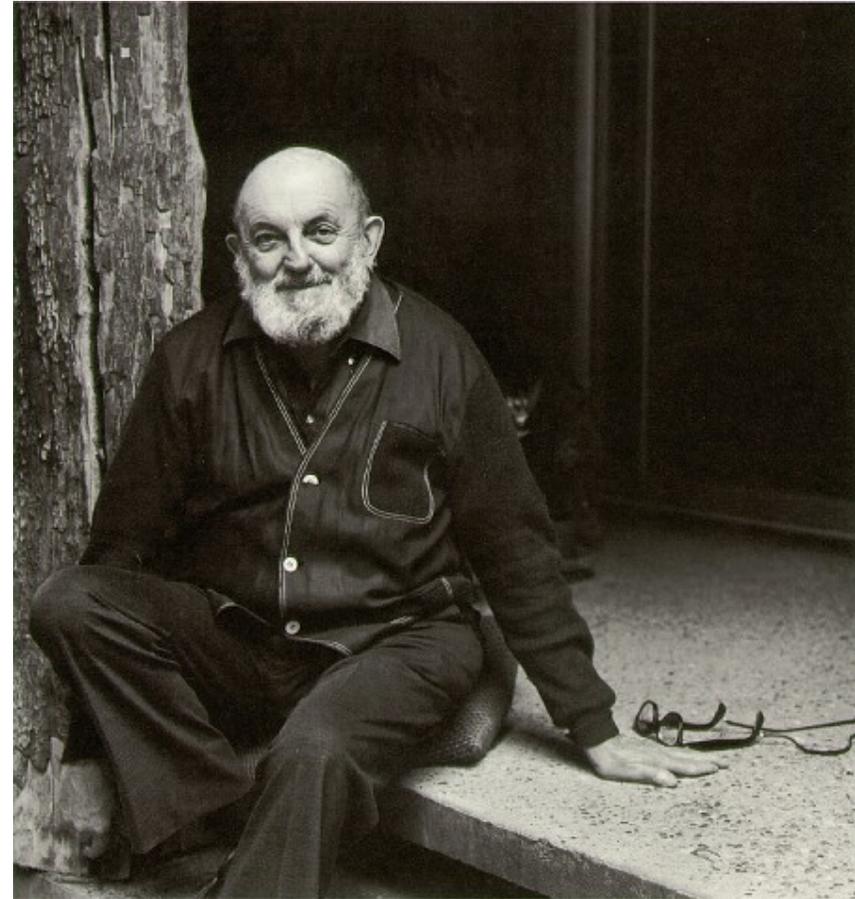


Kontrastanhebung und -absenkung

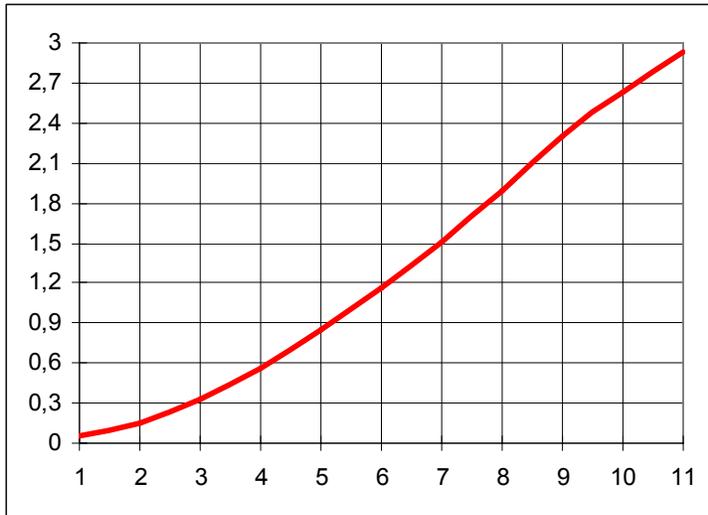


Das Zonensystem (Ansel Adams)

- Ansel Adams [1902-1984]
- Landschaftsfotographie in S/W in Perfektion
- Verwendeter Prozess:
 - S/W Negativfilm (Großformat)
 - Abzug auf S/W Papier
 - Komplette Steuerung der Entwicklungsprozesse für Negativ und Positiv
 - Abwedeln und Nachbelichten zur Steuerung lokaler Bildhelligkeit
- Definition von 10 „Zonen“ für Helligkeiten im Bild



Schwärzungskurve von Filmen



- X-Achse: Logarithmus der Belichtung (entspr. Blenden- oder Zeitstufen)
- Y-Achse: Dichte des geschwärzten Films, ebenfalls logarithmische Einheit
- Kurve best. aus Fuß, linearem Bereich, Schulter

Definition der Zonen

- Jede Zone entspricht einer Belichtungsstufe, also der Verdopplung der Lichtmenge
 - Durch Wahl der nächstkleineren Blendenzahl
 - Oder durch Verdopplung der Belichtungszeit

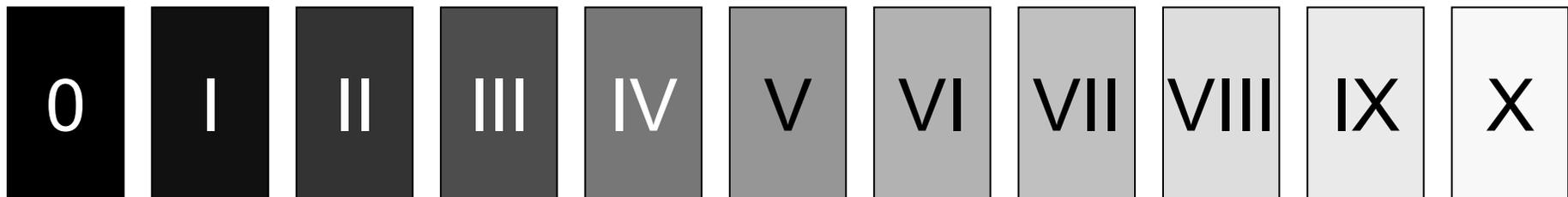
Durchgezeichneter Bereich



Kopierfähiger Bereich



Tiefschwarz bis Papierweiss



Definition der Zonen

- II: tiefe Schatten fast ohne Details
- III: voll durchgezeichnete Schatten
- IV: dunkles Laubwerk
- V: Neutralgrau mit 18% Reflexion
- VI: mittlere Hauttöne
- VII: helle Hauttöne, Schneeflächen
- VIII: noch gezeichnete Lichter
- IX: fast Papierweiss ohne Details

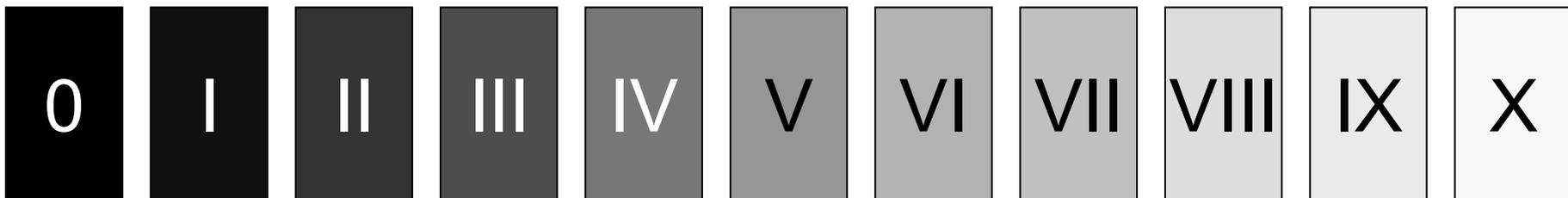
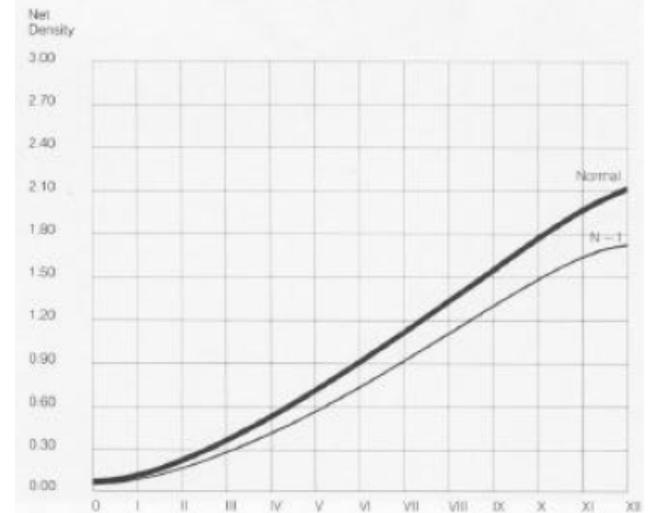
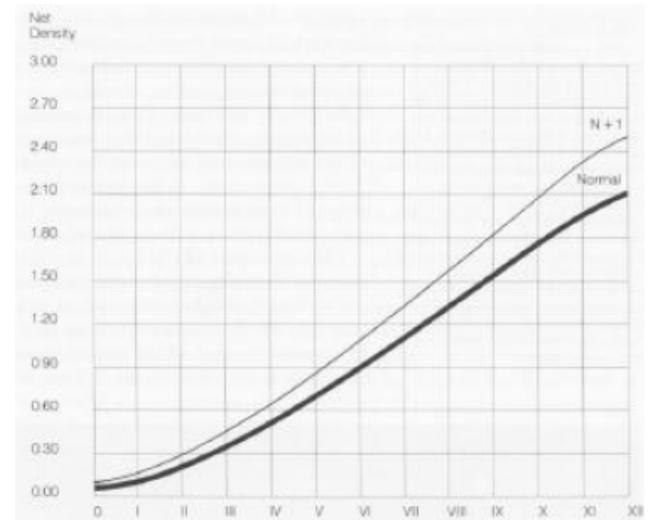
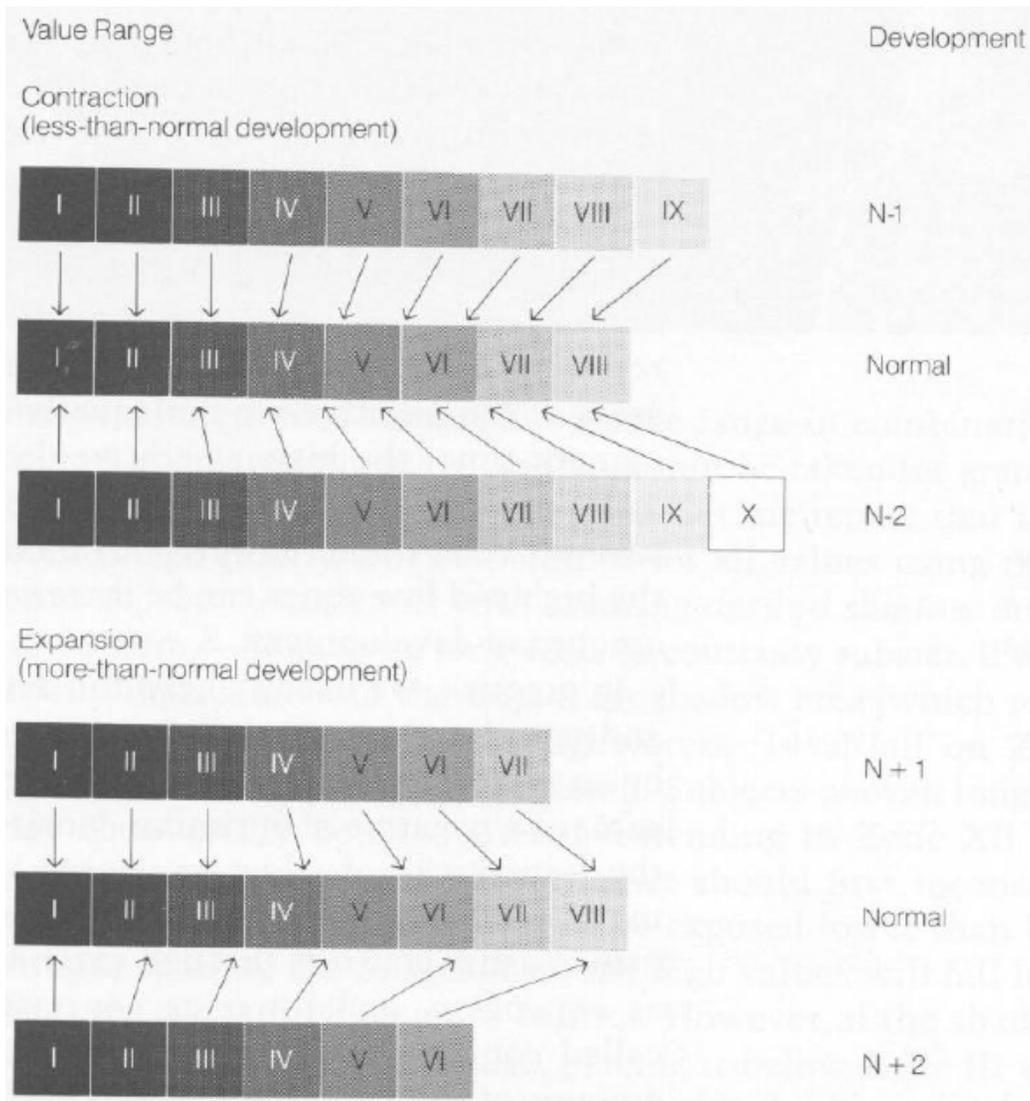


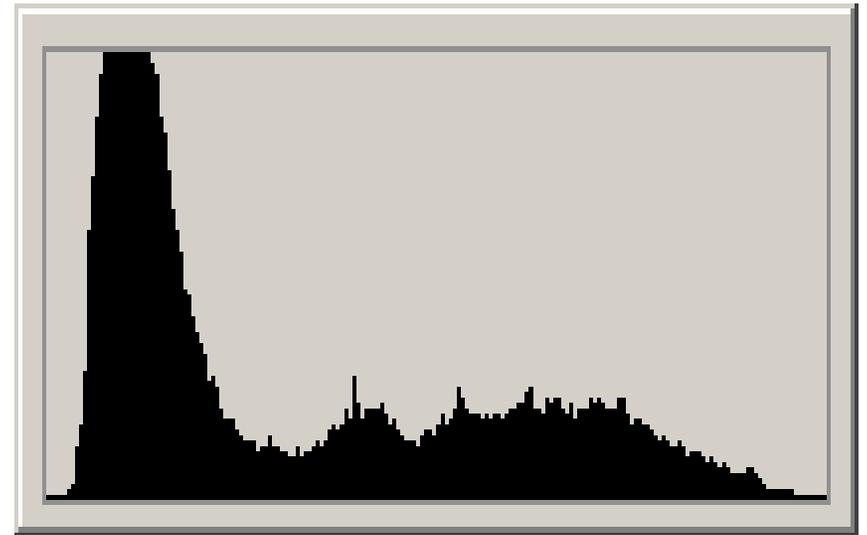
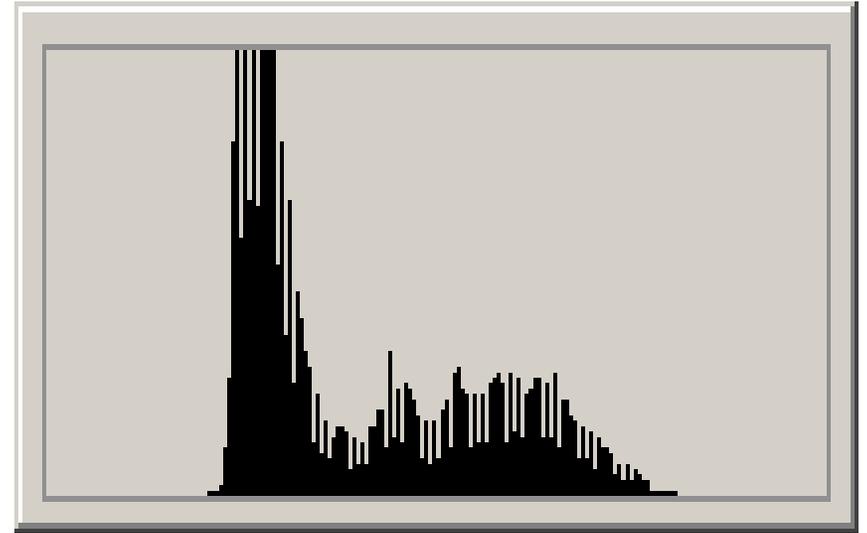
Abbildung der Szene in Zonen

- Bei „normalem“ Kontrastumfang:
 - Schatten in Zone III
 - Lichter \leq Zone VIII ?
- Bei zu hohem Kontrastumfang der Szene:
 - Bewusster Verzicht auf Details in Lichtern oder Schatten
 - Verkürzte Filmentwicklung und verlängerte Belichtung
- Bei zu niedrigem Kontrastumfang:
 - Abzug auf „hartes“ Papier (d.h. mit hohem Kontrast)
 - Verlängerte Filmentwicklung und verkürzte Belichtung
- Ziel: volle Ausnutzung des Kontrastumfangs des Films, aber überall noch volle Detailzeichnung

Abbildung der Szene in Zonen



Auswirkung am Histogramm



Übertragung auf digitale Photographie

- Bewusste Steuerung der Helligkeit durch Spotmessung auf mittleres Grau
- Digitale Bildsensoren kritisch in den Lichtern
 - Warnfunktion mancher Kameras benutzen
 - Im Zweifel eher knapper belichten
 - Wenn Zeit genug: Belichtungsreihe
 - Aufhellblitz zur Kontrastreduktion
- Reduktion vom Bildsensor (12 Bit) auf JPEG (8 Bit) findet schon in der Kamera statt
 - RAW Format verwenden, um Details in Lichtern und Schatten zu erhalten
- Kontrastanpassung später am Histogramm

High Dynamic Range (HDR) Bilder

- Ziel: Kontrastumfang der Natur adäquat darstellen (z.B. 2^{20})
- 1. Problem: beschränkter Dynamikumfang der Aufnahmesensoren
- 2. Problem: Bildformate haben nur 8 oder 16 Bit Dynamikumfang je Farbkanal



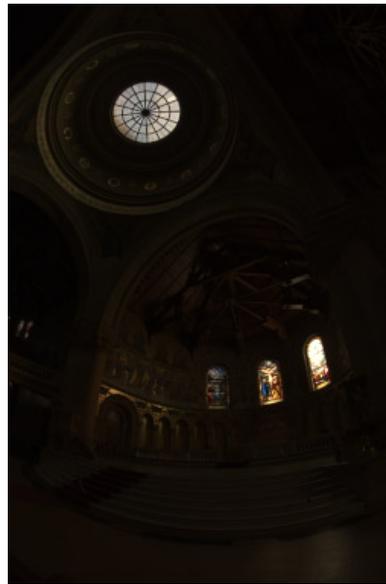
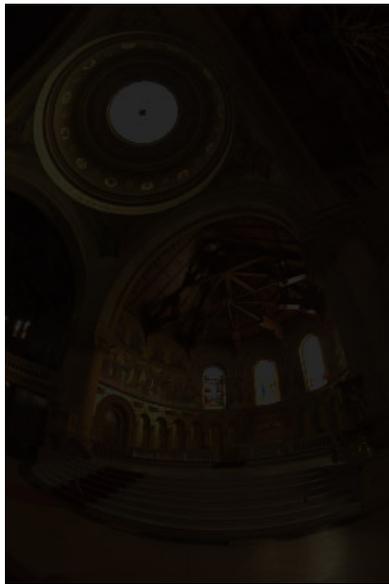
Bildquelle: <http://www.cybergrain.com/>
(Auch folgende Folien)

Repräsentation von HDR im Rechner

- Einfacher Trick: Pixelwerte nicht als 8 oder 16 Bit Integers, sondern
 - 32 oder 48 Bit Integer
 - 16 Bit Floats
 - 32 Bit Floats
- Verschiedene Formate vorgeschlagen
 - <http://www.openexr.com/>
 - Portable Float maps (PFM, wie PPM)
 - floating point TIFF

Erzeugung von HDR Bildern

- Spezielle HDR Kameras
- Raytracing bzw. Rendering
- Belichtungsreihe und Kombination mittels [Photoshop](#) oder [HDRshop](#)



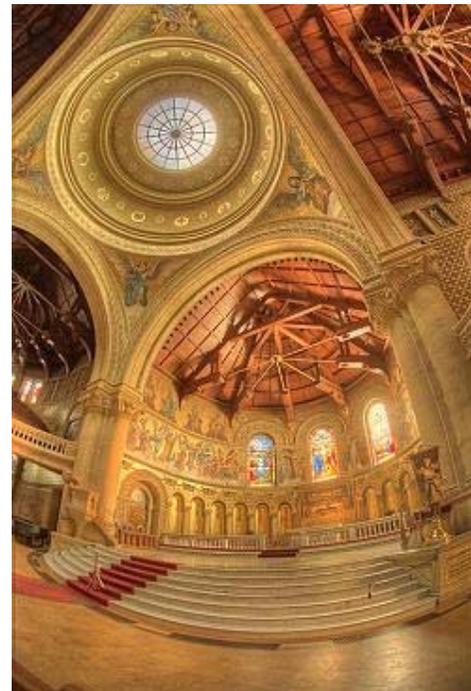
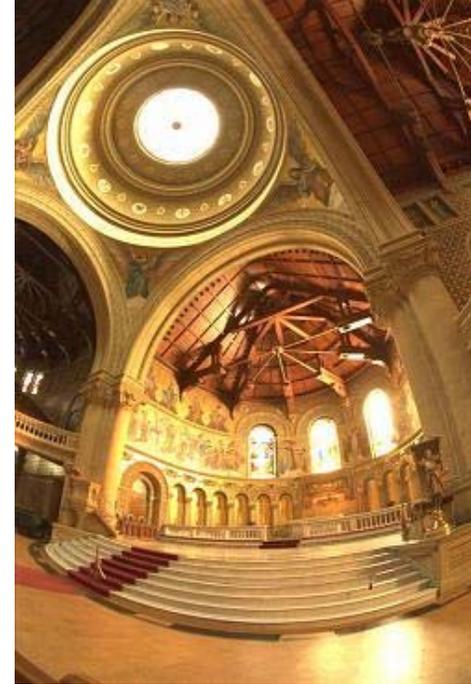
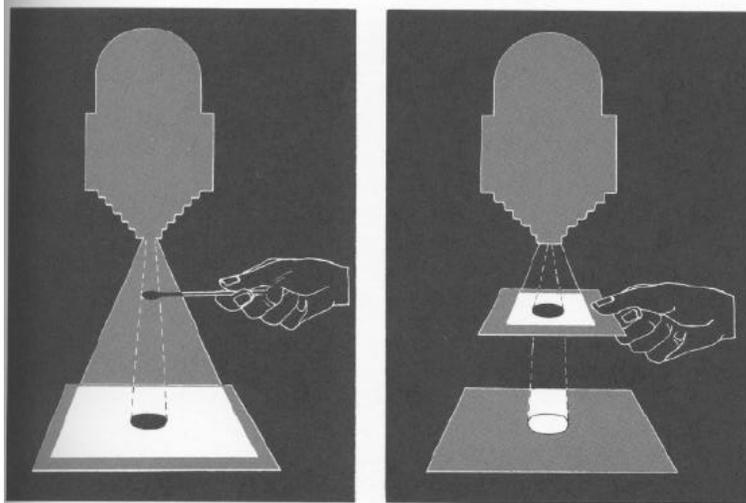
Anzeige von HDR Bildern

- Bis vor kurzem garnicht ;-)
- Heute HDR-Displays, Kontrastumfang bis 1:200.000 (2^{18}) (Quelle <http://www.brightsidetech.com/>)
- Grundidee: Hintergrundbeleuchtung aus einzelnen weißen LEDs
- Kann je Pixelgruppe Hell oder Dunkel sein



Konvertierung auf LDR

- Verfahren: Tone mapping
- z.B. manuell in Photoshop mittels „dodge and burn“
- Automatisch: aktuelles Forschungsgebiet



Tone mapping mit lokalen Mittelwerten

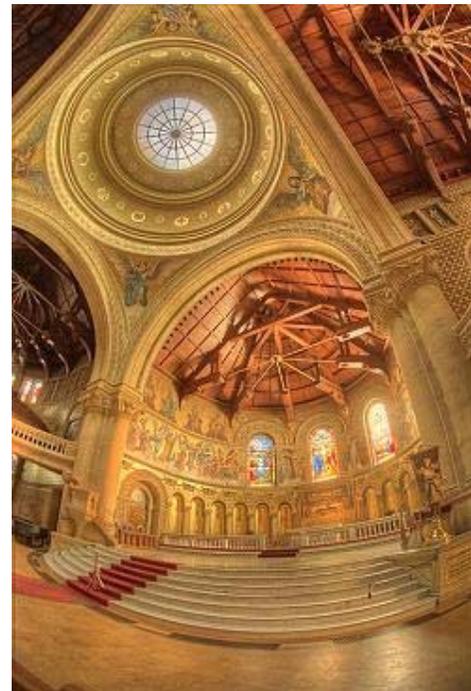
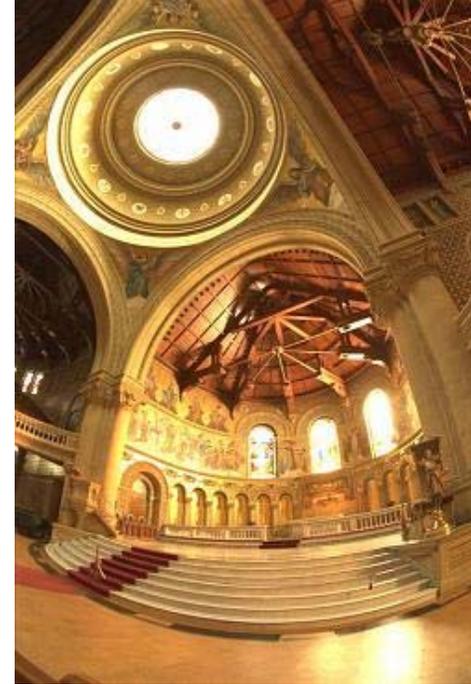
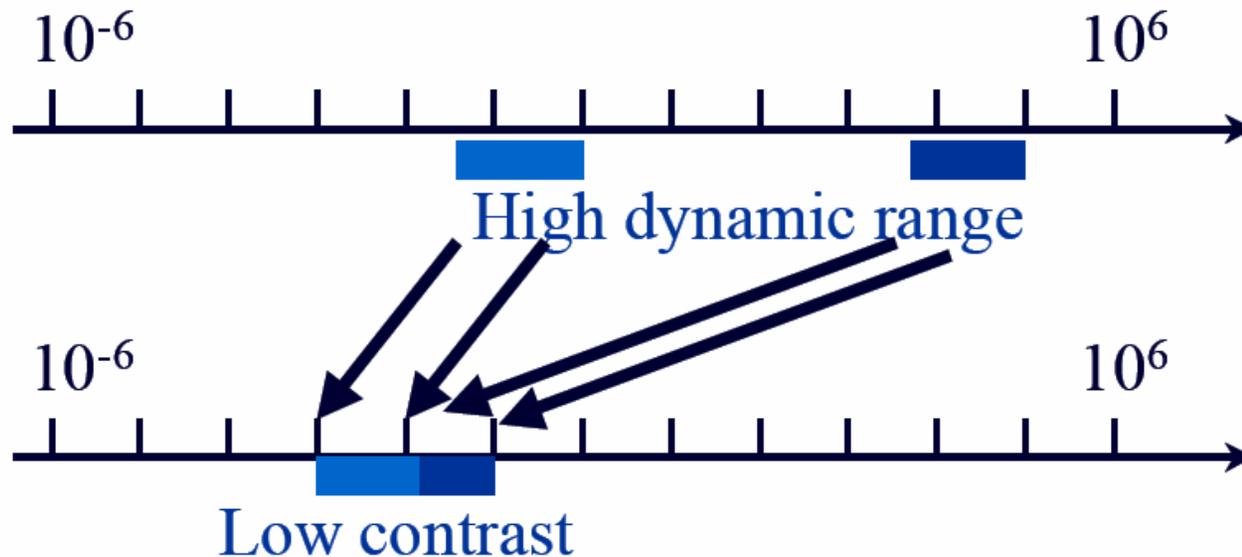


Tone mapping mit lokalen Mittelwerten



Tone mapping am Histogramm

- Kernidee: ignoriere leere Stellen im Histogramm
- Schiebe restliche Bildteile im Histogramm zusammen



Linksammlung

- <http://www.anseladams.com/>
- <http://www.cybergrain.com/tech/hdr/resources.html>
- <http://www.hdrshop.com/>

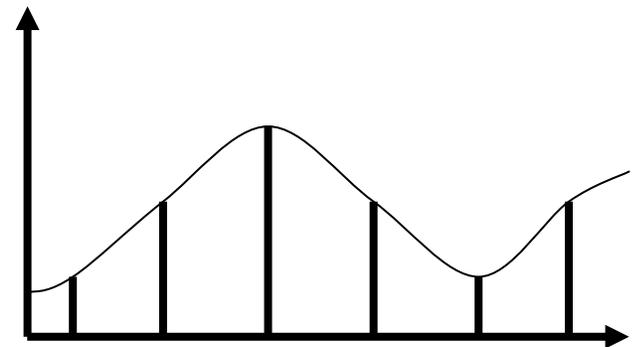
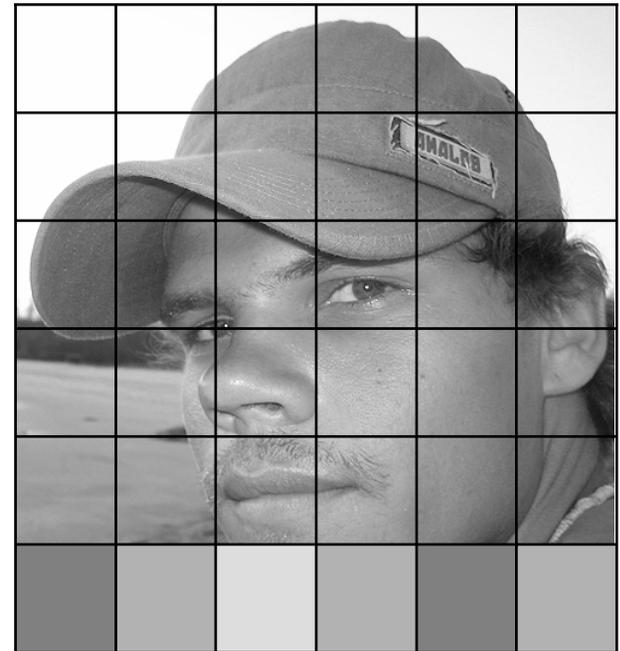
Abtastung Digitaler Bilder

Abtastung einer Szene

- Bildhelligkeit wird nicht für beliebige x, y kontinuierlich gemessen
- Messung nur an bestimmten Stellen, bzw. Integration über bestimmte Bereiche (Pixel)
- Entspricht mathematisch der Multiplikation mit einer Impulsfolge (Summe verschobener Impulsfunktionen)
- Impulsfunktion δ (oder Dirac-Funktion):

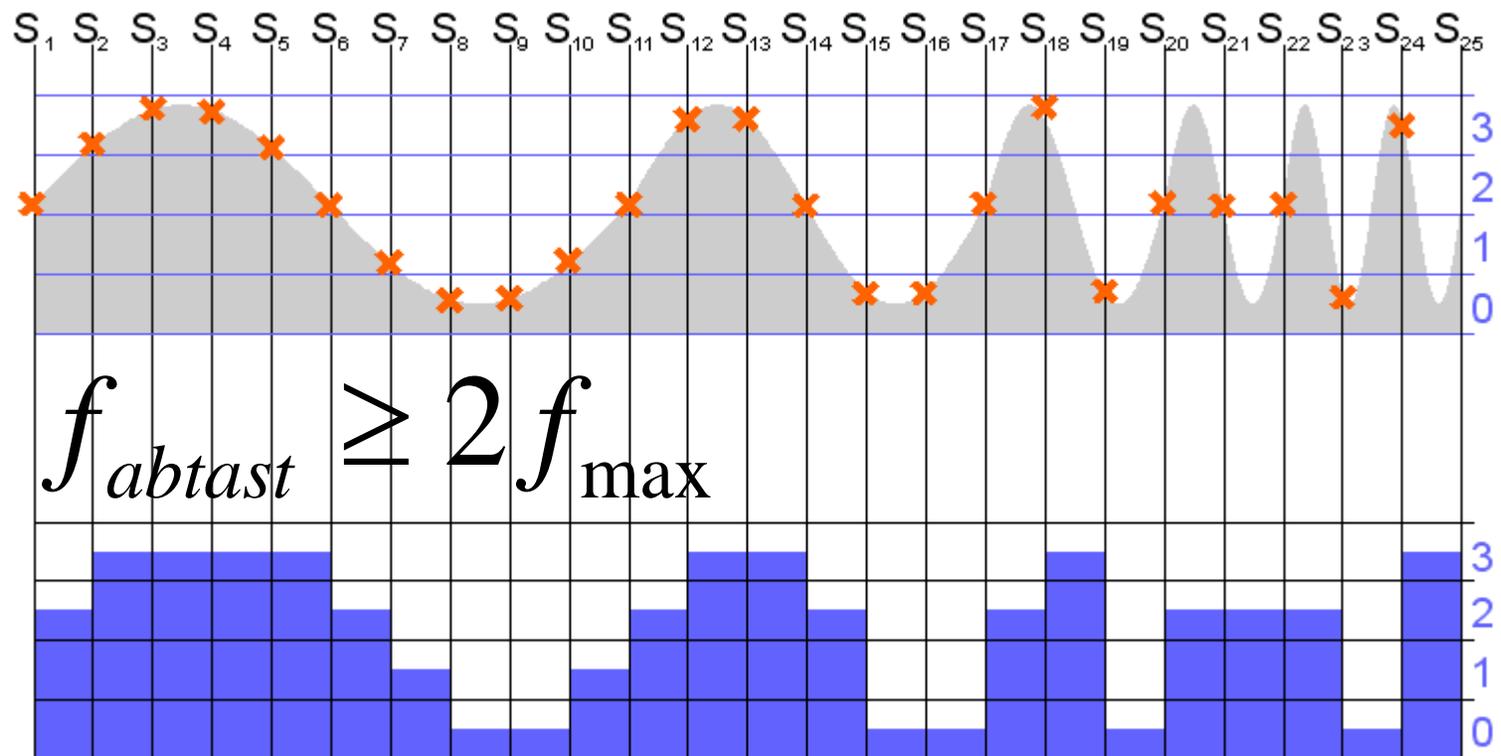
$$\delta(x - a) = \begin{cases} 0 & x \neq a \\ \infty & x = a \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x - a) dx = f(a)$$

<http://de.wikipedia.org/wiki/Delta-Distribution>



Abtasttheorem von Nyquist-Shannon

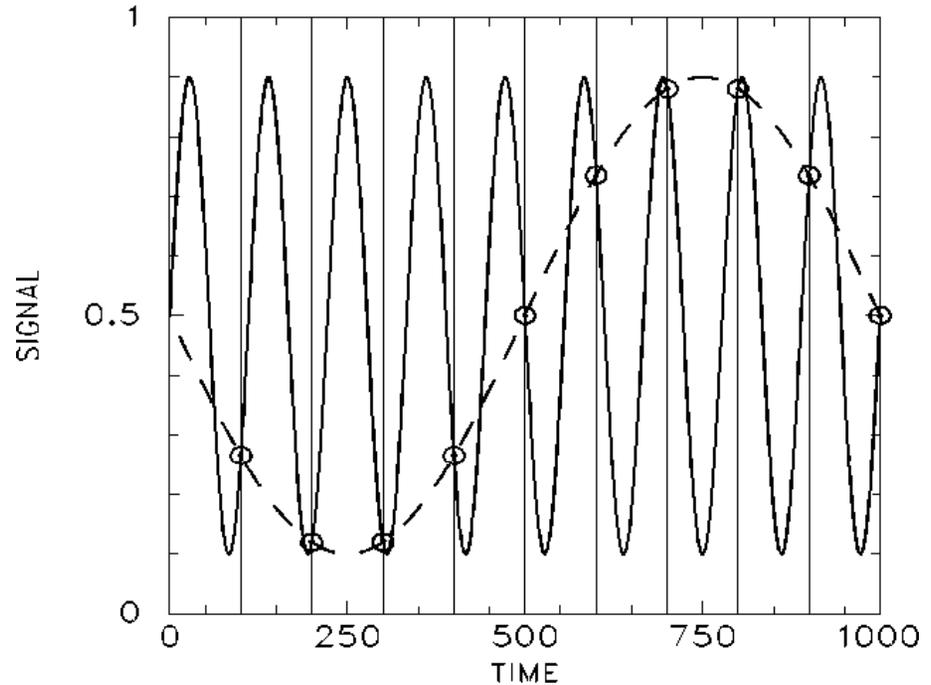
- Ein digitales Signal mit maximalem Frequenzanteil f_{\max} muss mit mindestens der doppelten Frequenz $2 f_{\max}$ abgetastet werden



Aliasing

$$f_{\text{abtast}} < 2f_{\text{signal}}$$

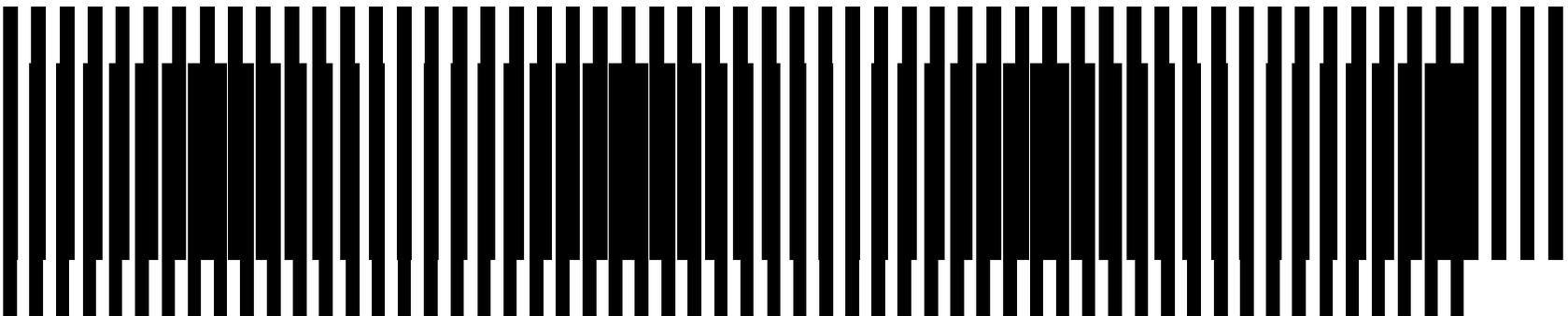
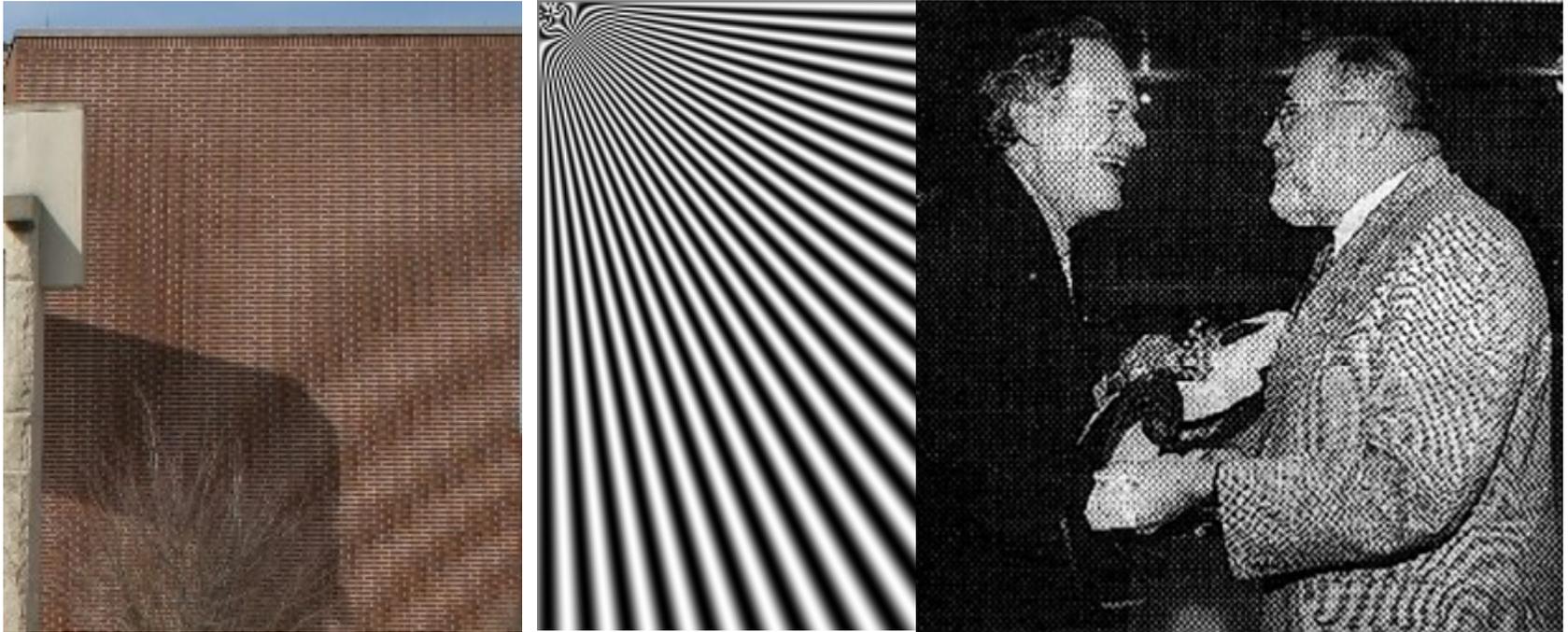
$$f_{\text{alias}} = |f_{\text{abtast}} - f_{\text{signal}}|$$



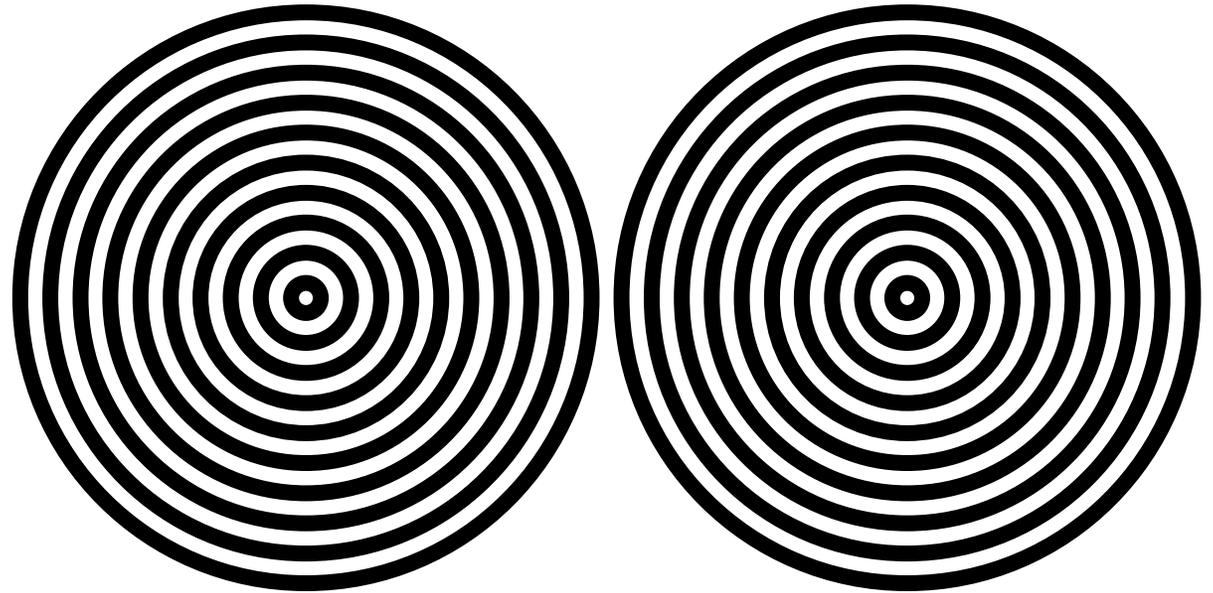
- Durch Unterabtastung ($f_{\text{abtast}} < 2 f_{\text{max}}$) entstehendes falsches Signal
- Frequenz des Aliasing-Signals = Differenz aus Original- und Abtastsignal
- Schwebungstöne beim Stimmen einer Gitarre

Aliasing in digitalen Bildern

Film-Beispiel



Moiree Muster



Verhinderung von Aliasing-Effekten

- Begrenzung der maximalen Signalfrequenz
 - Bei Digitalkameras: unscharfe Optik
 - Weichzeichner vor dem Bildsensor
- Supersampling mit höherer Samplingfrequenz und dann Tiefpassfiltern
- Beispiel: Antialiasing durch Supersampling beim Zeichnen von Linien in einen Framebuffer (siehe 3DCG Vorlesung)

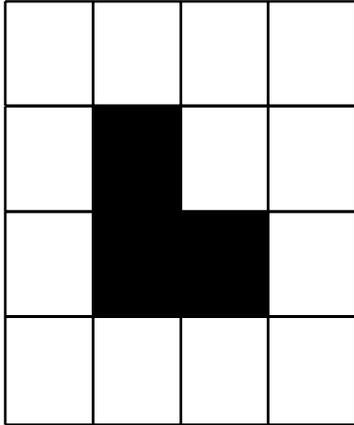
Lineare Operatoren auf Bildern

- Seien f, g abgetastete Bilder, a, b , Skalare
- O ist ein linearer Operator, falls gilt:

$$O(af + bg) = aO(f) + bO(g)$$

- Beispiel: Bild abdunkeln: $O(f(i,j)) = 0.5 f(i,j)$

Hintereinanderschreiben von Pixeln



- 2-dimensionales Bild wird zu einem langen 1-dimensionalen Vektor

Linearer Operator als Matrix

O lässt sich auch als Matrix ausdrücken:

Seien x, y die hintereinandergeschriebenen Pixel zweier Bilder, dann ist

$$\vec{y} = A\vec{x}$$

Wobei A quadratisch mit Rang der Pixelanzahl und jeder Eintrag $A_{i,j}$ gibt an, mit welchem Gewicht Pixel j aus x auf Pixel i in y abgebildet wird

Verschiebungsinvariante Operatoren

- ... sind lineare Operatoren, deren Wirkung unabhängig vom Ort ist:

$$O \circ f(x + a, y + b) = [O \circ f](x + a, y + b)$$

- Beispiel: gleichmäßige Unschärfe im Bild durch Bewegung der Kamera

Konvolution (Faltung)

- Seien f, g abgetastete Bilder mit unendlicher Größe, m, n , Skalare

$$(g * f)(m, n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} g(i, j) f(m - i, n - j)$$

Heißt Konvolution der Funktion f mit g

- g heißt die Konvolutionsfunktion
- Funktioniert so nur für unendlich große Bilder

Eigenschaften der Konvolution

- Linear & verschiebungsinvariant
- Kommutativ & assoziativ

$$[g_1 * g_2](m, n) = [g_2 * g_1](m, n)$$

$$g_1 * ([g_2 * g_3](m, n)) = [g_1 * g_2](m, n) * g_3(m, n)$$

- D.h. wir können mehrere Konvolutionen vorab kombinieren und dann gemeinsam anwenden

Konvolution vereinfacht

Hat die Konvolutionsfunktion g nur einen begrenzten Bereich, in dem $g \neq 0$, dann heisst dieser Bereich Kern von g (kernel)

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	0	1	0	0	0
0	0	0	-1	0	1	0	0	0
0	0	0	-1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Konvolution anschaulich

1	0	-1	0	0	0	0
1	0	-1	1	0	0	0
1	0	-1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0

	1	2	0	-2	-1	
	2	2	0	-2	-2	
	3	2	0	-2	-3	
	3	2	0	-2	-3	
	2	2	0	-2	-2	

Verwendung der Konvolution



*

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

=



Punktantwort (point spread function, PSF)

- Faltung eines einzelnen Dirac-Impulses
 - Bild mit einem einzigen schwarzen Pixel
- Abgetastetes Bild = Folge von Dirac-Impulsen * Pixelhelligkeiten
- → Gesamtwirkung durch PSF vollständig beschrieben
- → falls PSF umkehrbar, kann Wirkung rückgängig gemacht werden
- PSF kann experimentell bestimmt werden

Korrelation

- Seien f, g abgetastete Bilder mit unendlicher Größe, m, n , Skalare

$$(g * f)(m, n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} g(i, j) f(i - m, j - n)$$

Heißt Korrelation der Funktion f mit g

- g heißt die Korrelationsfunktion
- Funktioniert so nur für unendlich große Bilder → Vereinfachung siehe Konvolution

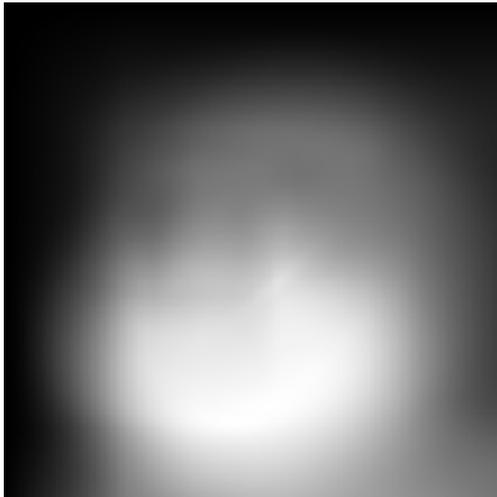
Verwendung der Korrelation



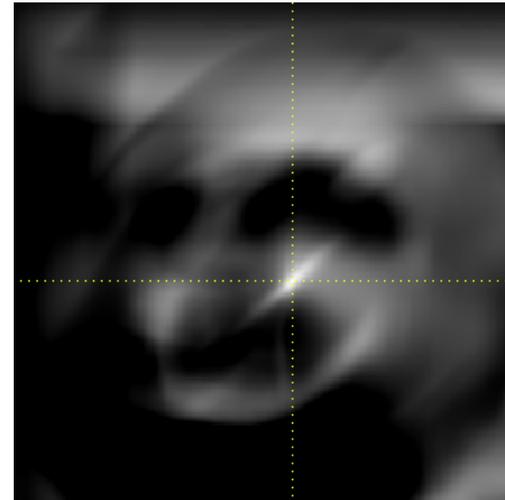
Ausgangsbild (f)



Korrelationsfunktion (g)



Ergebnis (g*f)



..normalisiert

Unterschiede Konvolution/Korrelation

- Nur verschieden in der Reihenfolge der Anwendung von g
- Gleich, falls der Kern von g symmetrisch unter 180° Rotation
- Beispiele:

$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$

Tiefpass

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Hochpass

Tiefpass: Wirkung



$$* \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ \hline \end{array} =$$



Nützlich z.B. gegen Rauschen und Alias-Effekte

Hochpass: Wirkung



$$* \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 9 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array} =$$



Nützlich zum Scharfzeichnen und Kanten finden

Literatur

- Nick Efford: Digital Image Processing
A Practical Introduction Using Java
<http://www.comp.leeds.ac.uk/nde/book/>
- <http://java.sun.com/products/java-media/jai/iio.html>

Nobelpreis in Physik 2005: Theodor W. Hänsch (LMU)



- <http://www.heise.de/ct/05/22/070/>
- <http://www.mpg.de/~haensch/>

