

Grundlagen der Multimediaetechnik

Bildanalyse

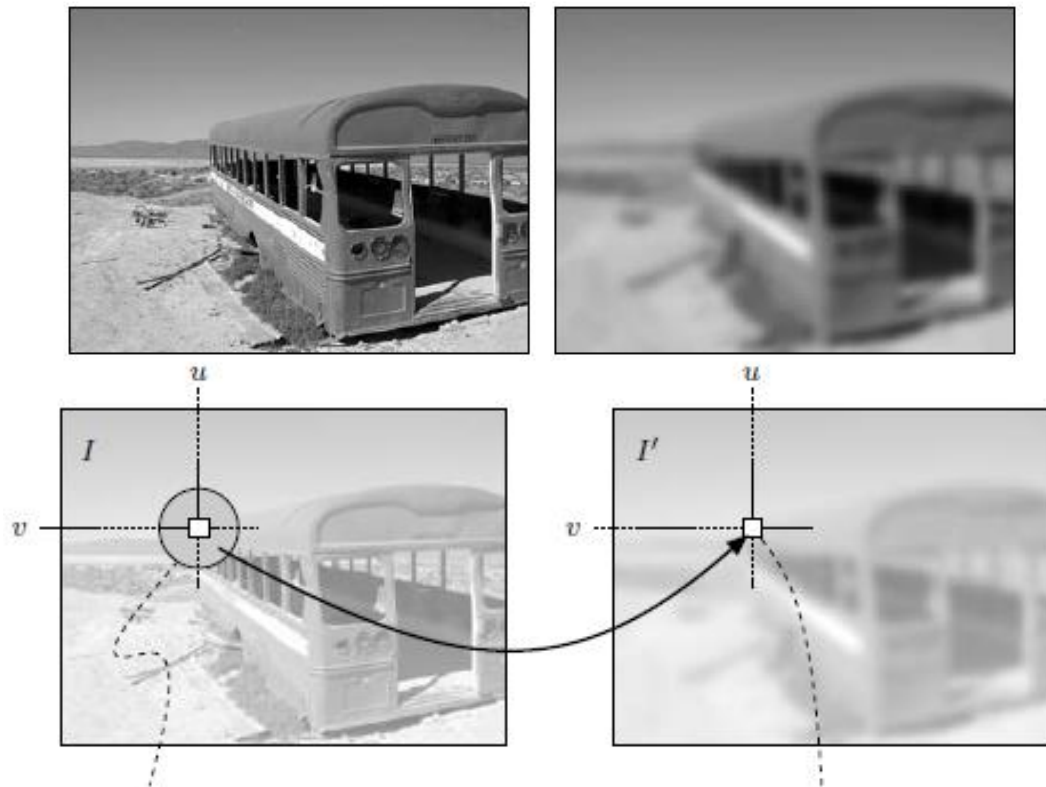
19.11.2021, Prof. Dr. Enkelejda Kasneci



Termine und Themen

22.10.2021	Einführung
29.10.2021	Menschliche Wahrnehmung – visuell, akustisch, haptisch, ...
05.11.2021	Informationstheorie, Textcodierung und -komprimierung
12.11.2021	Bildverbesserung
19.11.2021	Bildanalyse
26.11.2021	Grundlagen der Signalverarbeitung
03.12.2021	Bildkomprimierung
10.12.2021	Videokomprimierung
17.12.2022	Audiokomprimierung
14.01.2022	Videoanalyse
21.01.2022	Dynamic Time Warping
28.01.2022	Gestenanalyse
04.02.2022	Tiefendatengenerierung
11.02.2022	FAQ mit den Tutoren
15.02.2022	Klausur (noch nicht bestätigt)

- Mit Punktoperation ist Glättung oder eine Schärfung eines Bildes nicht zu erreichen
- **Bilder sehen scharf aus, wo sich die Intensität lokal** (in einer Umgebung) **stark ändert** → flächenbasierte Techniken notwendig





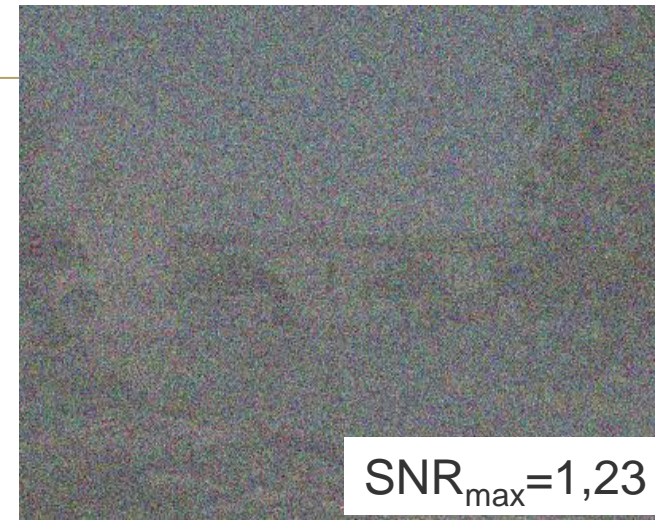
- **Rauschen** kann durch **Integration** einer **Signalfolge** mit (nahezu) **konstantem Signal reduziert werden**
- **Annahmen**
 - Aufnahme mehrerer Bilder $f_i, i = 1, \dots, I$ über gegeb. Zeitraum
 - Bild verändert sich über den Zeitraum nicht (keine Bewegung, keine Beleuchtungsänderung)
 - Erwartungswert E des Rauschens ist 0
 - Jede Veränderung eines Bildes f_i muss durch Rauschen verursacht sein
- **Näherung an die „unverrauschte“ Funktion**
 - **Abschätzung durch Mittelwertbildung über die Bilder**





Beispiel

- Einzelne Aufnahme mit normalverteiltem Rauschen (Signal-Rausch-Verhältnis: $\text{SNR} \approx 1,2$)
- Mittelwert von 10 bzw. 50 Aufnahmen



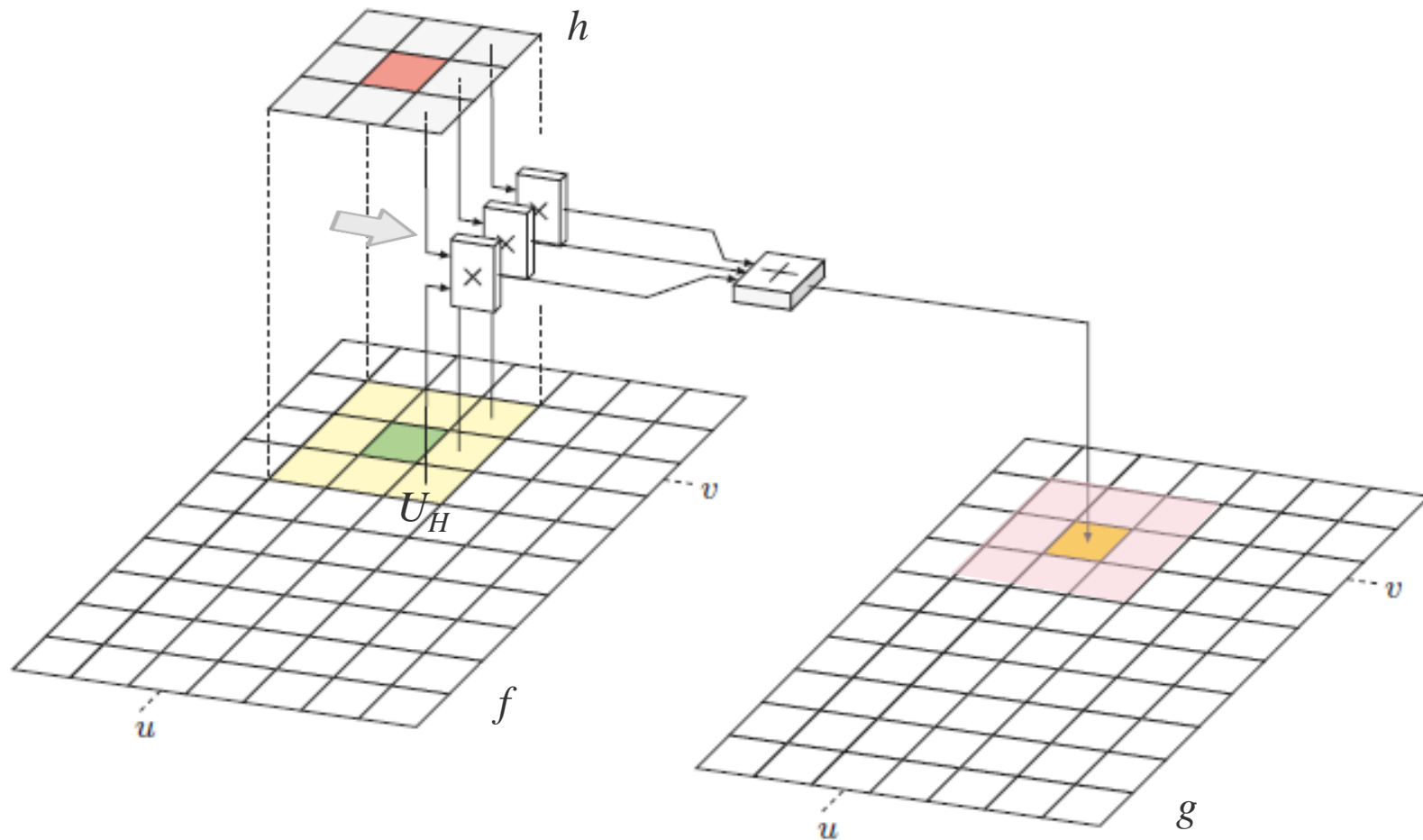


Exkurs: Filter und Faltung

- Der neue Bildwert ist eine gewichtete Summe der Pixel unter einer Filtermatrix → lineare Filter
- Als Gewichte dienen die Matrizenwerte
- Bildmatrizen werden in den relevanten Randbereichen mit Nullen gefüllt
- Bildfilterung ist die Faltung eines Bildes mit einer Filtermatrix bzw. Maske

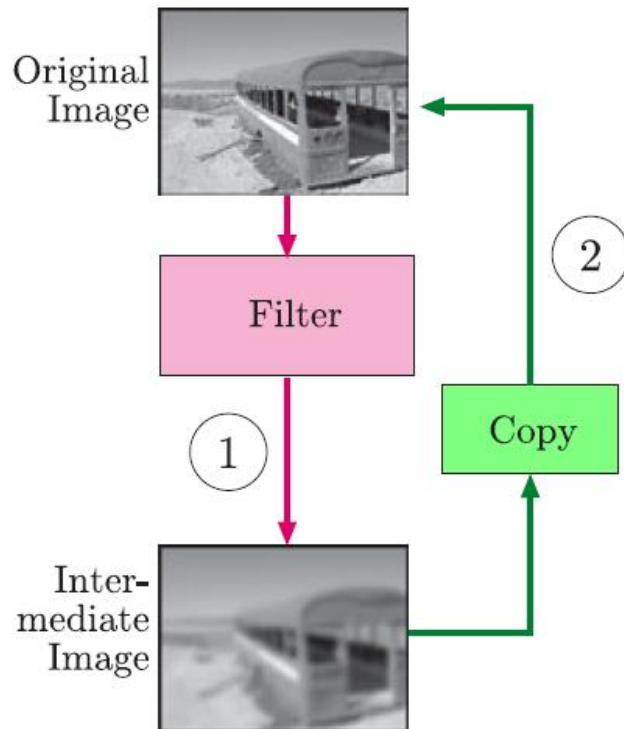


Exkurs: Faltung im Signalbereich

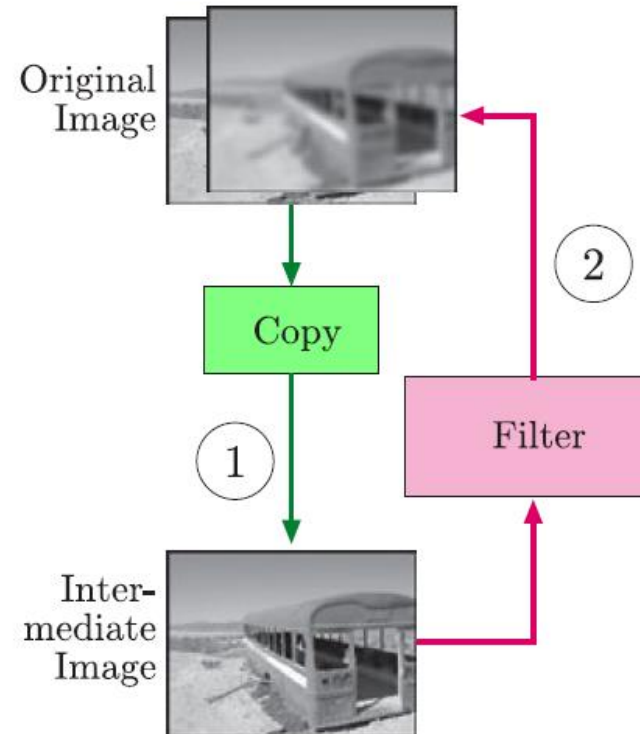


- $g(u, v) = \sum_{(i,j) \in U_H} f(u + i, v + j) \cdot h(i, j)$
- $g(u, v) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(u + i, v + j) \cdot h(i, j)$ für 3x3-Region U_H

Berechnung der Faltungsoperation



Variante A

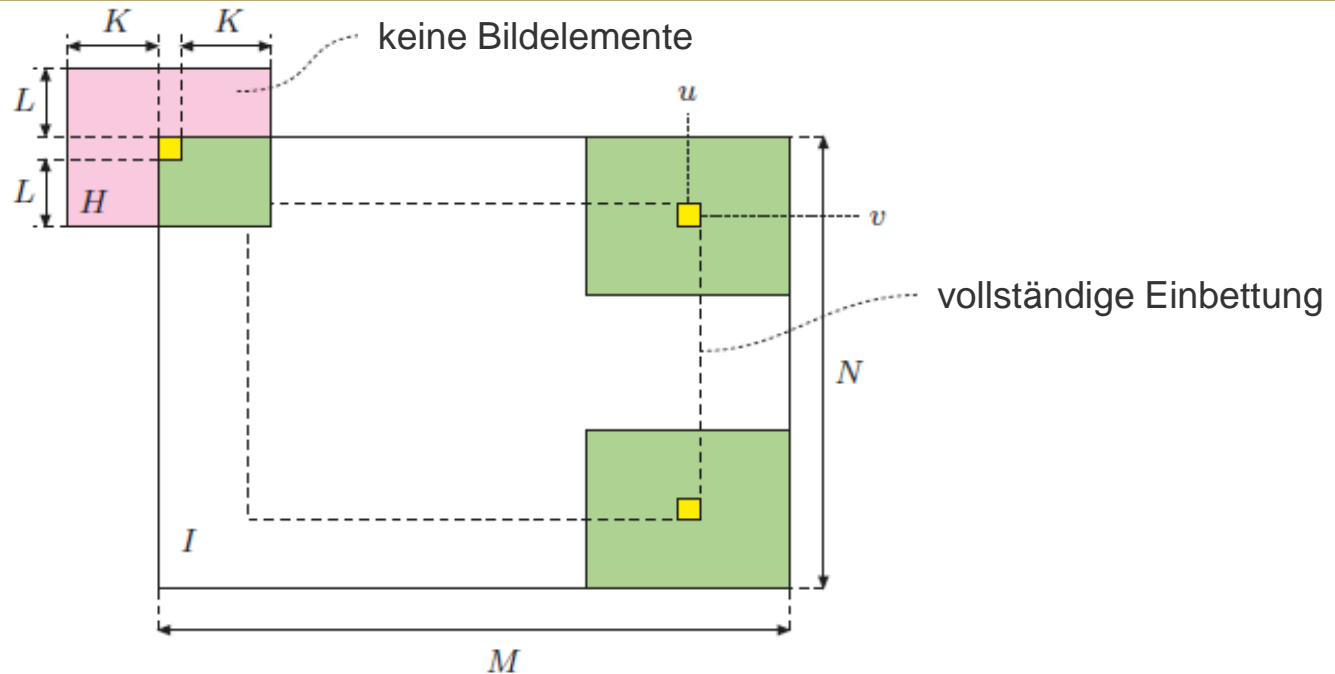


Variante B

- **Variante A:** Filterergebnis wird in einem Zwischenbild (Intermediate Image) gespeichert und dieses abschließend in das Originalbild kopiert
- **Variante B:** Originalbild wird zuerst in ein Zwischenbild kopiert und dieses danach gefiltert, wobei die Ergebnisse im Originalbild abgelegt werden



Behandlung der Bildränder

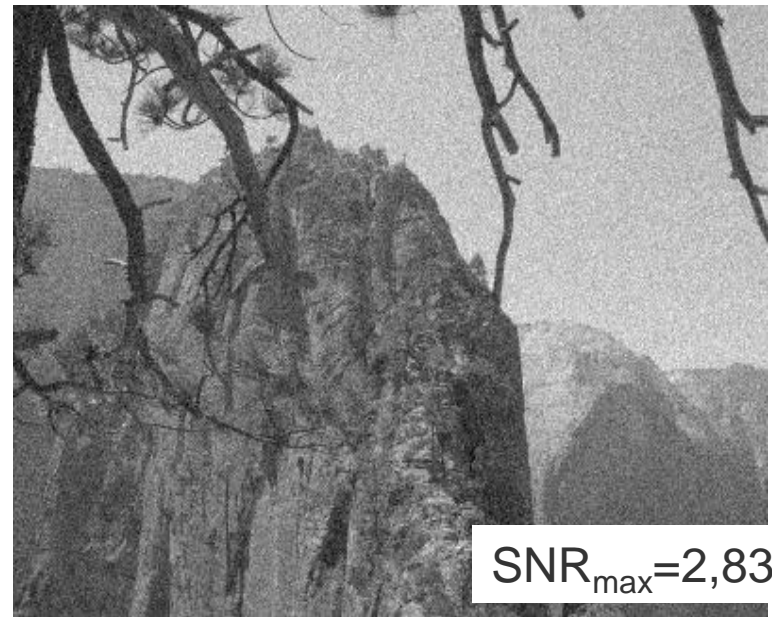


- Anstatt der Berechnung der Filterergebnisse im Randbereich:
 1. Einsetzen eines konstanten Werts (z.B. "schwarz")
 2. Beibehalten der ursprünglichen (ungefilterten) Bildwerte
 3. Berechnung des Randbereichs unter der Annahme, dass ...
 - sich die Randpixel außerhalb des Bilds fortsetzen
 - sich das Bild in beiden Richtungen (horizontal und vertikal) zyklisch wiederholt



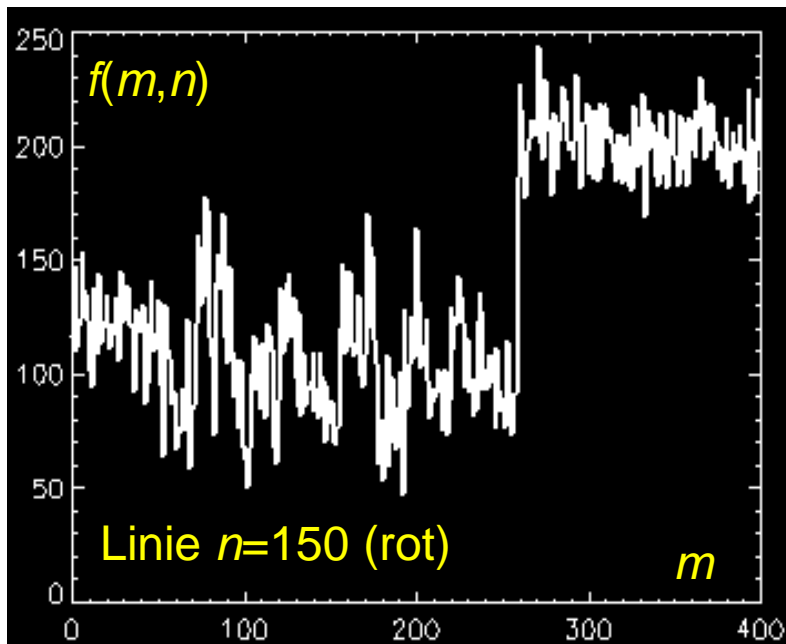
Mittelwertbildung über die Fläche

- Falls für eine Reihe von Bildpunkten (p_0, \dots, p_n) gilt, dass $f(p_i) = \text{const}$ ist, dann kann Rauschen durch Mittelwertbildung der gemessenen Funktionswerte $g(p_i)$ reduziert werden
- **Annahmen**
 - Bild besteht aus homogenen Bereichen
 - Benachbarte Punkte haben den gleichen Grauwert
- **Rauschunterdrückung**
 - **Mittelwertbildung über vorgegebene Nachbarschaft**



Mittelwertbildung durch Faltung

Faltungskern: Gleichmäßige Gewichtung der Pixel in einer gegebenen Nachbarschaft, Rest = 0

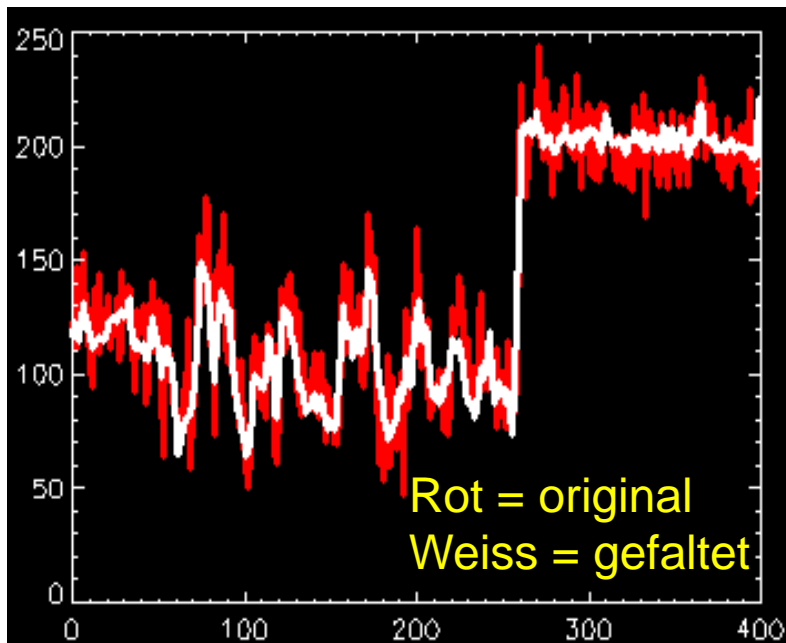




3x3 Boxcar-Filter

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

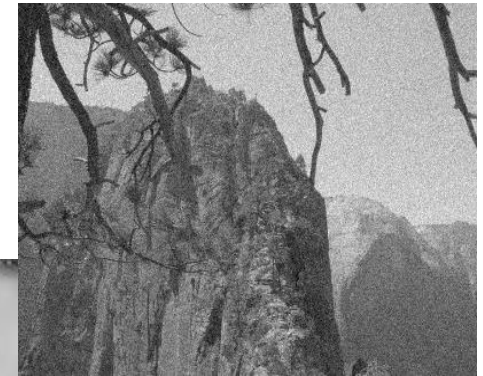
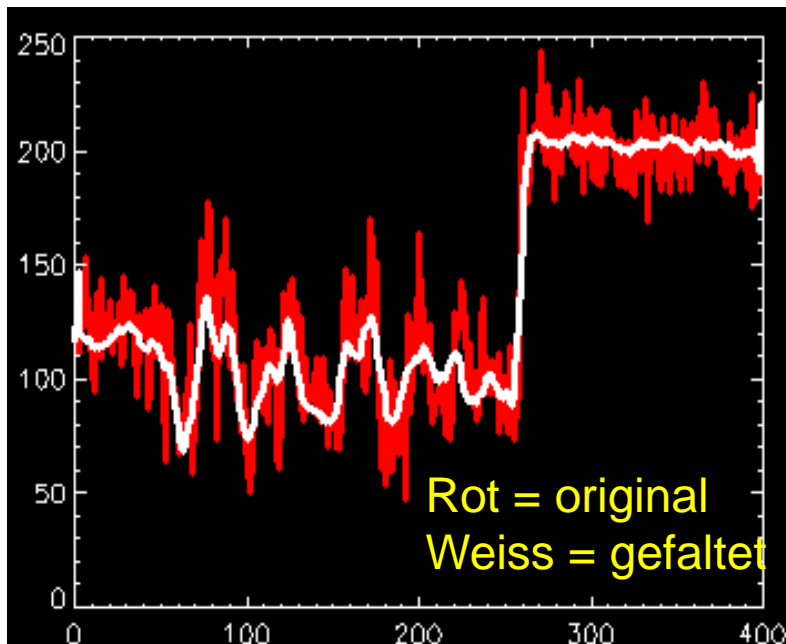
Filterkern $H(i, j) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$



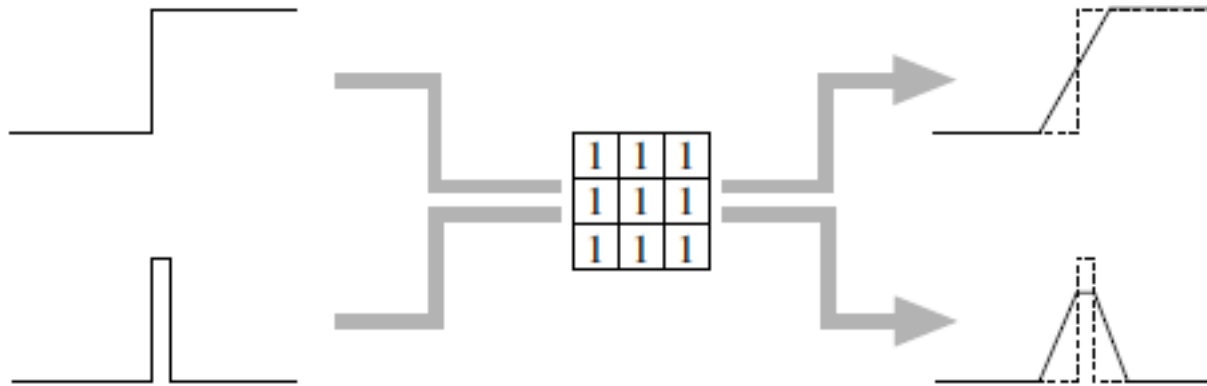
7x7 Boxcar-Filter

Beobachtung: Kanten werden degradiert.

Grund: Annahme konstanter Funktionswerte ist nicht wahr.



Auswirkung des Glättungsfilters



- Lineare Glättungsfiler verwischen auch beabsichtigte Bildstrukturen
- Sprungkanten (oben) oder dünne Linien (unten) werden verbreitert und gleichzeitig ihr Kontrast reduziert

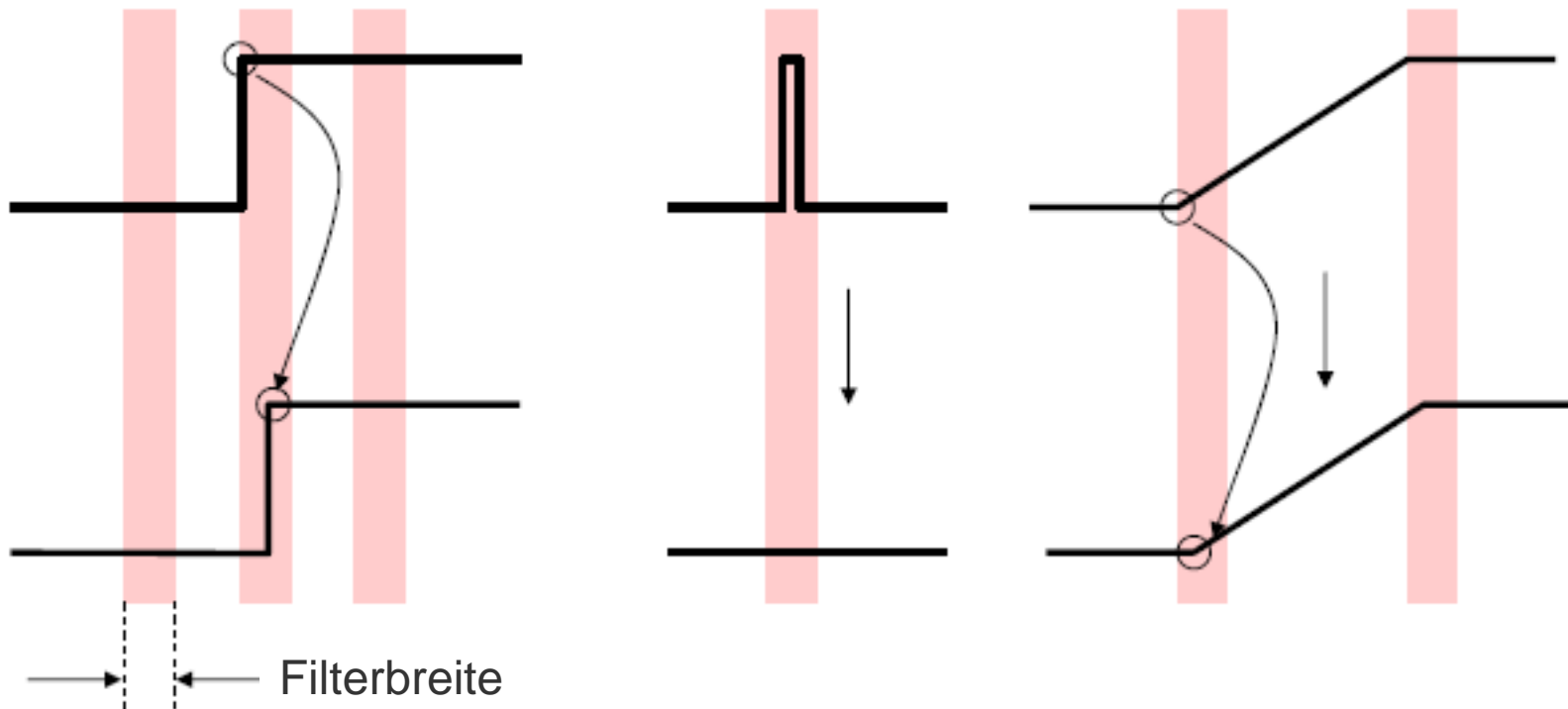


Nichtlineare Glättungsfiler: Min-Filter und Max-Filter

- Min- und Max-Filter ersetzen die Werte in einer (z.B. 3x3-) Umgebung R mit dem enthaltenen minimalen bzw. maximalen Wert

$$I'(u, v) \leftarrow \min \{I(u + i, v + j) \mid (i, j) \in R\} = \min(R_{u,v})$$

$$I'(u, v) \leftarrow \max \{I(u + i, v + j) \mid (i, j) \in R\} = \max(R_{u,v})$$



Nichtlineare Glättungsfilter: Min-Filter und Max-Filter

- **Min-Filter:** eliminiert weiße Punkte beim so genannten „Salt-and-Pepper“-Rauschen und verbreitert dunkle Stellen
- **Max-Filter:** gegenteiliger Effekt



Bild gestört mit
„Salt-and-Pepper“-Rauschen



Anwendung des
Min-Filters



Anwendung des
Max-Filters

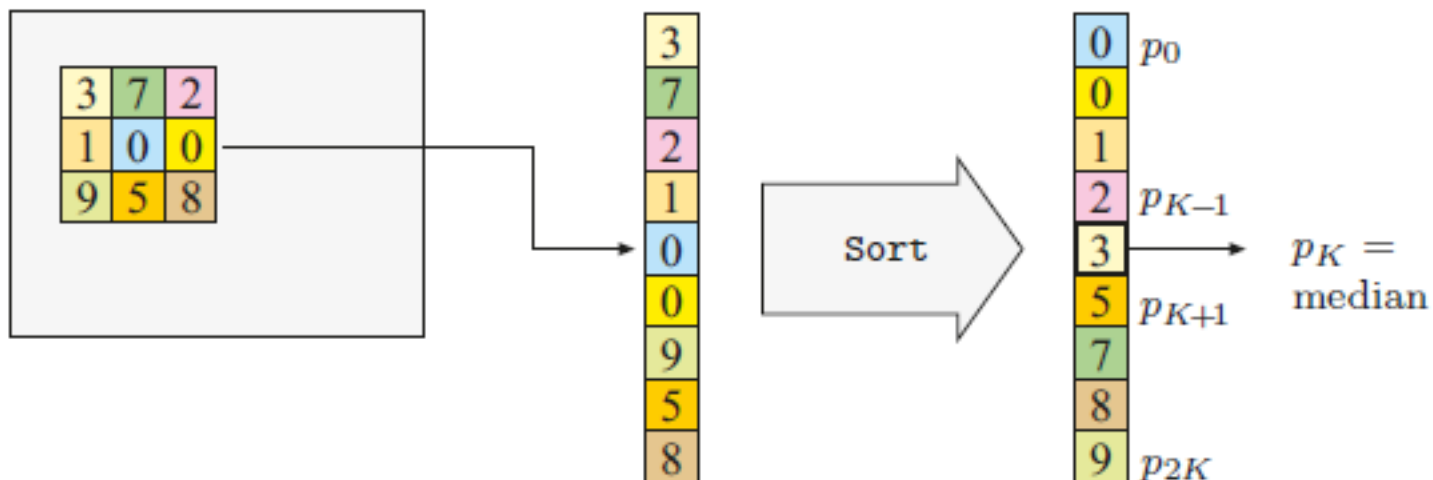


- Medianfilter ersetzt jedes Bildelement durch den **Median** der **Pixelwerte innerhalb der Filterregion R** , wobei der Median von $2K + 1$ Pixelwerten p_i definiert ist als

$$\text{median}(p_0, p_1, \dots, p_K, \dots, p_{2K}) = p_K$$

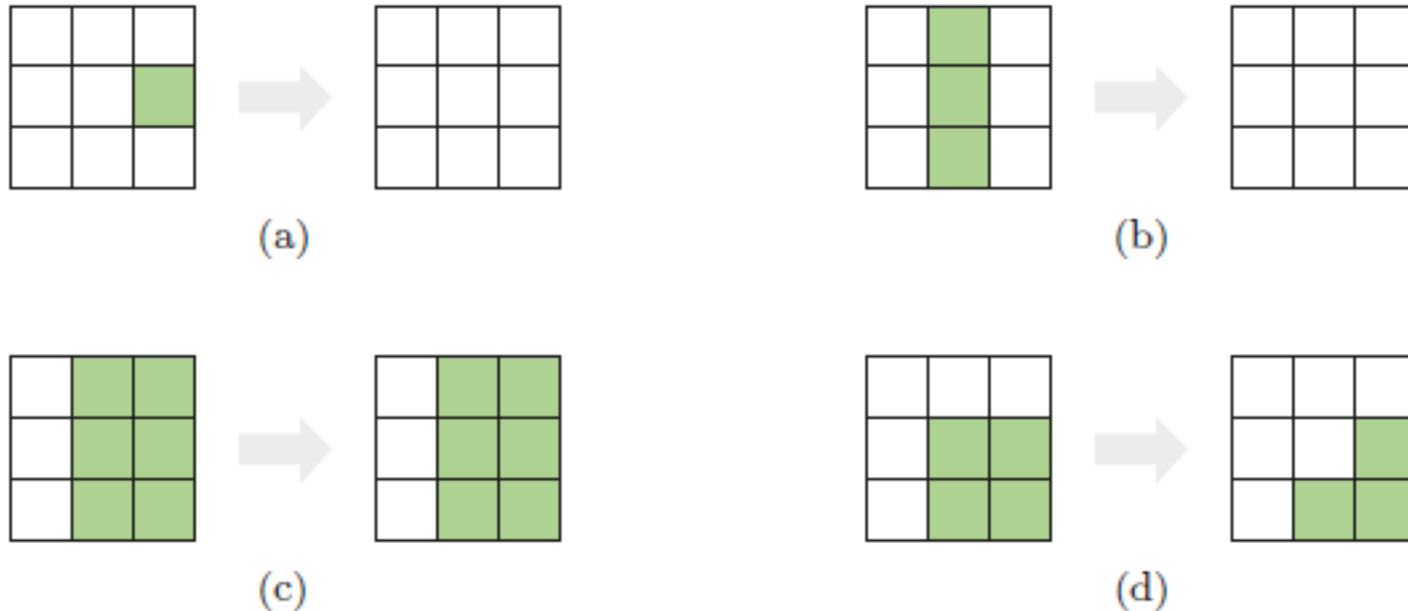
also der mittlere Wert, wenn die Folge (p_0, \dots, p_{2K}) nach der Größe ihrer Elemente sortiert ist ($p_i \leq p_{i+1}$).

- Falls Anzahl Elemente gerade sein sollte, dann verwende den arithmetischen Mittelwert der beiden mittleren Werte





Auswirkungen des Median-Filters



- Ein einzelner Puls wird eliminiert (a), genauso wie eine 1-Pixel dünne horizontale oder vertikale Linie (b).
- Die Sprungkante (c) bleibt unverändert, eine Ecke (d) wird abgerundet.

Vergleich des Median-Filters



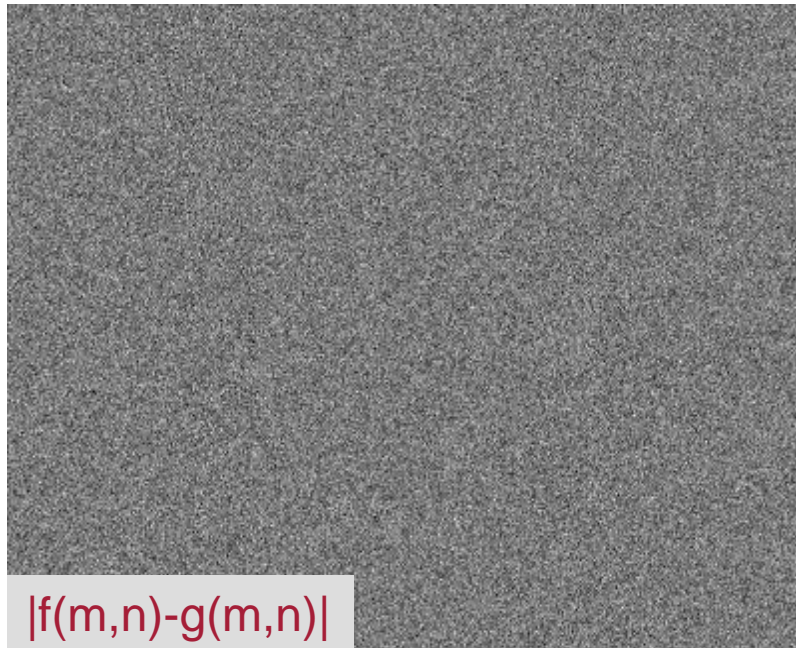
Bild gestört mit „Salt-and-Pepper“-Rauschen

Anwendung des 3x3-Boxcar-Filters

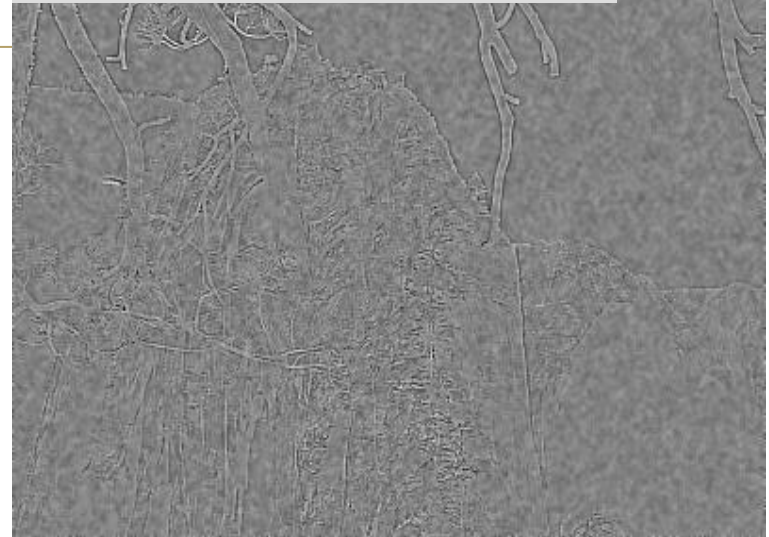
Anwendung des Median-Filters



Verhalten an Kanten



nach 3x3 Boxcar-Filterung



nach 7x7 Boxcar-Filterung

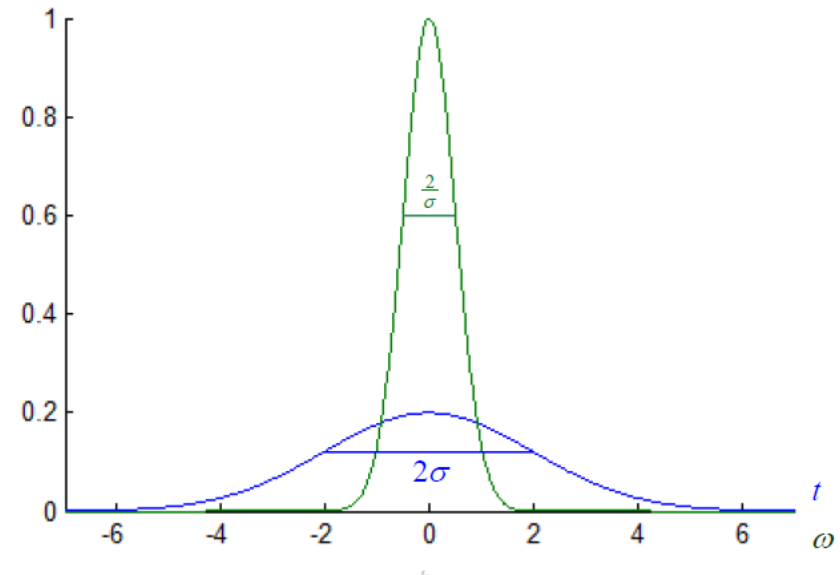




Alternative Filterung: Gauß I

- Gaußfunktion wird bei Fouriertransformation zu Gaußfunktion mit invertierter Breite
- Keine Richtungsabhängigkeit und Periodizität im Frequenzraum
- Gaußfilter mit Radius σ definiert durch die Gaußfunktion $g(x,y)$ bzw. ihrer Fourier-Transformierten $G(u,v)$:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \longleftrightarrow G(u, v) = e^{-\frac{u^2+v^2}{2}\sigma^2}$$





Gauß-Filter

- Ziel: Rauschunterdrückung, Glättung
- Definiert durch zweidimensionale Gauß-Funktion:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \longleftrightarrow G(u, v) = e^{-\frac{u^2+v^2}{2}\sigma^2}$$

- Approximation von $g(x)$ durch einen 3×3 -Filter für $\sigma = 1$:

$$F_{Gau\beta} = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Gauß-Filter

- Beispielanwendung



Originalbild



Geglättetes Bild

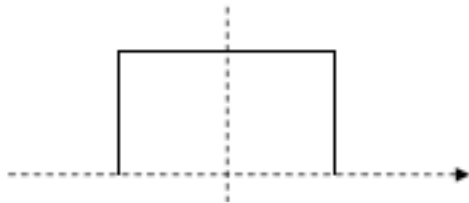
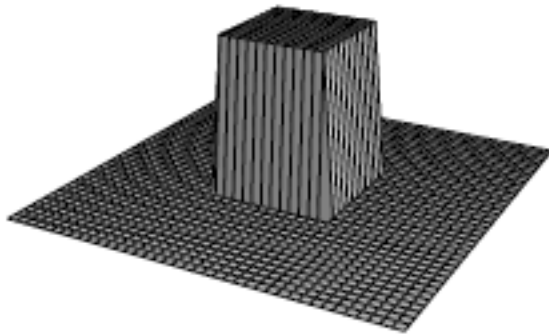
Grenzen



Sogenanntes
Impulsrauschen (Salt-
Pepper-Rauschen)
kann nicht entfernt
werden.



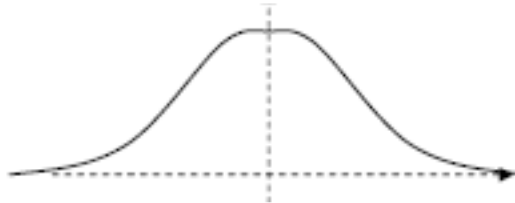
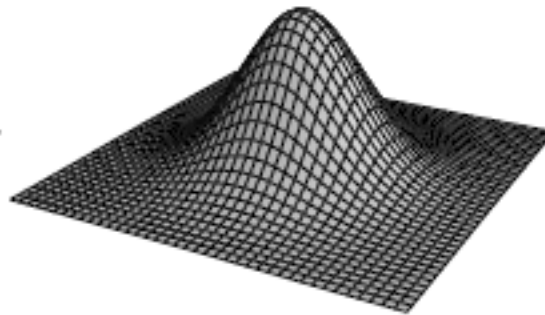
Lineare Glättungs- und Differenzfilter



0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

Boxcar-Glättungsfilter

Durchschnittsbildung → Glättung
örtlicher Intensitätsunterschiede



0	1	2	1	0
1	3	5	3	1
2	5	9	5	2
1	3	5	3	1
0	1	2	1	0

Gauß-Glättungsfilter



0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

Laplace-Differenzfilter

Differenzbildung → Verstärkung
örtlicher Intensitätsunterschiede



Verwendung des passenden Filters anhand der Art des Rauschens

Rauschen	Filterung
Salt & Pepper	Median
Gaussian	Gauß'scher
Poisson	Mittelwert
Speckle	Weiner

<https://medium.com/image-vision/noise-filtering-in-digital-image-processing-d12b5266847c>

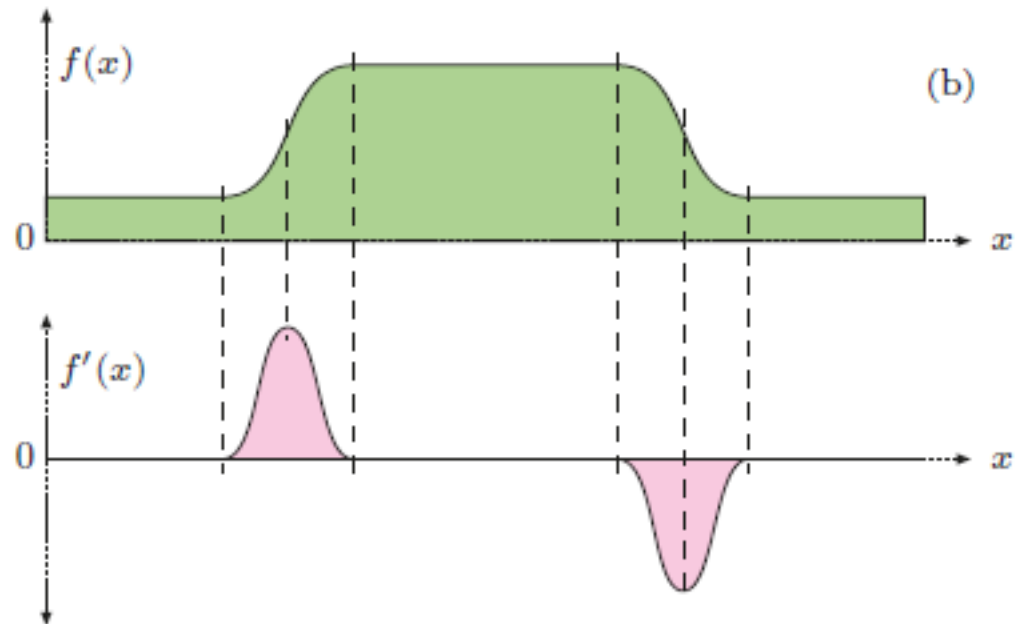


Kantendetektion





Erste Ableitung zur Kantendetektion



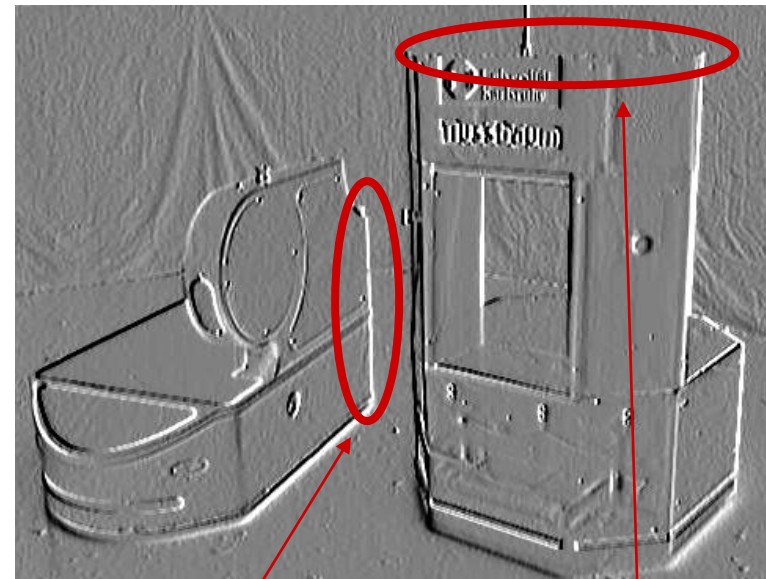
Filterung – Prewitt I

Prewitt-X Filter

$$P_x = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x}$$

- Approximiert durch

$$p_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



gute vertikale

schlechte horizontale

Kantendetektion

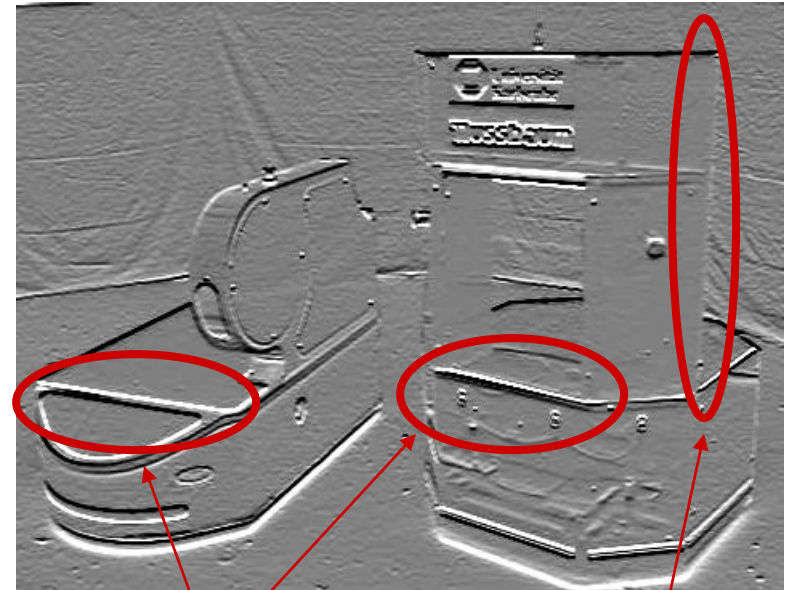
Filterung – Prewitt II

Prewitt-Y Filter

$$P_y = \frac{\partial g(x, y)}{\partial y}$$

- Approximiert durch

$$p_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$



gute horizontale

schlechte vertikale

Kantendetektion



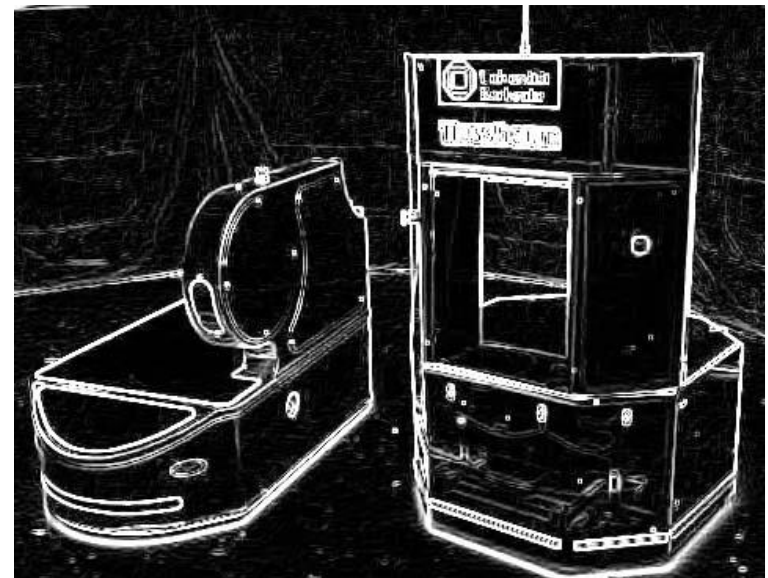
Filterung – Prewitt III

Prewitt-Operator

- Kombination der Prewitt-Filter zur Bestimmung des Grauwertgradientenbetrages M

$$M \approx \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

- Danach: Schwellwertfilterung





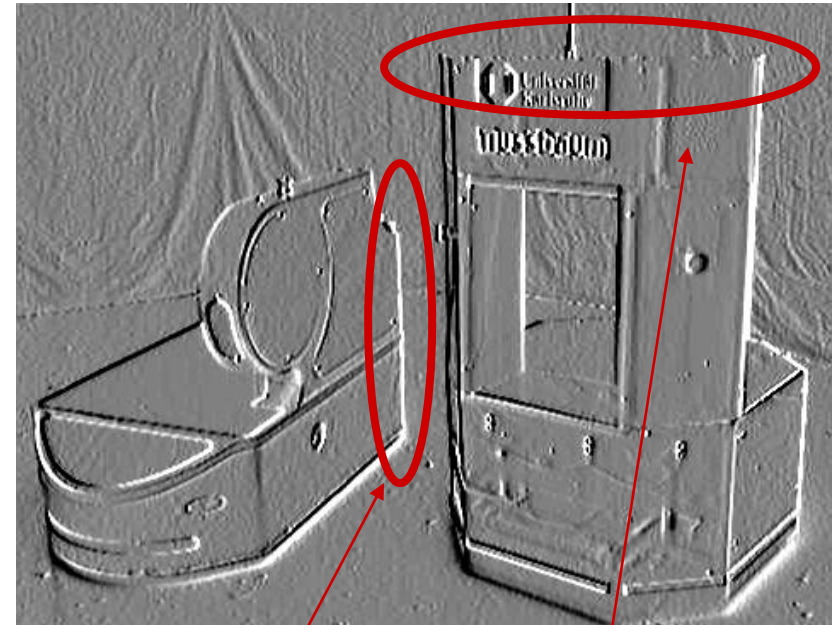
Filterung – Sobel I

Sobel-X Filter

$$S_x = \frac{\partial g(x,y)}{\partial x}$$

- Approximiert durch

$$s_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



gute vertikale schlechte horizontale
Kantendetektion

Filterung – Sobel II

Sobel-Y Filter

$$S_y = \frac{\partial g(x, y)}{\partial y}$$

- Approximiert durch

$$s_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$



gute horizontale

schlechte vertikale

Kantendetektion

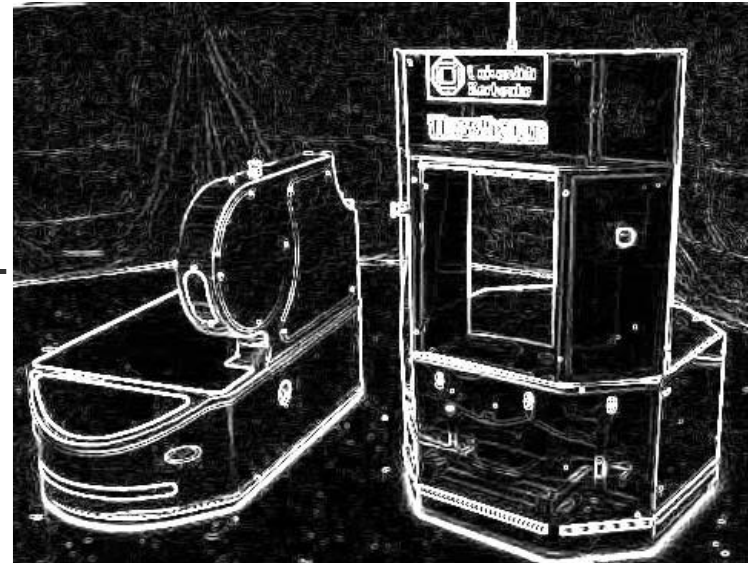
Filterung – Sobel III

Sobel-Operator

- Kombination der Sobel-Filter zur Bestimmung des Grauwertgradienten-Betrages M

$$M \approx \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

- Danach: Schwellwertfilterung



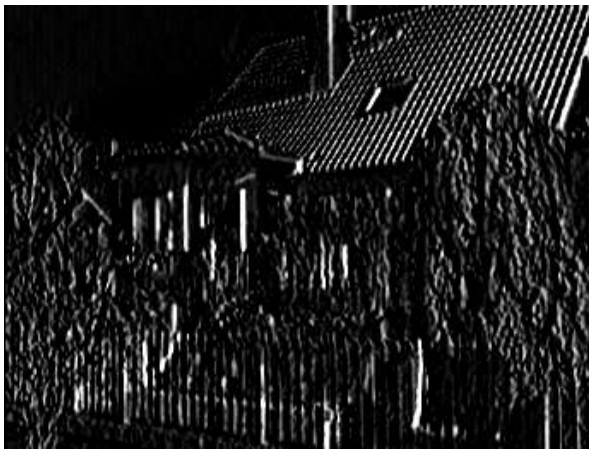


Canny-Algorithmus (John Francis Canny)

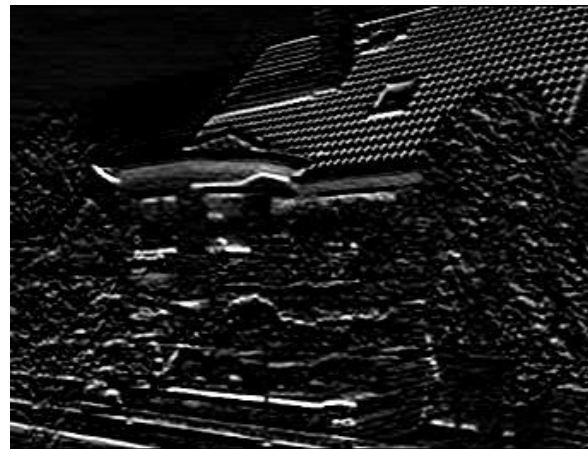
1. Umwandlung des Bildes in Graustufen
2. Anwendung des Gauß Filters zur Rauschreduktion
3. Anwendung der Sobel Operatoren



<https://de.wikipedia.org/wiki/Canny-Algorithmus>



SobelX, size=3



SobelY, size=3

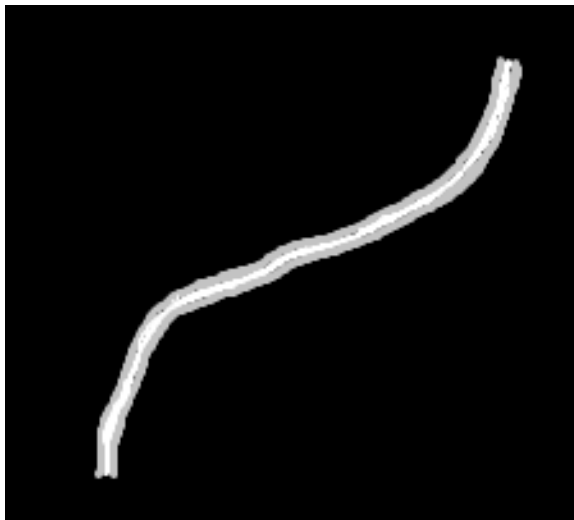


Canny-Algorithmus (John Francis Canny)

4. Berechnung der absoluten Kantenstärke (wie bei Sobel)

$$G(x, y) = \sqrt{g_x(x, y)^2 + g_y(x, y)^2}$$

5. Non-maximum Suppression (schmäleren der Kanten)



Eingangskante



Ausgangskante



Canny-Algorithmus (John Francis Canny)

6. Hysterese: Filterung anhand eines Kantenschwellwertes T

```
for y in range(height):  
    for x in range(width):  
        if img[x][y] > T:  
            img[x][y] = 255  
        else:  
            img[x][y] = 0
```

Beispielhafte Python Implementierung

7. Resultierendes Kantenbild



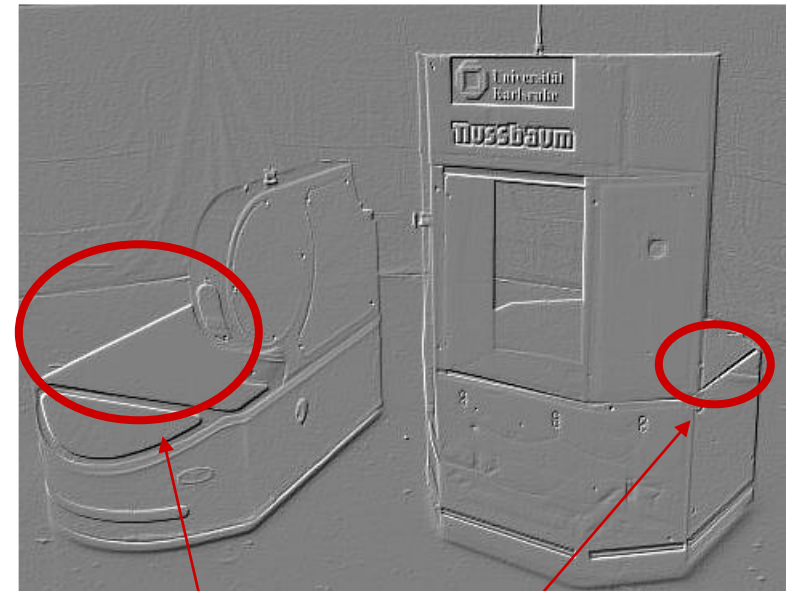
<https://de.wikipedia.org/wiki/Canny-Algorithmus>



Filterung – Roberts

- **Roberts-Filter:** $R(g(x,y)) = |R_x(g(x,y))| + |R_y(g(x,y))|$

$$R_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad R_y = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$



Gute diagonale
Kantendetektion



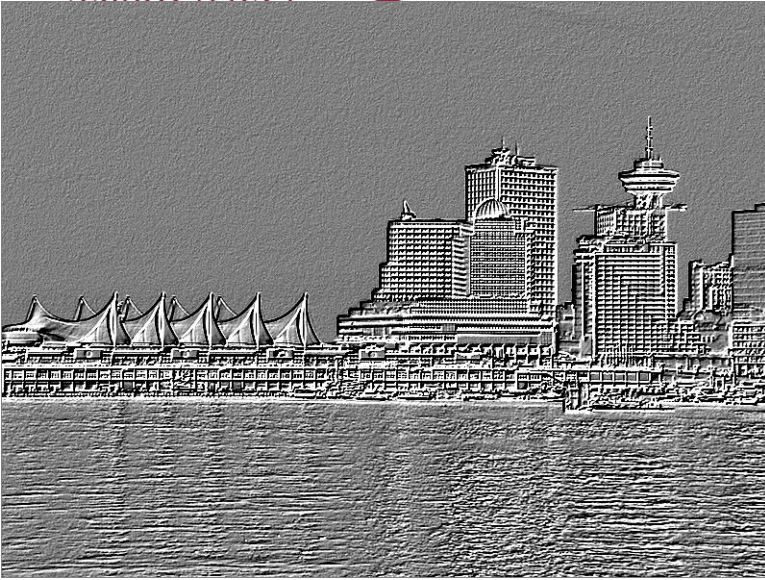
Kompassfilter

- Dienen der Hervorhebung von Kanten in einer bestimmten Richtung.
- **Prewitt-Operator (Rotation um 45°)**

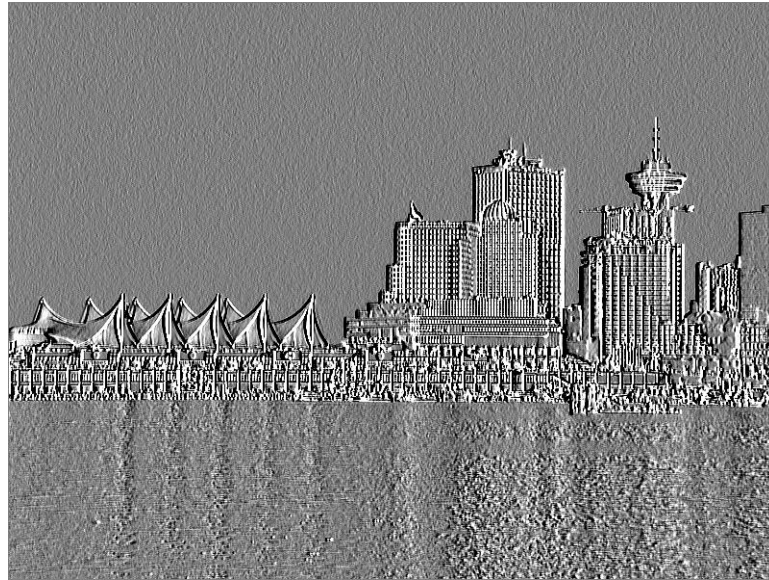
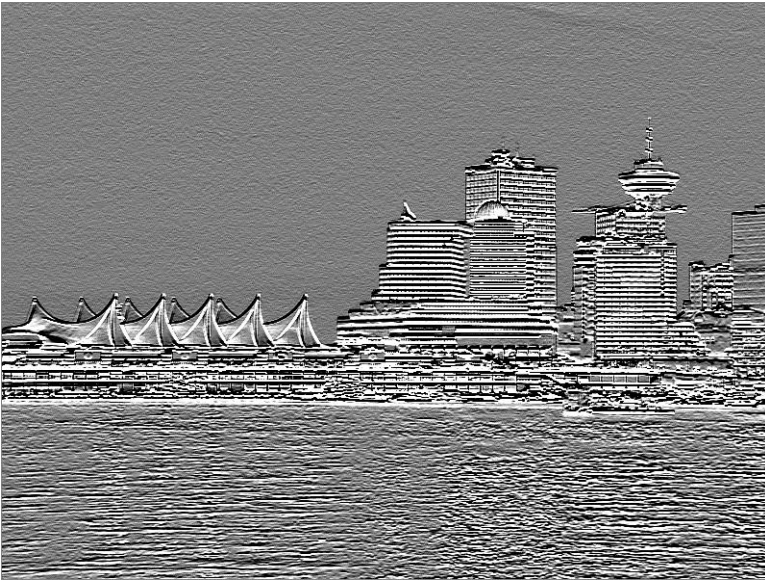
$$h_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, \quad h_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad h_3 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots \quad h_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

- **Kirsch-Operator (Rotation um 45°)**

$$h_1 = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{pmatrix}, \quad h_2 = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{pmatrix}, \quad h_3 = \begin{pmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & 3 & 3 \end{pmatrix} \dots \quad h_8 = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & -5 \\ 3 & -5 & -5 \end{pmatrix}$$

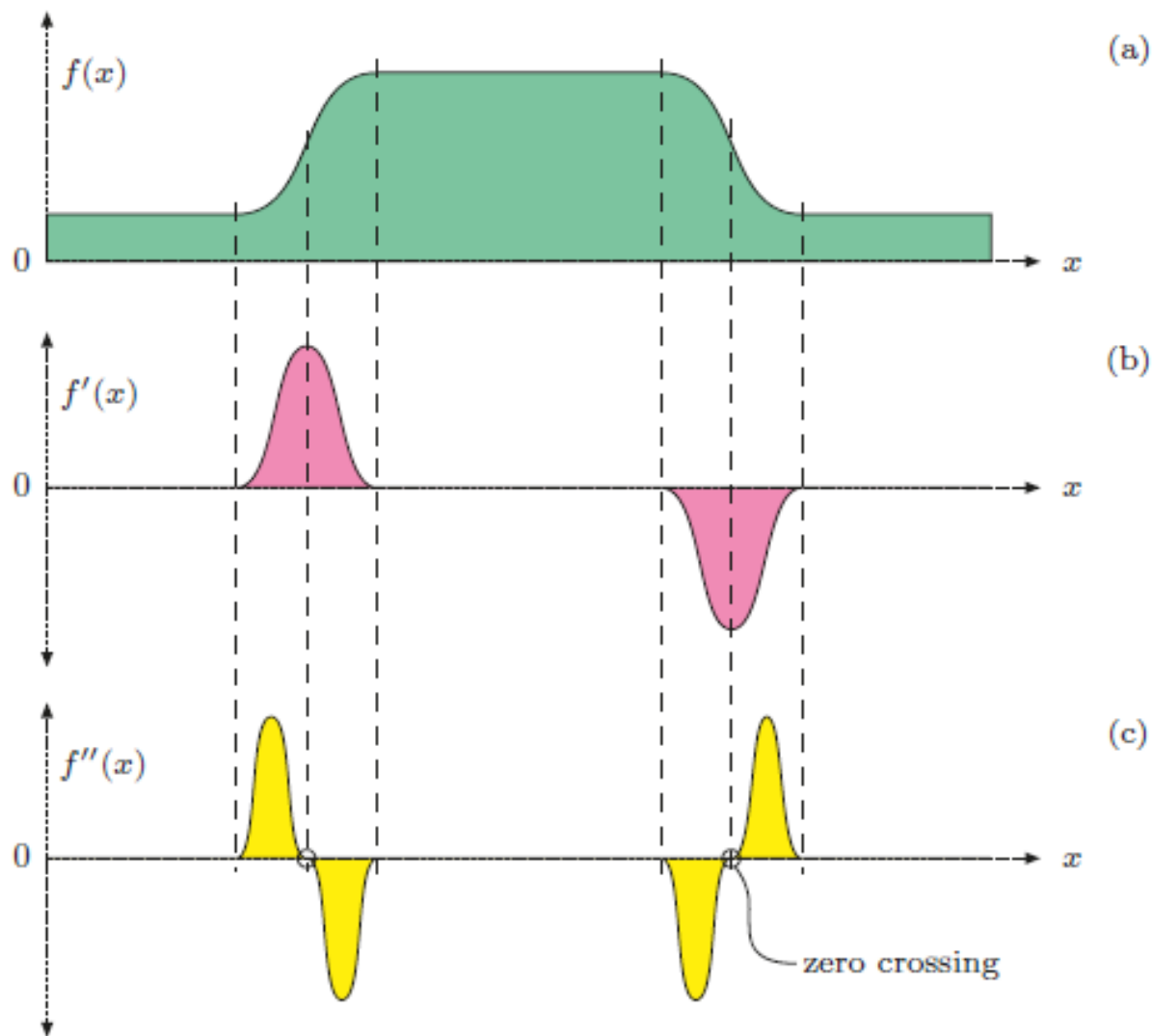


Kirschoperator





Verwendung der zweiten Ableitung zur Kantendetektion



Filterung – Laplace

Laplace-Operator:

Addition der zweiten Ableitungen in
x-Richtung und in y-Richtung

$$\nabla^2 g(x, y) = \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2}$$

$$\nabla^2 \approx \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$



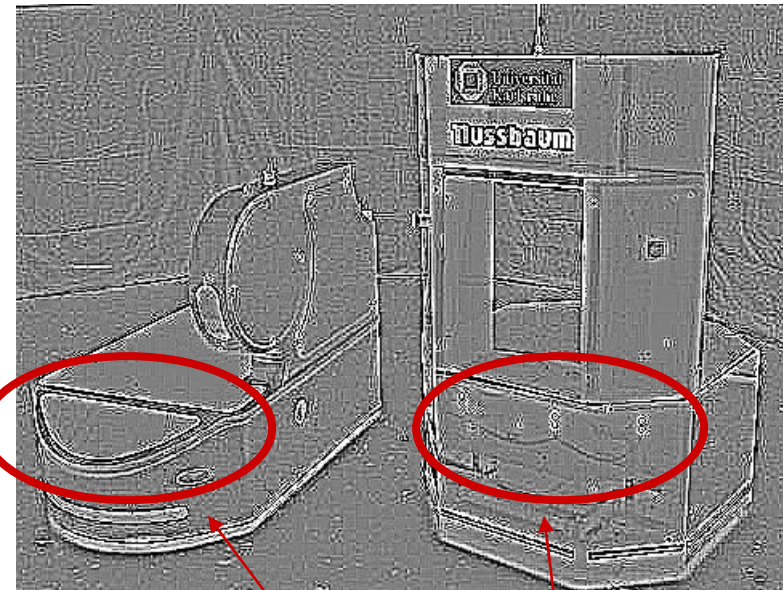
Nulldurchgänge markieren Kanten
Subpixelgenauigkeit erreichbar



Filterung – Laplace II

Näherung des Laplace-Operators:

$$\nabla^2 \approx \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$



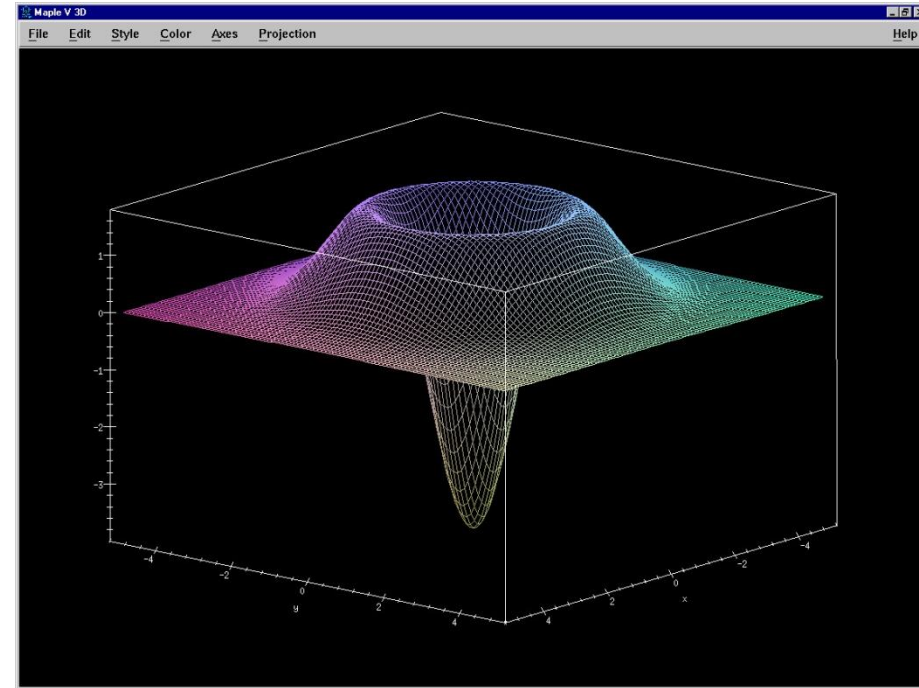
Stärkere Kanten

(z.B. Ultraschallverkabelung hinter Plexiglas), aber mehr Störkanten



Filterung – Laplacian of Gauss (LoG)

- Der Laplace-Operator ist gegen Rauschen sehr empfindlich.
- Wesentlich bessere Ergebnisse erhält man, wenn man das Bild zunächst mit einem Gauss-Filter glättet und danach den Laplace-Operator anwendet
- (Laplacian of Gauss, LoG)

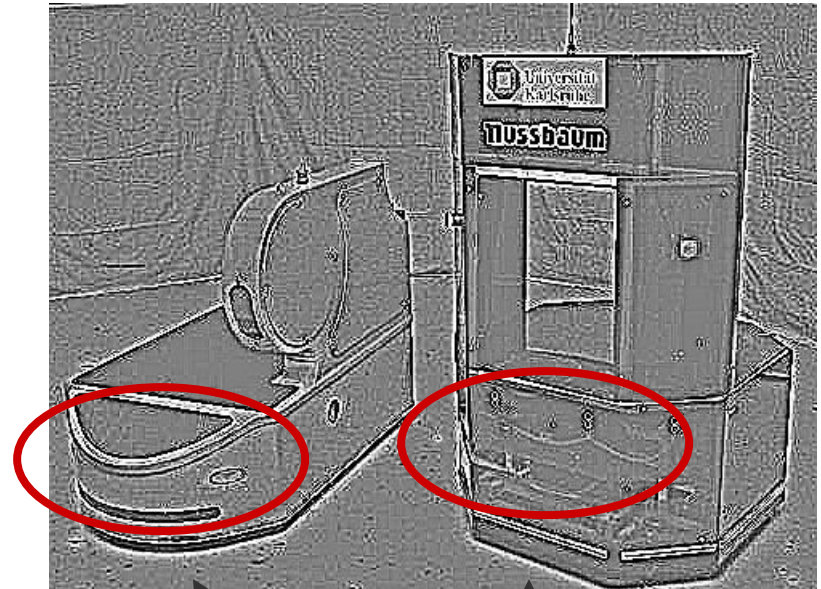


$$LoG(g(x,y)) = \nabla^2 (G(x,y) * g(x,y))$$

Filterung – LoG II

- Approximation
- Faltung mit Matrix

$$\nabla^2 G(x,y) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Stärkere Kanten,
weniger Rauschen



Zusammenfassung

- Lokale Operationen werden oftmals zur Filterung verwendet
- Viele Filter werden als Faltungsoperationen mit Faltungskern dargestellt
- Filter können Bildrauschen beseitigen
- Filter ermöglichen eine Kantendetektion
- Kantendetektion ist stark richtungsabhängig

Literatur



K. D. Tönnies:

Grundlagen der
Bildverarbeitung,

Pearson Studium, 2005.



W. Burger, M.Burge:

Digitale Bildverarbeitung:
Eine algorithmische
Einführung mit Java;

Springer Vieweg,
3. Auflage 2015.



J. Steinmüller:

Bildanalyse,

Springer-Verlag,
1. Auflage 2008.

Quellenangabe: Bilder und Folienmaterial sind auszugsweise aus den Lehrbüchern und Materialien von Tönnies und Burger, Burge sowie den Vorlesungsmaterialien von Prof. Xiaoyi Jiang, Universität Münster entnommen.