

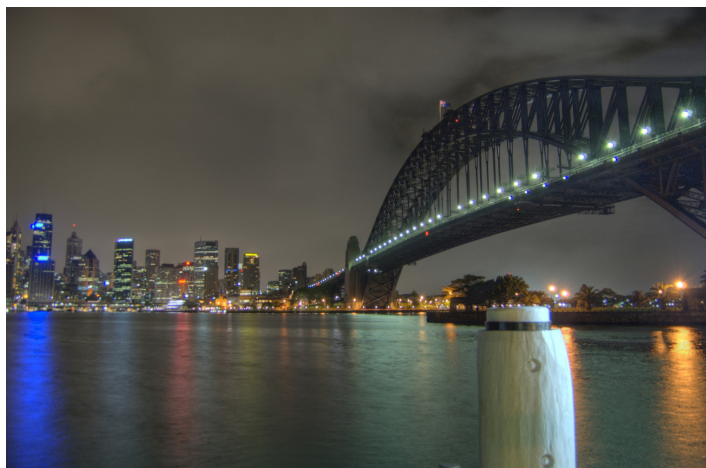
# Chapter 7

## High Dynamic Range (HDR)



Distributed Algorithms  
for Image and Video Processing

## High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)



Quelle: wikipedia.org

2

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

- High Dynamic Range bezeichnet ein hohes Kontrastverhältnis in einem Bild
- Kontrastverhältnis
  - bei digitalem Bild: 1.000:1
  - bei analogen Fotos: 10.000:1 (wesentlicher Vorteil analoger Fotos)
  - bei HDR-Bildern: 200.000:1
- Der Umfang der Helligkeitsintensitäten ist so groß, dass nicht alle Werte auf einem Monitor dargestellt oder gedruckt werden können.
- *Tone-Mapping*: Reduziert den HDR-Helligkeitsbereich auf den Wertebereich eines Monitors.

3

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

- Maler des Mittelalters verwendeten spezielle Technik, durch die helle und dunkle Bereiche sehr gut in einem Gemälde erkannt werden können:
  - Verwendung von gesättigten Farben, um den dynamischen Bereich des Bildes zu erhöhen.
  - Verstärkung von Konturen, indem schwarze und weiße Linien an die Ränder von Objekten gemalt werden. Der Kontrast erscheint deutlich größer.



El Greco's *La Agoria en el Jardin* (1590)  
Quelle: cybergrain.com

4

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

- Beeinflussung der menschlichen Wahrnehmung
- Warum scheint Sonne hervorzustehen?

- Sonne hat identische Helligkeit wie Hintergrund (geringer Kontrast)
- Widersprüchliche Interpretation der Sonne im Gehirn:
  - Gehirnregion für einfache Wahrnehmung (Bewegung und Position): Sonne ist unsichtbar
  - höhere Gehirnregion (Farbe): normale Sonne



Claude Monet, *Impressions at Sunrise*

Quelle: webexhibits.org

5

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Es werden mehrere Aufnahmen der selben Szene mit unterschiedlicher Belichtung gemacht (normal belichtet, sowie unter- und überbelichtet).
- Die einzelnen Bilder werden miteinander zu einem gemeinsamen HDR-Bild kombiniert.
- In den unterbelichteten Bildern können sehr helle Bildbereiche gut unterschieden werden.
- In den überbelichteten Bildern können sehr dunkle Bildbereiche gut unterschieden werden.

6

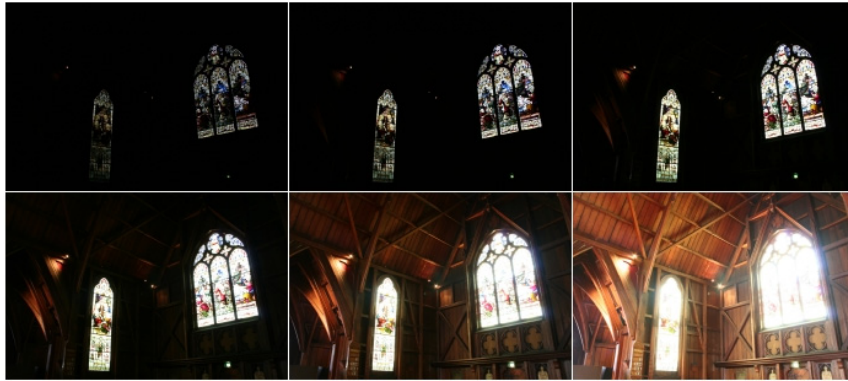
Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Beispiel unter- und überbelichteter Aufnahmen



Quelle: wikipedia.org

7

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Ergebnis (Kombination der Aufnahmen)



Quelle: wikipedia.org

8

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Berechne eine *Übergangsfunktion (response function)*, welche die Helligkeit der Szene in Pixelwerte umwandelt.
- Füge die Bilder mit den unterschiedlichen Belichtungszeiten zu einem HDR-Bild zusammen.
- Die Pixelwerte im HDR-Bild sind proportional zur echten Helligkeit der Szene.

9

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

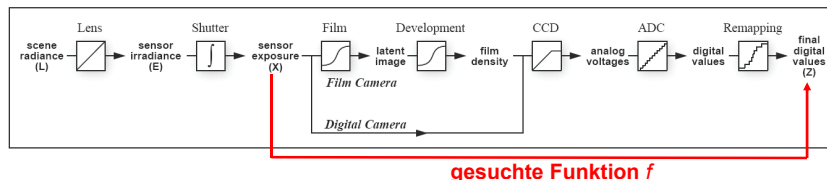
Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Die tatsächliche Helligkeit der Szene wird durch eine nicht-lineare Funktion auf Pixelwerte abgebildet:



- Faktoren: Belichtung eines analogen Films, Entwicklung des Films, Digitalisierung mit einem Scanner

Quelle: Debevec, Malik (University of California at Berkeley)

10

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Ermittlung der *charakteristischen Kurve* eines Films (*Übergangsfunktion, response function*).
- Definition *Belichtung X*:  $X = E \cdot \Delta t$   
 $E$ : Beleuchtungsichte,  $\Delta t$ : Belichtungszeit
- Durch die Verarbeitung erhalten wir einen digitalen Wert  $Z$ , der durch eine nichtlineare Funktion  $f$  aus  $X$  entstanden ist.
- Falls  $f$  bekannt ist, kann die tatsächliche Belichtung  $X$  berechnet werden:  $X = f^{-1}(Z)$
- Da die Belichtungszeit  $\Delta t$  bekannt ist, kann dann die Beleuchtungsichte  $E$  ermittelt werden:  $E = X / \Delta t$ .
- Die Beleuchtungsichte  $E$  ist proportional zum Licht  $L$  der Szene.

11

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Gegeben: mehrere Bilder mit unterschiedlicher Belichtungszeit  $\Delta t$
- Die Beleuchtungsichte  $E$  bleibt für jedes Pixel konstant.
- Pixelwerte der Bilder:  $Z_{ij} = f(E_i \Delta t_j)$   
 $i$ : Pixelposition (x/y-Koordinate),  $j$ : Index des Bildes
- Es existiert Umkehrfunktion:  $f^{-1}(Z_{ij}) = E_i \Delta t_j$
- Berechne natürlichen Logarithmus:

$$\ln f^{-1}(Z_{ij}) = \ln E_i + \ln \Delta t_j$$

12

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Setze:  $g = \ln f^{-1}$

$$\rightarrow g(Z_{ij}) = \ln E_i + \ln \Delta t_j$$

bekannt: Pixelwerte  $Z_{ij}$ , Belichtungszeit  $\Delta t$   
unbekannt: Beleuchtungsichte  $E_i$ , Funktion  $g$

- $g$  bildet eine endliche Zahl von Punkten ab  
( $Z$  beschreibt feste Pixelwerte)

13

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Bestimme  $E_i$  und  $g$  durch Minimierung der folgenden Funktion:

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P [g(Z_{ij}) - \ln E_i - \ln \Delta t_j]^2 + \lambda \sum_{z=Z_{min}+1}^{Z_{max}-1} g''(z)^2$$

**Fehler wird minimal** **Glätte die Funktion**

$N$ : Anzahl der Pixel im Bild

$P$ : Anzahl der Bilder

ermittle  $(Z_{max} - Z_{min} + 1)$  Werte für  $g(Z)$

ermittle  $N$  Werte für  $\ln E_i$

14

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Erzeugung von HDR-Bildern

- Verfahren zur Bestimmung von  $E_i$  und  $g$ :
  - Stelle überbestimmtes Gleichungssystem auf.
  - Löse dieses mit einem linearen Kleinste-Quadrate-Algorithmus, bei dem die Summe der quadratischen Abweichungen der Funktion  $g$  von den beobachteten Pixelwerten  $Z$  minimiert wird.

15

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

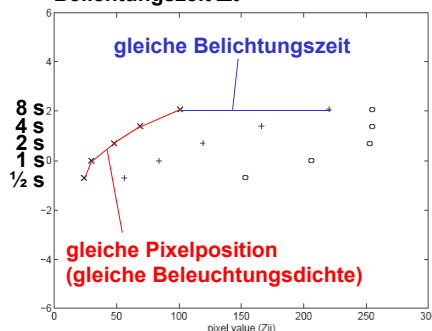
Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

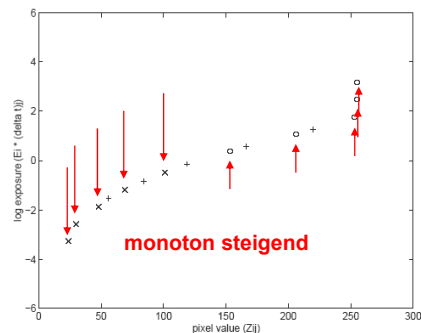
# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Beispiel

Belichtungszeit  $\Delta t$



Zuordnung der Pixelwerte zur Belichtungszeit  
(Beleuchtungsdichte  $E_i=1$ )



Berücksichtigung der Beleuchtungsdichte  $E_i$

Quelle: Debevec, Malik (University of California at Berkeley)

16

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM



# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Darstellung von HDR-Bildern (Tone Mapping)

- Tone-Mapping reduziert den Dynamikbereich von Bildern
- Reduziere den Kontrastumfang eines HDR-Bildes, um dieses auf Geräten mit beschränktem Kontrastumfang wiederzugeben.
- Zu große oder zu kleine Werte könnten auf den nächsten zulässigen Wert abgebildet werden. Dadurch kann jedoch zwischen den ursprünglich sehr unterschiedlichen Werten nicht mehr unterschieden werden.
- Durch Tone-Mapping werden Details besser wiedergegeben.

17

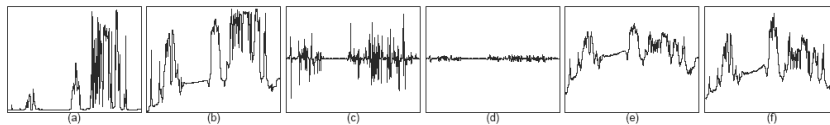
Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Darstellung von HDR-Bildern (Tone Mapping)



- Bildzeile mit einer Dynamik von 2415:1
- $H(x) = \log(\text{Bildzeile})$
- Ableitung  $H'(x)$
- Verringerte Ableitung  $G(x)$
- Rekonstruierte Bildzeile  $I(x)$
- $\exp(I(x))$  mit einer Dynamik von 7,5:1

Quelle: Fattal, Lischinski, Werman (cs.huji.ac.il)

18

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Darstellung von HDR-Bildern (Tone Mapping)

- Verringere den Wertebereich der Pixel im HDR-Bild, indem jedes Pixel durch einen individuellen Normierungsfaktor  $\Phi(x, y)$  geteilt wird.
- Der Faktor wird so bestimmt, dass starke und schwache Kanten gut sichtbar sind.
- Berechne Kanten (Gradienten) für unterschiedlich skalierte Bilder.
- Übertrage die Gradienten des kleinsten Bildes auf das nächst größere Bild und fasse diese zusammen.
- Wiederhole bis die Kanten in das Bild mit voller Auflösung übertragen wurden.

19

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# High-Dynamic-Range-Bilder (HDR)

## Darstellung von HDR-Bildern (Tone Mapping)



Aggregiertes Kantenbild

HDR-Bild

20

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# Beispiele für HDR-Bilder



Quelle:  
chip.de  
Philipp Mildner  
Christian Takacs

21

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM

# Questions ?

22

Image and Video Processing  
Chapter 7 - High Dynamic Range (HDR)

Dr. Stephan Kopf  
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF  
MANNHEIM