„Bildverarbeitung“

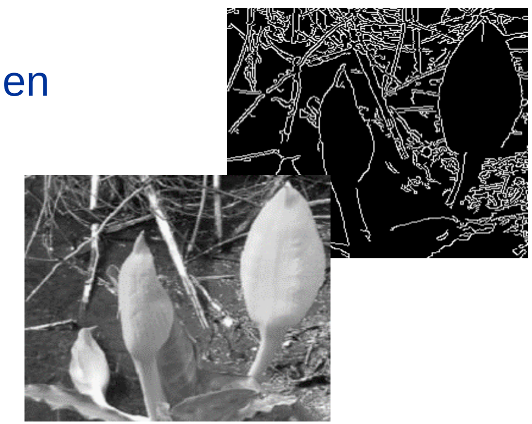
Hochschule Niederrhein

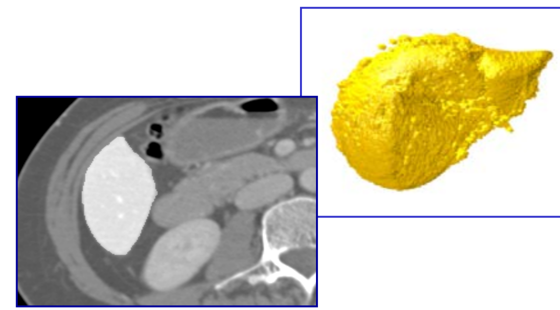
Regina Pohle-Fröhlich

Kantenfilterung im Ortsbereich

Roter Faden durch die Vorlesung

- Bildaufnahme
- Histogramme
- Grauwertmodifikation
- Glättungsfilter
- Kantenfilter
- Nichtlineare Filter
- Segmentierung
- Morphologische Operationen
- Fourier Transformation
- Anwendung der FFT
- Probeklausur





5 Kanten

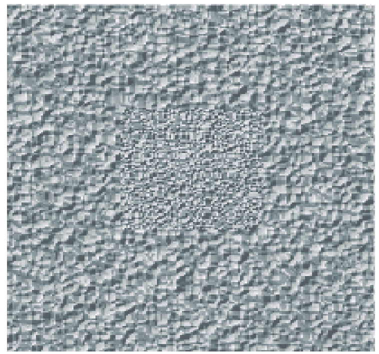
Kanten sind wichtige Merkmale für die Objekterkennung:

- Kanten grenzen Segmente ab
- Bei Kantenpixeln ändert sich die Grauwertintensität abrupt

Aufgaben der Bildverarbeitung:

- Detektion von Kantenpunktkandidaten
- Finden von offenen oder geschlossenen Kantenzügen

5 Kanten



Diskontinuitäten zwischen Regionen.

Problem:

Die Region selbst und damit ihr Homogenitätskriterium muss bekannt sein, um Diskontinuität definieren zu können.

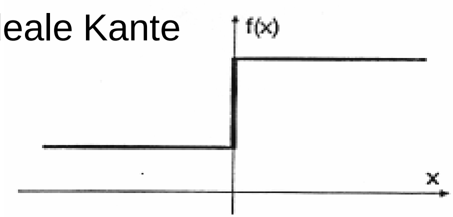
Homogenität kann z.B. bezüglich Grauwert oder Textur existieren

5 Kanten

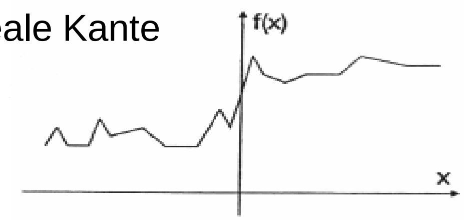
Kanten spielen eine dominante Rolle im menschlichen Sehen:

- Bildinhalt ist bereits erkennbar, wenn nur wenige Konturen sichtbar sind (z.B. Karikaturen).
- Subjektiver Schärfeeindruck eines Bildes steht in direktem Zusammenhang mit seiner Kantenstruktur.
- Grauwertkante = Ort, an dem sich die Intensität auf kleinem Raum stark ändert.

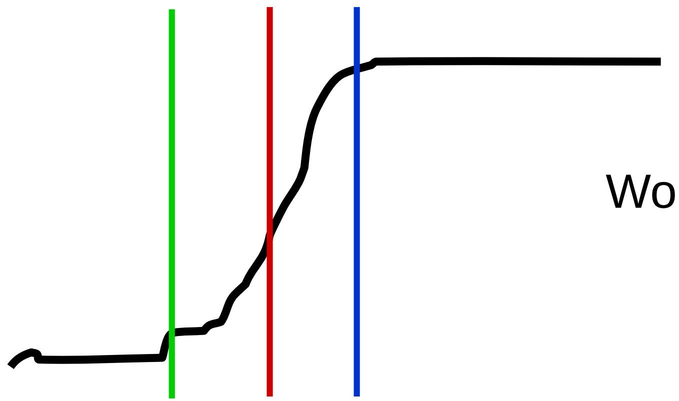
Ideale Kante



Reale Kante



5 Kanten



Wo liegt die Kante?

Wendepunkt: Punkt auf einem Funktionsgraphen, an dem sich das Krümmungsverhalten ändert (Graph wechselt hier entweder von einer Rechts- in eine Linkskurve oder umgekehrt).

Berechnung: notwendige Bedingung: $f''(x,y)=0$

hinreichende Bedingung: $f^{(n)}(x,y)>0$ (bei steigender Kurve)

$f^{(n)}(x,y)<0$ (bei fallender Kurve)

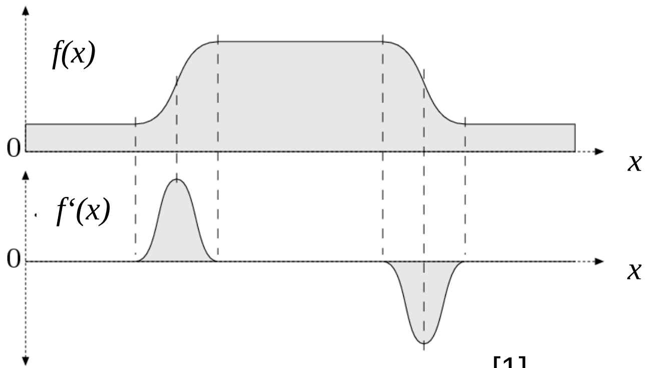
n – erste nicht verschwindende Ableitung ungerader Ordnung

5 Kanten

- Intensitätsänderung bezogen auf die Bilddistanz wird durch die Ableitung der Bildintensität gemessen

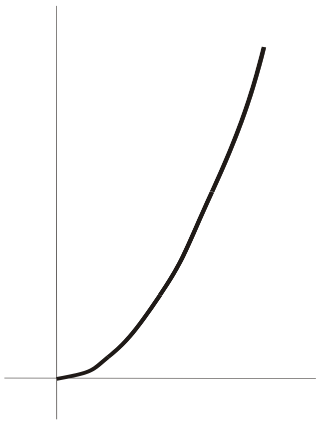
- In einer Dimension (z.B. entlang einer Bildzeile):

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx}$$



[1]

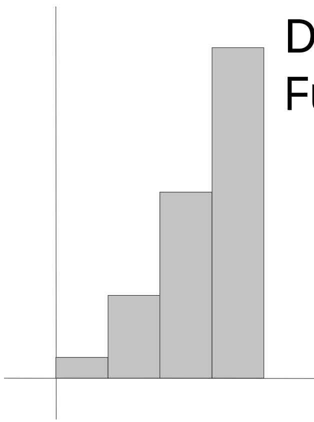
5.1 Berechnung der 1. Ableitung

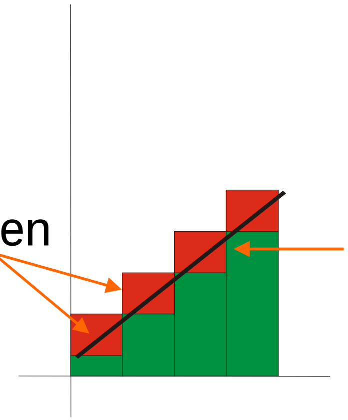


Kontinuierliche Funktion:

$$f'(x_0) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} \quad mit \ \Delta x = x - x_0$$

5.1 Berechnung der 1. Ableitung



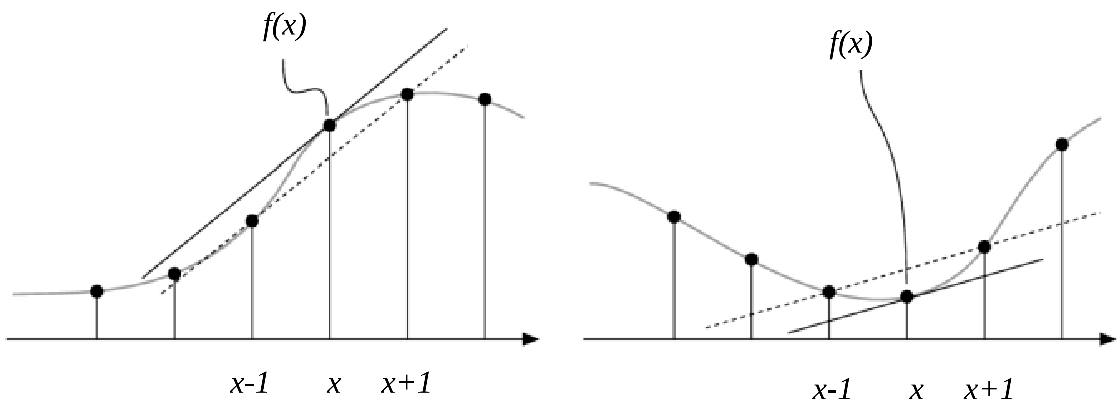


Aus Differentialen werden Differenzen:

$\partial f(x)/\partial x := [f(x+1)-f(x)] \,/\, [(x+1)-x]$

Die Ableitung kann nur angenähert werden.

5.1 Berechnung der 1. Ableitung



[1]

symmetrischer Gradient: $$\frac{df(x)}{dx} \approx \frac{1}{2}(f(x+1) - f(x-1))$$

Rückwärtsgradient: $$\frac{df(x)}{dx} \approx f(x) - f(x-1)$$

Vorwärtsgradient: $$\frac{df(x)}{dx} \approx f(x+1) - f(x)$$

5.1 Berechnung der 1. Ableitung

Partielle Ableitung: Ableitung einer mehrdimensionalen Funktion (hier das Bild $B(x, y)$) entlang einer der Koordinatenrichtungen

$$\frac{\partial B}{\partial x}(x, y) = \partial_x B(x, y) \quad und \quad \frac{\partial B}{\partial y}(x, y) = \partial_y B(x, y)$$

Gradient: Vektor der partiellen Ableitungen

$$\nabla B(x, y) = \begin{bmatrix} \partial_x B(x, y) \\ \partial_y B(x, y) \end{bmatrix}$$

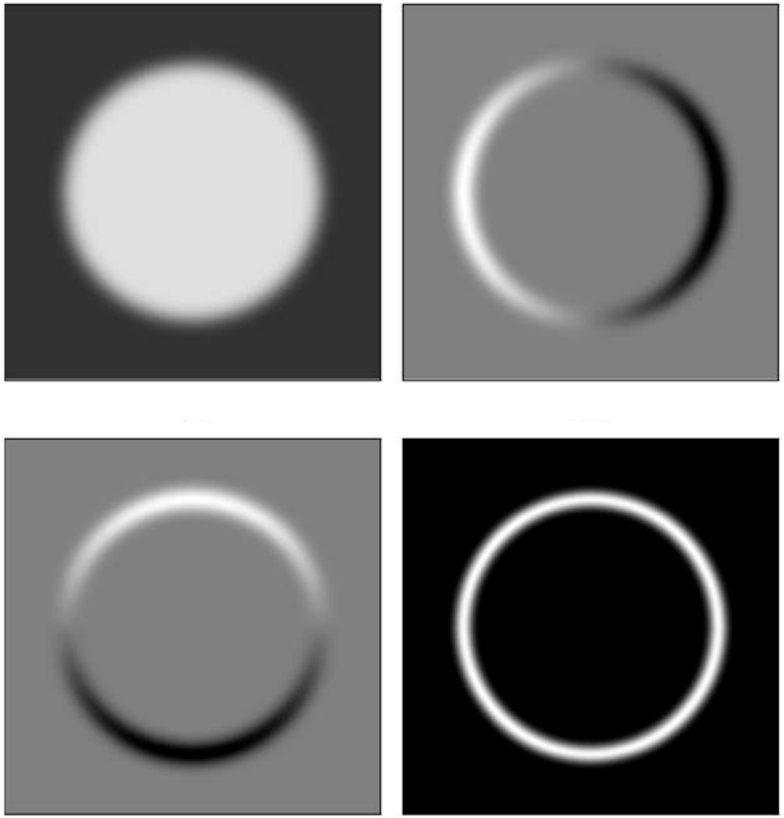
Betrag des Gradienten (Stärke der stärksten Steigung bzw. stärksten Gefälles): unabhängig von der Orientierung der Bildstruktur

$$\left|\nabla B(x, y)\right| = \sqrt{\left(\partial_x B(x, y)\right)^2 + \left(\partial_y B(x, y)\right)^2}$$

Richtung des Gradienten (senkrecht zur Kante) = Richtung der stärksten Steigung / des stärksten Gefälles

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\partial_y B(x, y)}{\partial_x B(x, y)}$$

5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)



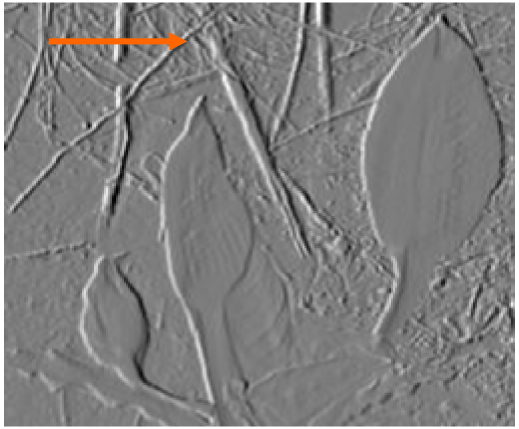
$$g_x = 0.5 \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g_y = 0.5 \cdot \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

[1]

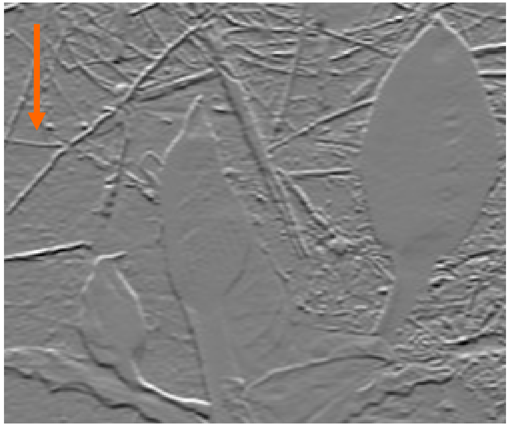
5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)

Differenzbildung in *x*-Richtung

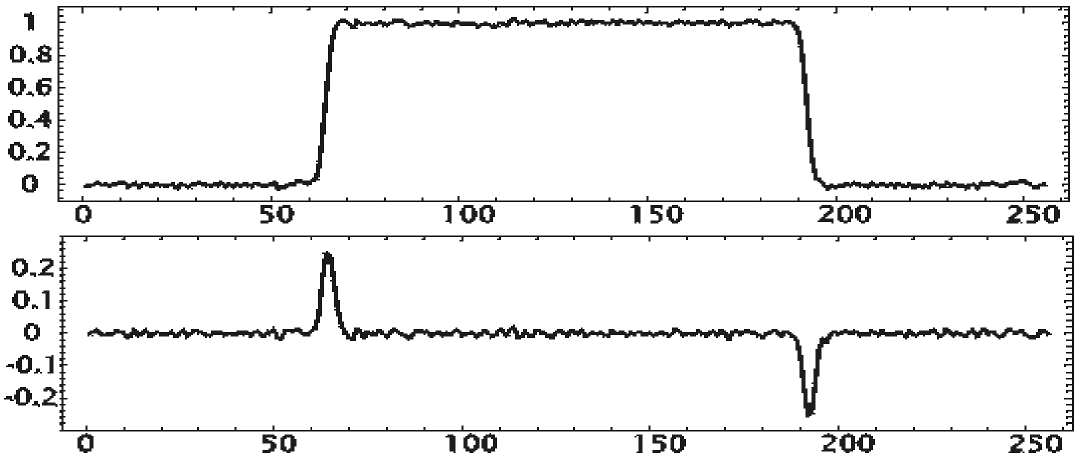


Pseudo-3D
Eindruck:

Differenzbildung in *y*-Richtung



5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)



Kanten und Rauschen haben ähnliche Charakteristika im Frequenzraum

➔ Kantendetektor verstärkt Rauschen

5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)

Prewitt-Operator: zur Rauschunterdrückung wird über jeweils 3 Zeilen bzw. Spalten gemittelt

$$H_x^P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad H_y^P = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Der Prewitt-Operator ist separabel:

$$H_x^P = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad H_x^P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)

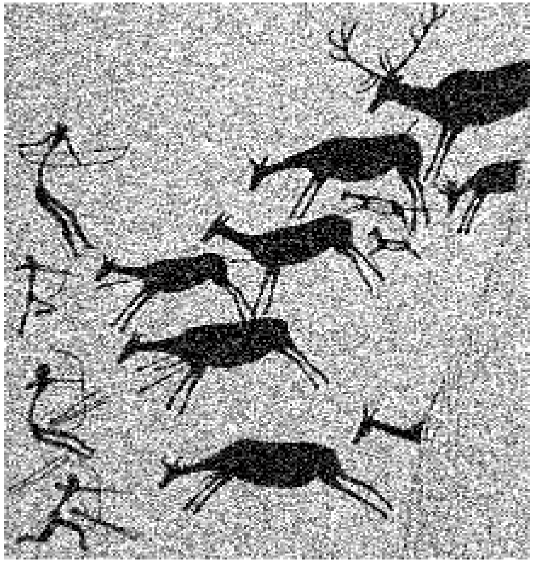
Sobel-Operator: zur Rauschunterdrückung wird über jeweils 3 Zeilen bzw. Spalten Binomialfilter verwendet

$$H_x^{\,S} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad H_y^{\,S} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

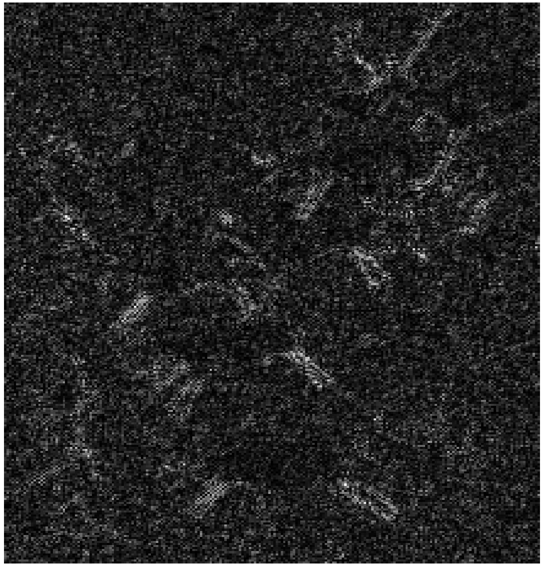
Der Sobel-Operator ist ebenfalls separabel:

$$H_x^{\,S} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad H_x^{\,S} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

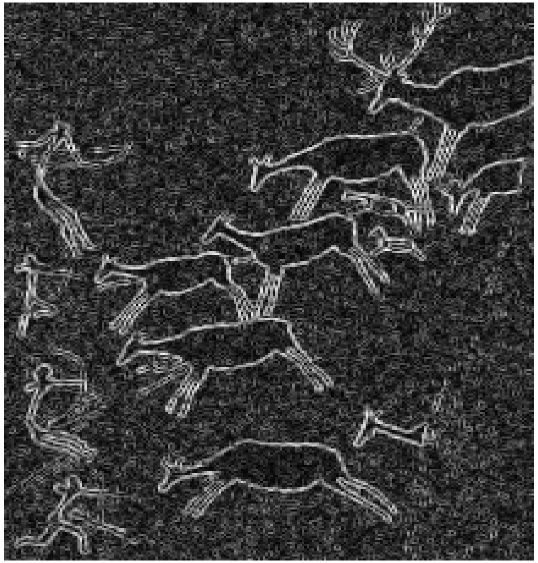
5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)



Original



Gradientenbetrag
einfache Differenz-
bildung



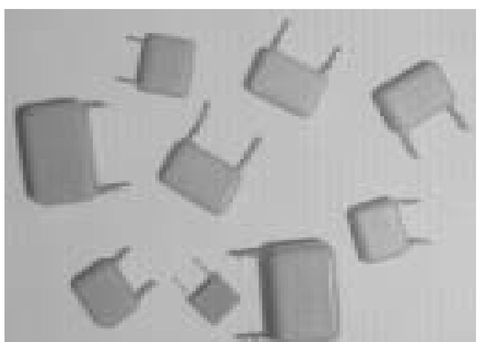
Gradientenbetrag
Sobel-Filterung

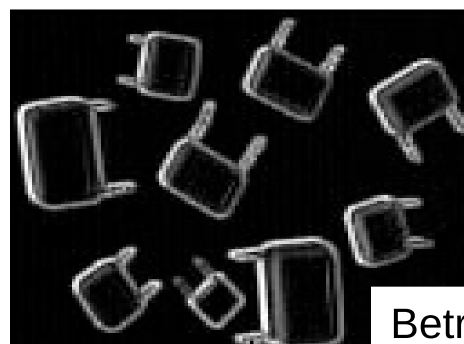
5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)

Kompass-Operator: bessere Richtungsselektivität

$$H_0^K = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_1^K = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad H_2^K = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad H_3^K = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_4^K = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad H_5^K = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix} \quad H_6^K = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad H_7^K = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$





Betragsmaximum

5.2 Kantenfilter (1. Ableitung)

Original

Vergleich von Kantenfiltern anhand folgender Kriterien:

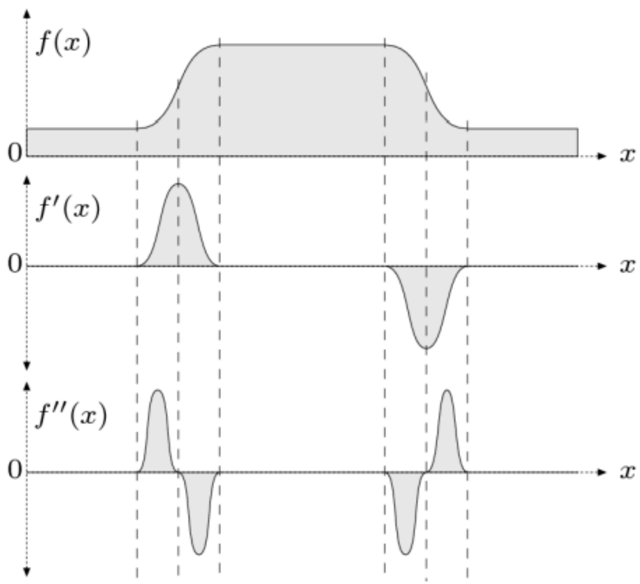
- Menge von ”irrelevanten” Kantenelementen
- Zusammenhang der dominanten Kanten
- Klare Lokalisierbarkeit der Kanten

Prewitt

Sobel

[1]

5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)



[2]

Mit erster Ableitung ist bei Kanten mit einem langsamen Helligkeitswechsel die genaue Lage nur schwer lokalisierbar.

Vorzeichenwechsel ist leichter zu erkennen, als ein Minimum oder Maximum.

➔ Gradient (Länge) als Kennzeichen für die Wichtigkeit einer Kante

➔ zweite Ableitung für den Ort der Kante (Nulldurchgang)

5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

Laplace-Operator:

- Summe der partiellen zweiten Ableitungen: $\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$
- Approximation durch Kombination einer doppelten Differenzbildung in x- und y-Richtung,
  - z.B. Faltung eines Differenzoperators [-1 1] mit sich selbst: [1 -2 1]

$$H_4^L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

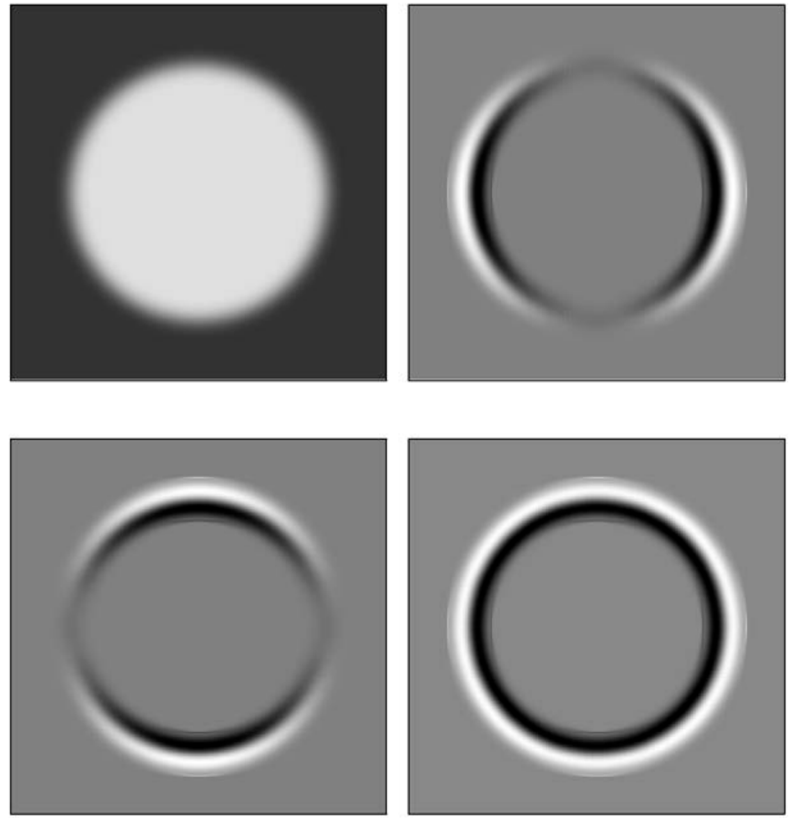
  - Summe **aller** partiellen Ableitungen:

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y \partial x} \qquad H_8^L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

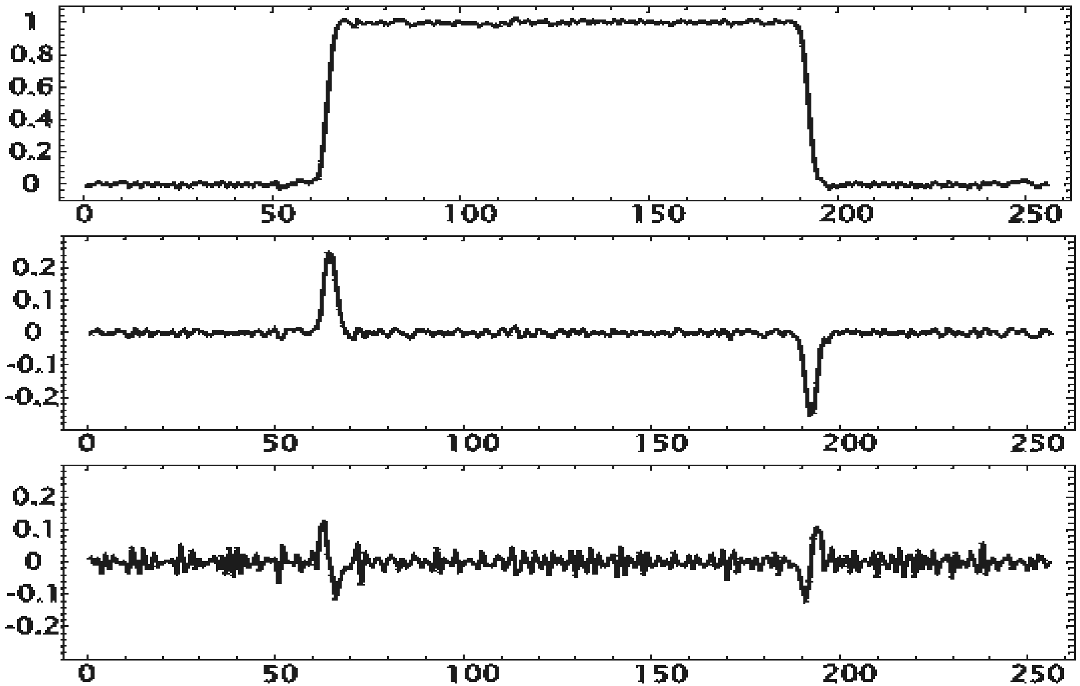
Laplace-Operator

Nulldurchgang markiert genaue Kantenposition



[1]

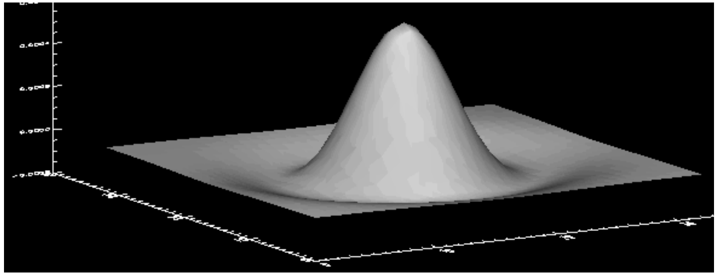
5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

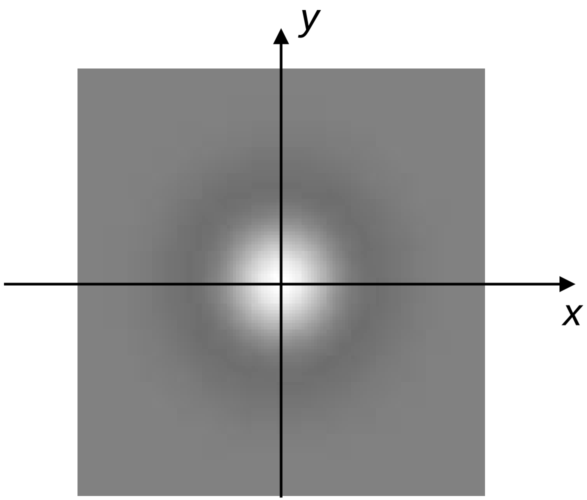


Verstärkung des Rauschens bei 2.Ableitung

5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

LoG-Filter (Laplacian-of-Gaussian, Mexican hat): Kombination von Faltung mit Laplace-Operator und Glättung mit einer Gaußfunktion

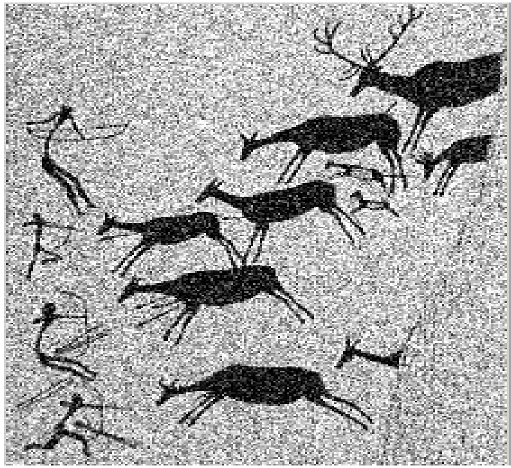




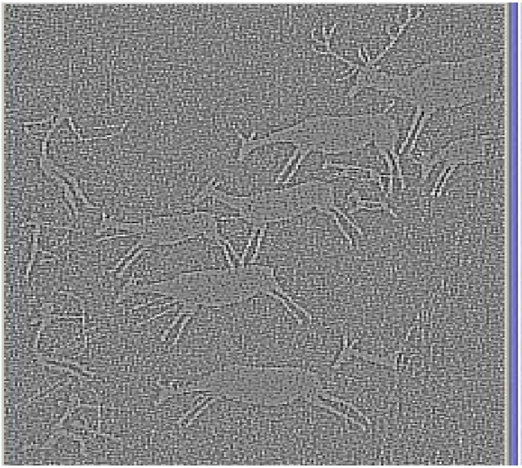
$$H^{LoG}(x,y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4}\left(1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$$

5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

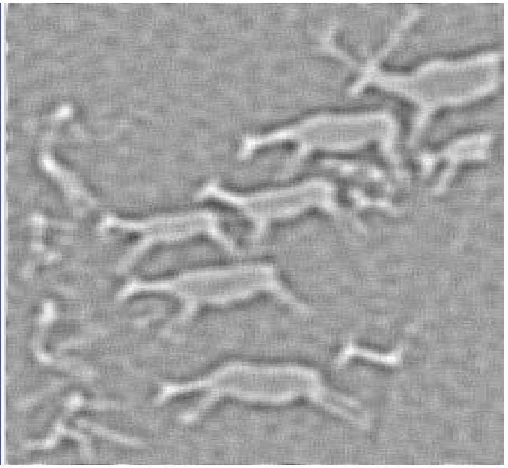
Original



Laplace 4



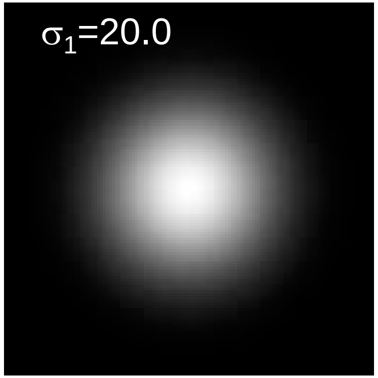
LoG

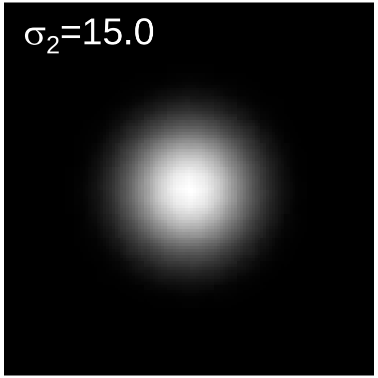


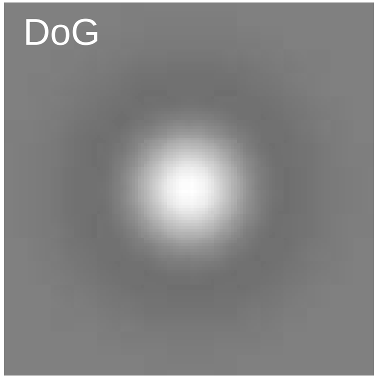
5.3 Kantenfilter (2. Ableitung)

DoG-Filter (Difference-of- Gaussians):

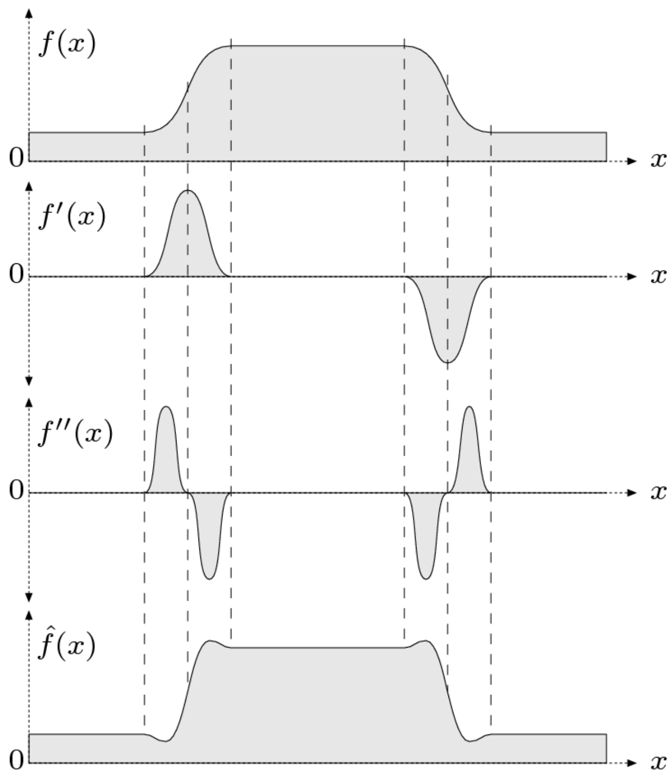
- Erzeugung der Filtermaske durch Subtraktion zweier Gaußfilter mit unterschiedlicher Varianz σ^2
- Vergleichbares Ergebnis wie LoG-Filter







5.4 Kantenschärfung mit Laplace-Filter



[1]

Grundidee:

Überhöhung der Kanten durch Subtraktion der 2. Ableitung lässt das Bild schärfer erscheinen.

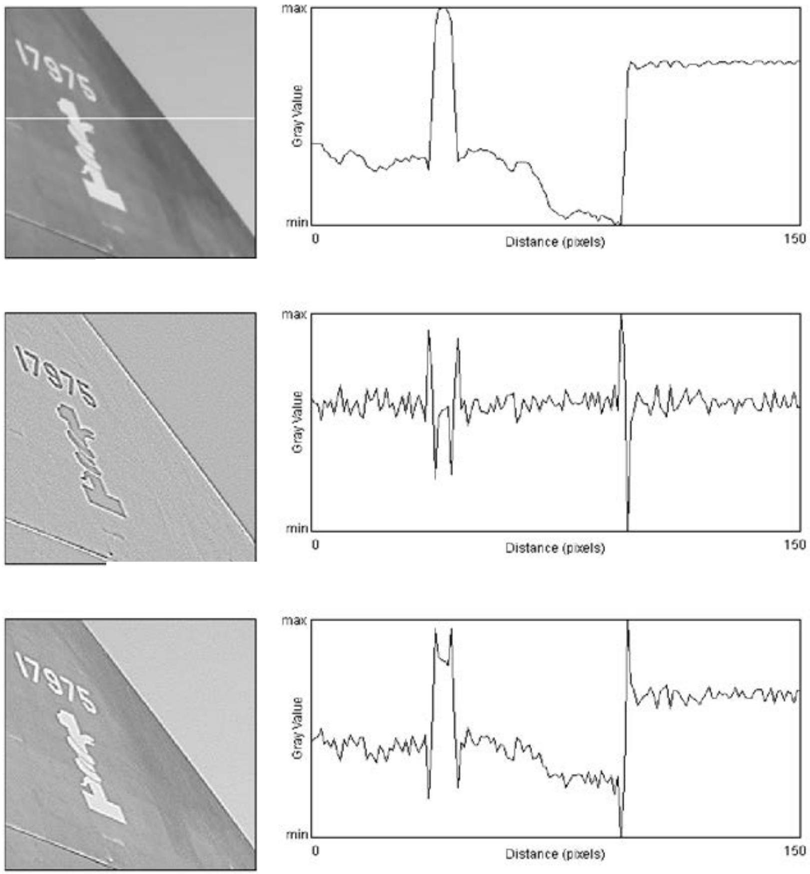
Vorgehensweise:

$$B' = B - wH^L * B$$

w bestimmt die Stärke der Schärfung

Achtung: Schärfung verstärkt auch das Bildrauschen - evtl. vorher Glätten

5.4 Kantenschärfung mit Laplace-Filter



[1]

5.5 Zusammenfassung

- Kantenhervorhebung kann im Ortsraum erfolgen
- Rauschen und Kanten sind beides hohe Frequenzen
- Erste (partielle) Ableitung: Roberts-, Prewitt- und Sobel-Operator
- Zweite (partielle) Ableitung: Laplace-Operator, LoG-Filter, DoG-Filter

Bildquellen

[1] W. Burger, M.J. Burge: Digitale Bildverarbeitung, Springer Verlag, 2005