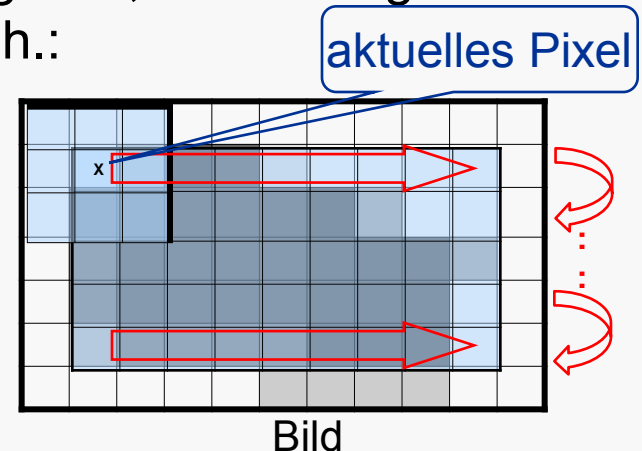


- Kennzeichen lokaler Operationen: Grauwert- / Farbänderung von Pixeln auf der Grundlage einer (mathematischen, logischen) Verknüpfung mit ihrer „Nachbarschaft“ (engl. *neighborhood*, auch: „Maske“ oder „Fenster“).
- Nachbarschaft: Die dem aktuellen Pixel anliegenden 8 Pixel in einer 3x3-Umgebung – manchmal: 15 (4x4), seltener: 24 (5x5)
- Verwendung von Masken (meist ungeradzahligere Seitenlänge), in deren Mittelpunkt das aktuelle Pixel liegt.
- Führung der Maske über das Ursprungsbild, Ermittlung des Ergebnisbildes pixel- und zeilenweise – d.h.:

- Gleichzeitige Haltung zweier Bilder im Arbeitsspeicher
- Ergebnisbild kleiner als Ursprungsbild  
⇒ Notwendigkeit der Initialisierung (bzw. der Annahme periodischer Wiederholung mit/ohne Spiegelung)



- Funktionen / Algorithmen heißen Operatoren o. (der / das) Filter

Typische Einsatzgebiete lokaler Operatoren:

- Eliminierung von unregelmäßigen, punktuellen Störungen (Rauschen, z.B. „Salt and pepper noise“) oder von Ausreißern (vgl.: TV-„Schnee“, „Fliege in der Milch“)
- Abschwächung v. Helligkeitssprüngen („Kanten-Glättung“)
- Erkennung / Hervorhebung von Helligkeitssprüngen (Kanten-Extraktion)

Definitionen und Erfahrungen stammen meist aus dem Bereich der Grauton- (Schwarzweiß-) Bilder; bekannt:

- Min- und Max-Operatoren: Sie ersetzen das aktuelle Pixel jeweils durch das Minimum bzw. das Maximum der in der Maske vorgefundenen Werte.
- Mittelwert-Operatoren ersetzen Pixel durch einen mittelhohen Wert ihrer Nachbarschaft (ermittelt durch Berechnung, Sortierung oder Kombination daraus).

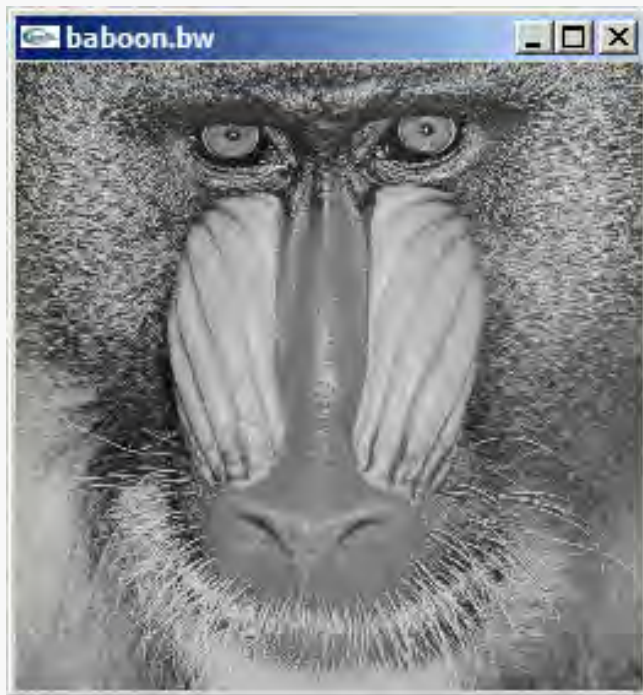
- Der **Median-Operator** sortiert die (Grau-/Farb-) Werte in der Nachbarschaft jedes Pixels im Ursprungsbild und weist den mittleren Wert (Median) dem korrespondierenden Pixel im Ergebnisbild zu:



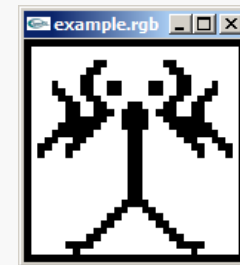
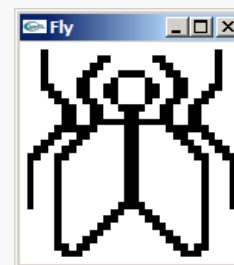
- „Unruhe“ wird durch Helligkeitswerte aus dem Original beseitigt.
- Kanten (Helligkeitssprünge  $\Rightarrow$  Bildschärfe) bleiben i.d.R. erhalten.

# Lokale Operationen

- Mit der Unruhe können aussagekräftige Strukturen im Bild verschwinden; Beispiel zweimaliger Median-Filterung:



- Ein-Pixel-Strukturen können mit dem Median-Filter beschädigt werden



- Anwendung des Median-Filters auf Farbbilder kann zu Farbänderungen führen.



- Grundsätzlich: schonende Filterungsmethode

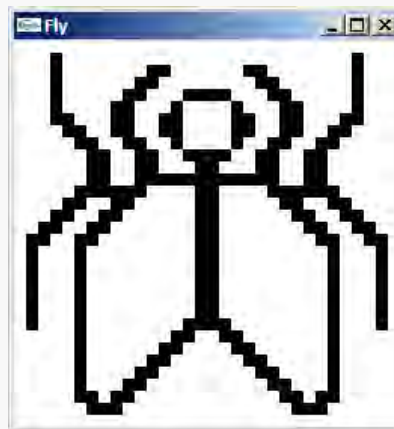
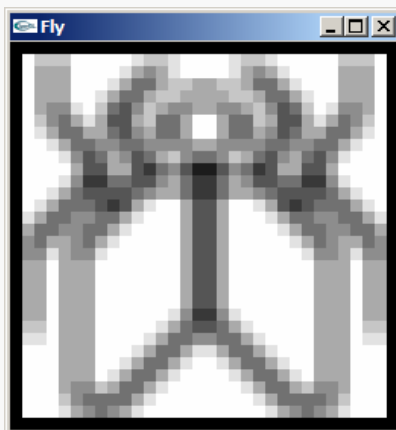
- **Glättungsoperatoren** bilden aus dem aktuellen Pixel und seiner Nachbarschaft einen gewichteten Mittelwert; hierbei Verwendung normierter Masken:  $\Sigma(\text{Gewichtungen})=1$   
Häufig verwendete Glättungsoperatoren:

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

Gewichtungsfaktoren  
der Nachbarschaft

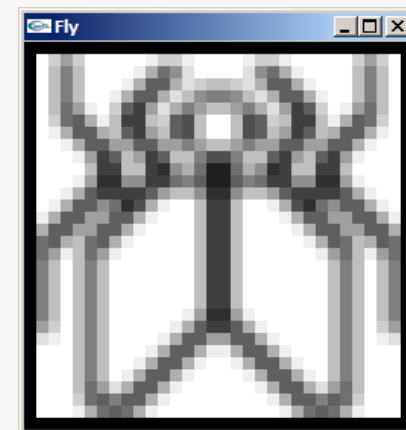
1/16	2/16	1/16
2/16	4/16	2/16
1/16	2/16	1/16

Mittelwertoperator

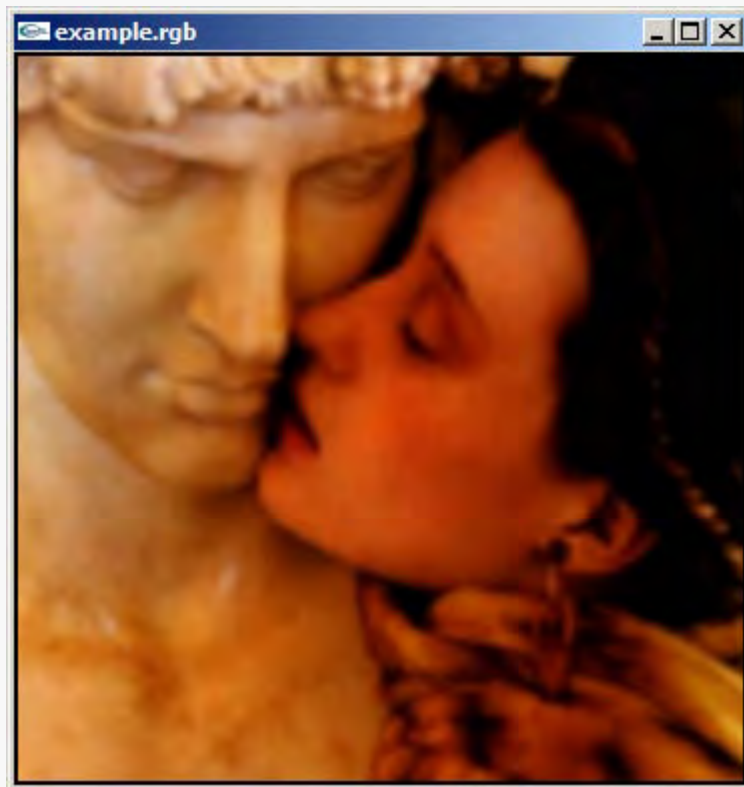


(Bild: 32 x 32 Pixel)

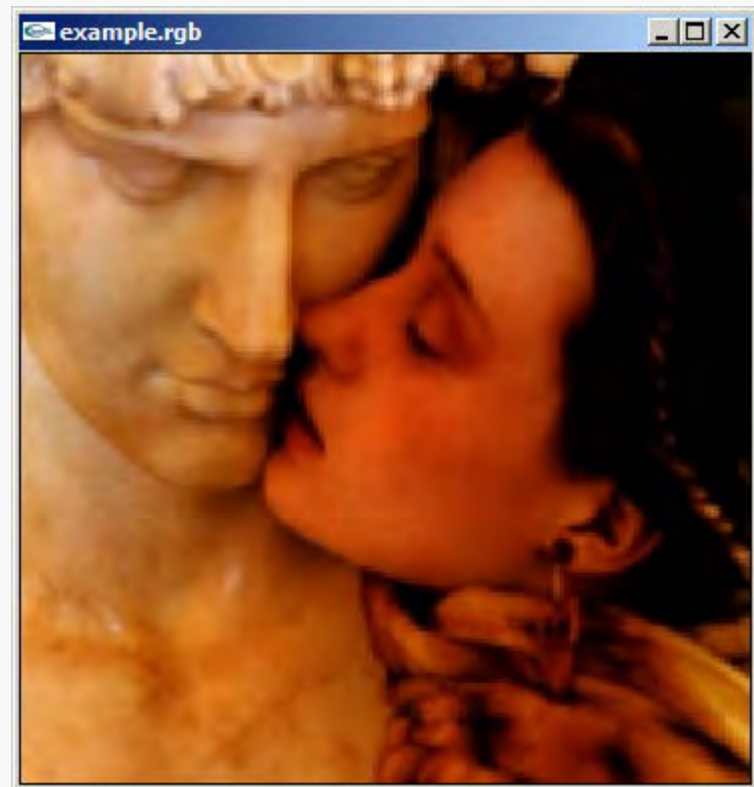
Gaußscher Tiefpaß



- Mittelwertbildung erzeugt Helligkeiten, die im Original nicht vorkommen; größere Masken machen Motive unscharf.



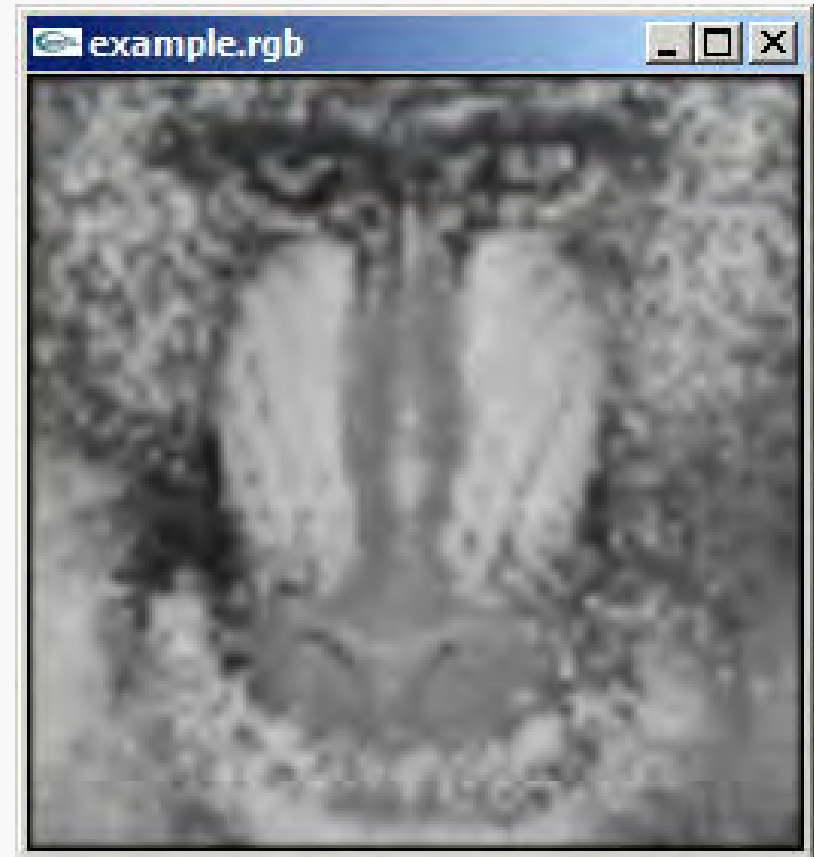
Mittelwertoperator (5x5)



Gaußscher Tiefpaß (3x3)

# Lokale Operationen

Unschärfe wird auch zur Erhöhung der Erkennbarkeit bei Aliasing und „Verpixelung“ eingesetzt:



Rückvergrößerte Bildverkleinerung nach 4maligem 3x3-Mittelwertoperator



# Lokale Operationen

Einsatz negativer Gewichtungen betont Grauwert-Differenzen (detektiert Kanten)

– z.B. der Laplace-Operator:

$\Sigma=0$

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

Verwendung für Qualitätskontrolle, für Bewegungsdetektion o. Objekterkennung, auch in anderen Versionen, z.B.:

$\Sigma=\pm 1$

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

1	1	1
1	-8	1
1	1	1



# Lokale Operationen

Der **Sobel-Operator** verwendet nacheinander zwei Masken („Filter-Kerne“, engl. *kernel*), die durch Transposition auseinander hervorgehen:

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

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

– ähnlich: der **Prewitt-Operator**:

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

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



Irwin Sobel: US-Forscher bei Hewlett Packard

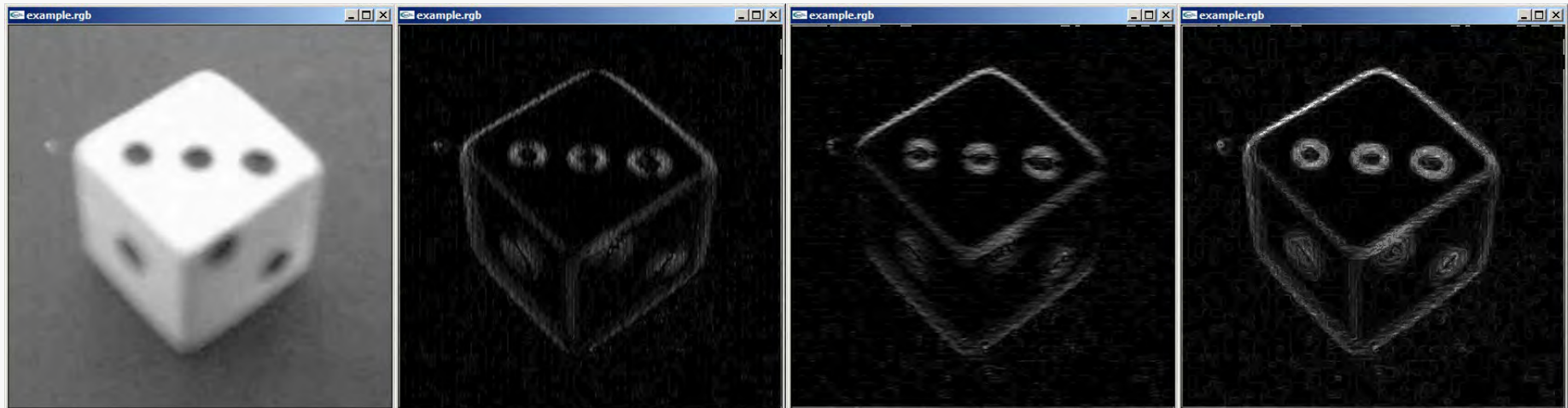
Judith M. S. Prewitt: Australische Forscherin (Med.)

Operatoren mit zwei Kernen nutzen die **Separierbarkeit** (engl. *separability*) vieler Verfahren der Bildverarbeitung:

Nacheinander in x- und y-Richtung ausgeführte Operationen führen zum selben Verarbeitungsergebnis, wie wenn sie parallel in beiden Richtungen erfolgt wären

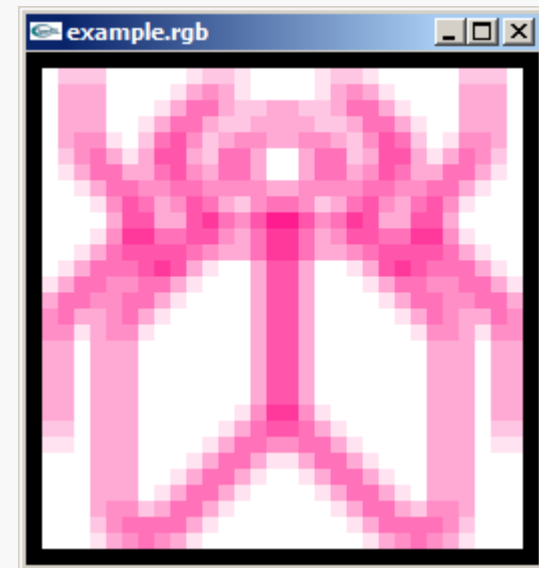
(leichtere Berechnung und Codierung).

**Beispiel:** Sobel-Operator in x-, y- und beiden Richtungen



- Bestrebung aller Verfahren zur Kantendetektion: möglichst
  - fehlerfreie Ermittlung
  - genaue Positionierung
  - schmale (ein-Pixel-breite) Markierungvon Helligkeitssprüngen (Kanten) im Bild
- Rechenintensiv, aber effektiv: der „**Canny edge detector**“ (J.F.Canny, 1986) mit den Hauptschritten:
  - Leichte Glättung des Bildes (Gauß-Operator)
  - Differentiation ( $\approx$  Sobel-Kantenextraktion) getrennt nach Kernen zur Bestimmung der Kanten-Orientierung
  - Skelettierung (engl. *thinning*) durch Nicht-Maximum-Unterdrückung entlang des Kantenverlaufs
  - Schwellenwert-Intervalle zur Kanten-Markierung

- Implementierung einer Reihe von Punktoperationen und lokalen Operationen (Übungsblatt)



## Implementierungshinweise:

- Die Darstellung mit Farb- und Grauwerten  $\in \mathbb{N}_0$  legt es nahe, bei Differenzbildungen (z.B. Laplace) den Absolutwert des Ergebnisses zu verwenden.
- Bei Filterungsverfahren mit zwei Kernen werden beide Kerne auf das Originalbild angewandt (und nicht etwa der zweite auf das Filterungsergebnis des ersten).

Die zwei Teilergebnisse werden zum Filterungsergebnis verknüpft – empfohlen: Maximum-Bildung; auch denkbar: VerODERung oder Addition, begrenzt auf 1 Byte (255).

- Bei unsymmetrisch besetzten Masken ist ggf. auf die Richtung der Bildspeicherung zu achten (aufrecht oder kopfunter).

Umgang mit Helligkeitswerten in Bildern (Pixeln) bislang:

- Zuerst bedeutungslose „Kennungen“ zur Farbdarstellung (vgl.: Art.-Nr., Tel.-Nr., IP-Nr. – Lookup Table)
- Später: Zahlen im Sinnzusammenhang (Median: „Ausreißer“, TV-„Schnee“, vgl.: tel. Durchwahl)
- Nunmehr: Werte von Verläufen in sinnhaftem Kontext (Mittelwertbildung, Differenzbildung)  $\Rightarrow$  Bild als Funktion?

**Beispiel:** Lineare Funktion:  $G_i = a \cdot x_i + b$  ( $a, b$  konstant)

Differenzenbildung (vgl. Sobel) ergibt :

$$\begin{aligned}\Delta G &= G_2 - G_1 = a \cdot x_2 + b - (a \cdot x_1 + b) \\ &= a \cdot (x_2 - x_1)\end{aligned}$$

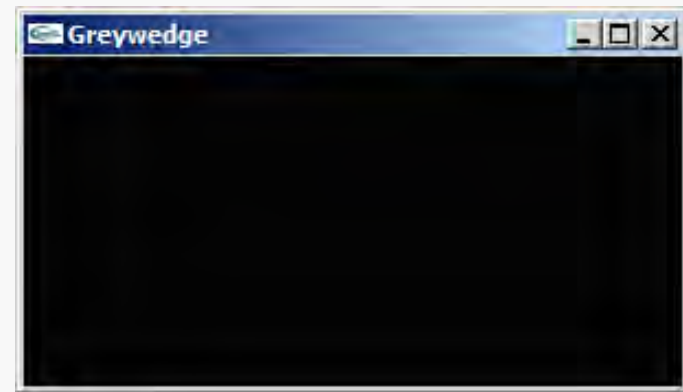
Mit  $(x_2 - x_1) = \Delta x$  ( $\Delta x$  konstant: Maskengröße!) ergibt sich für einen linearen Grauwertverlauf:  $\Delta G / \Delta x = a$  (= konstant)

# Lokale Operationen

Beispiel: Lineare Funktion (Forts.)

Anwendung von Sobel auf den linearen Graukeil:

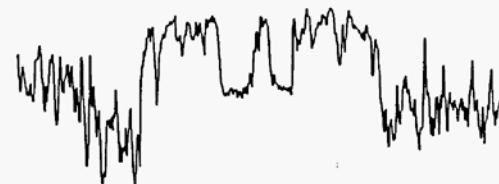
Grauwert konstant:  
 $4 = 2 \cdot (G_{i+1} - G_{i-1})$



Sobel

(1. Ableitung)

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



Suche nach math. Entsprechungen