

## 4.5 Lokale Operatoren/Sobel-Operator

January 18, 2019

$$base = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

### Grauwertspeizung

(Quelle: <http://home.in.tum.de/~perzylo/Proseminar/Punktoperatoren.pdf> S.12)

$$g_{neu} = \begin{cases} 0 & falls\ g < g_1 \\ G - 1 & falls\ g > g_2 \\ \frac{g - g_1}{g_2 - g_1} * (G - 1) & sonst \end{cases}$$

### 1) Mittelwertfilter

$$\begin{pmatrix} 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 \cdot 0.11 & 5 \cdot 0.11 & 2 \cdot 0.11 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 0 \cdot 0.11 & 1 \cdot 0.11 & 3 \cdot 0.11 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 \cdot 0.11 & 2 \cdot 0.11 & 6 \cdot 0.11 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 1 \cdot 0.11 & 3 \cdot 0.11 & 6 \cdot 0.11 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{3} & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

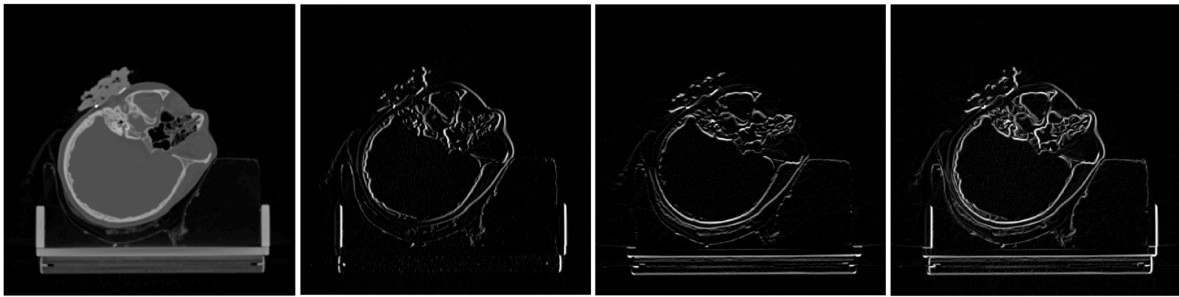
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 \cdot 0.11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 2 \cdot 0.11 & 6 \cdot 0.11 & 2 \cdot 0.11 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 3 \cdot 0.11 & 6 \cdot 0.11 & 7 \cdot 0.11 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & \mathbf{3} & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

$$base\_averaged = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 3 & 4 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 7 & 7 & 8 & 8 & 8 & 6 & 3 \\ 4 & 9 & 16 & 17 & 17 & 16 & 16 & 14 & 8 & 3 \\ 5 & 12 & 23 & 30 & 37 & 39 & 35 & 24 & 12 & 5 \\ 6 & 15 & 27 & 36 & 50 & 56 & 50 & 31 & 12 & 4 \\ 7 & 18 & 32 & 48 & 67 & 75 & 61 & 35 & 13 & 5 \\ 7 & 16 & 28 & 42 & 58 & 60 & 48 & 25 & 9 & 3 \\ 6 & 14 & 27 & 40 & 52 & 48 & 34 & 15 & 6 & 4 \\ 3 & 6 & 11 & 17 & 25 & 21 & 15 & 5 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 5 & 8 & 12 & 12 & 9 & 4 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

Nach Grauwertspreizung:

$$base\_averaged\_spread = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 6 & 8 & 5 & 4 & 2 & 4 & 3 & 0 \\ 2 & 10 & 14 & 18 & 19 & 22 & 23 & 23 & 15 & 5 \\ 8 & 26 & 51 & 55 & 54 & 50 & 52 & 44 & 23 & 7 \\ 12 & 37 & 75 & 98 & 124 & 129 & 116 & 77 & 36 & 13 \\ 17 & 46 & 88 & 119 & 167 & 188 & 169 & 102 & 39 & 10 \\ 21 & 58 & 104 & 160 & 227 & 254 & 207 & 115 & 41 & 13 \\ 18 & 49 & 94 & 140 & 194 & 201 & 160 & 81 & 28 & 7 \\ 16 & 46 & 88 & 132 & 175 & 160 & 111 & 47 & 18 & 8 \\ 6 & 16 & 34 & 54 & 81 & 68 & 47 & 14 & 9 & 4 \\ 3 & 11 & 15 & 24 & 36 & 37 & 27 & 10 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

## 2) Sobel-Operatoren



### Sobel-Operator in x-Richtung

Erkennt abfallende Kanten von links nach rechts (wie im zweiten Bild von links):

$$s_x = \begin{pmatrix} 0.25 & 0.0 & -0.25 \\ 0.5 & 0.0 & -0.5 \\ 0.25 & 0.0 & -0.25 \end{pmatrix}$$

Erkennt abfallende Kanten von rechts nach links (nicht im Bild zu sehen):

$$s_{x2} = \begin{pmatrix} -0.25 & 0.0 & 0.25 \\ -0.5 & 0.0 & 0.5 \\ -0.25 & 0.0 & 0.25 \end{pmatrix}$$

Im Folgenden Beispiel wird nur  $S_x$  verwendet.  $S_{x2}$  würde man allerdings exakt genauso verwenden, man dreht also beim Anwenden des Operators **nicht** die Richtung um.



$$\begin{aligned}
x &= \begin{pmatrix} -2 & -2 & -1 & 1 & 1 & 2 & 0 & -2 & 1 & 3 \\ -3 & -4 & -3 & -1 & 0 & 0 & -2 & 1 & 6 & 6 \\ -8 & -12 & -12 & 2 & 4 & -10 & 0 & 13 & 12 & 8 \\ -14 & -22 & -27 & -4 & 1 & -12 & 20 & 30 & 15 & 10 \\ -14 & -22 & -26 & -23 & -33 & -12 & 49 & 49 & 20 & 11 \\ -16 & -24 & -24 & -29 & -50 & -12 & 63 & 62 & 23 & 9 \\ -16 & -27 & -36 & -28 & -28 & 7 & 62 & 48 & 13 & 8 \\ -11 & -16 & -31 & -26 & -16 & 24 & 50 & 18 & 3 & 6 \\ -6 & -7 & -12 & -14 & -19 & 16 & 32 & 5 & 2 & 4 \\ -3 & -4 & -2 & -3 & -9 & 4 & 11 & 3 & 1 & 3 \end{pmatrix} \\
x_{spread} &= \begin{pmatrix} 109 & 109 & 111 & 114 & 116 & 118 & 112 & 109 & 116 & 120 \\ 106 & 103 & 107 & 110 & 113 & 113 & 109 & 115 & 125 & 127 \\ 95 & 85 & 86 & 118 & 123 & 92 & 114 & 142 & 140 & 131 \\ 82 & 64 & 52 & 105 & 116 & 87 & 159 & 180 & 147 & 135 \\ 80 & 64 & 54 & 61 & 40 & 87 & 223 & 222 & 157 & 137 \\ 78 & 59 & 59 & 48 & 0 & 85 & 254 & 251 & 164 & 133 \\ 76 & 52 & 33 & 49 & 50 & 129 & 252 & 219 & 142 & 130 \\ 89 & 78 & 44 & 54 & 78 & 165 & 224 & 153 & 120 & 125 \\ 99 & 97 & 87 & 80 & 70 & 148 & 184 & 124 & 117 & 122 \\ 106 & 105 & 109 & 106 & 92 & 121 & 138 & 119 & 115 & 119 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

## Sobel-Operator in y-Richtung

Auch hier kann der Operator Kanten in zwei Richtungen erkennen. Diese Variante erkennt abfallende Kanten von oben nach unten (drittes Bild von links):

$$s_y = \begin{pmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ -0.25 & -0.5 & -0.25 \end{pmatrix}$$

Tauscht man die erste und letzte Zeile, erkennt er abfallende Kanten von unten nach oben (nicht im Bild zu sehen):

$$s_{y2} = \begin{pmatrix} -0.25 & -0.5 & -0.25 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 \end{pmatrix}$$

Im Folgenden Beispiel wird nur  $S_y$  verwendet.  $S_{y2}$  würde man allerdings exakt genauso verwenden, man dreht also beim Anwenden des Operators **nicht** die Richtung um.

$$\begin{pmatrix} 0 \cdot 0.25 & 0 \cdot 0.50 & 0 \cdot 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 \cdot 0.00 & 5 \cdot 0.00 & 2 \cdot 0.00 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 \cdot -0.25 & 1 \cdot -0.50 & 3 \cdot -0.25 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 2 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \cdot 0.25 & 0 \cdot 0.50 & 0 \cdot 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 \cdot 0.00 & 2 \cdot 0.00 & 6 \cdot 0.00 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 1 \cdot -0.25 & 3 \cdot -0.50 & 6 \cdot -0.25 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & -3 & 6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \cdot 0.25 & 0 \cdot 0.50 & 0 \cdot 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 2 \cdot 0.00 & 6 \cdot 0.00 & 2 \cdot 0.00 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 3 \cdot -0.25 & 6 \cdot -0.50 & 7 \cdot -0.25 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 & 0 \\ 0 & 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 & 0 \\ 0 & 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & -3 & -6 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 6 & 7 & 9 & 2 & 4 & 4 & 7 & 1 \\ 1 & 5 & 8 & 8 & 10 & 17 & 21 & 19 & 9 & 4 \\ 4 & 18 & 34 & 56 & 17 & 25 & 38 & 17 & 7 & 2 \\ 1 & 14 & 22 & 43 & 68 & 91 & 62 & 23 & 16 & 7 \\ 6 & 12 & 21 & 21 & 39 & 87 & 76 & 34 & 4 & 2 \\ 9 & 24 & 54 & 73 & 88 & 95 & 69 & 16 & 12 & 5 \\ 3 & 5 & 6 & 40 & 34 & 42 & 6 & 4 & 2 & 5 \\ 4 & 9 & 16 & 14 & 32 & 51 & 13 & 6 & 6 & 2 \\ 4 & 2 & 5 & 3 & 3 & 3 & 5 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

$$y = \begin{pmatrix} -1 & -3 & -6 & -7 & -7 & -4 & -4 & -5 & -5 & -2 \\ 1 & -1 & -3 & -5 & -9 & -14 & -18 & -15 & -8 & -3 \\ -5 & -15 & -30 & -34 & -22 & -22 & -26 & -15 & -4 & 0 \\ -2 & -8 & -18 & -36 & -56 & -62 & -40 & -14 & -5 & -3 \\ 0 & 6 & 17 & 15 & -18 & -46 & -39 & -17 & -3 & 1 \\ -6 & -15 & -26 & -28 & -18 & -9 & -3 & 3 & 4 & 2 \\ 3 & 8 & 4 & -4 & 9 & 41 & 54 & 33 & 8 & -1 \\ 6 & 18 & 38 & 53 & 54 & 50 & 42 & 20 & 6 & 3 \\ 0 & 2 & 10 & 26 & 34 & 28 & 10 & 0 & 0 & 1 \\ 4 & 10 & 14 & 19 & 32 & 37 & 21 & 8 & 5 & 2 \end{pmatrix}$$

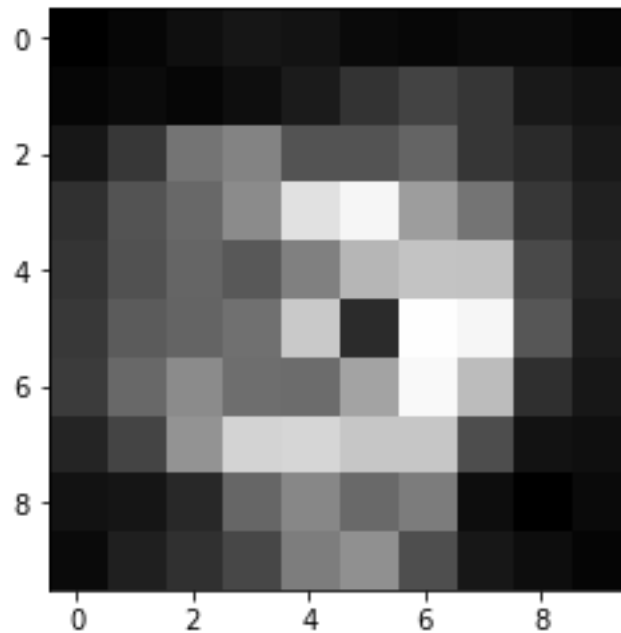
$$y_{spread} = \begin{pmatrix} 133 & 129 & 124 & 120 & 121 & 126 & 128 & 125 & 125 & 131 \\ 139 & 134 & 129 & 124 & 117 & 104 & 96 & 103 & 118 & 129 \\ 124 & 102 & 70 & 62 & 87 & 87 & 79 & 103 & 128 & 135 \\ 131 & 118 & 96 & 58 & 12 & 0 & 48 & 105 & 124 & 129 \\ 137 & 148 & 173 & 169 & 97 & 35 & 51 & 98 & 130 & 137 \\ 122 & 103 & 79 & 74 & 95 & 117 & 130 & 142 & 145 & 140 \\ 143 & 153 & 146 & 126 & 156 & 227 & 254 & 208 & 153 & 134 \\ 150 & 176 & 218 & 252 & 254 & 246 & 227 & 181 & 150 & 142 \\ 136 & 139 & 159 & 194 & 212 & 196 & 159 & 137 & 136 & 137 \\ 145 & 157 & 166 & 178 & 207 & 217 & 181 & 153 & 147 & 141 \end{pmatrix}$$

### 3) Berechnung der Kanten (Sobel-Operator-Max)

Um diese Matrix zu bekommen, müssen die Matrizen  $x$  und  $y$  (**nicht**  $x_{spread}$  und  $y_{spread}$ ) herangezogen werden. Dazu geht man beide Matrizen Elementweise durch und übernimmt jeweils das Maximum für die Matrix  $g$ .

$$g = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 6 & 7 & 7 & 4 & 4 & 5 & 5 & 3 \\ 3 & 4 & 3 & 5 & 9 & 14 & 18 & 15 & 8 & 6 \\ 8 & 15 & 30 & 34 & 22 & 22 & 26 & 15 & 12 & 8 \\ 14 & 22 & 27 & 36 & 56 & 62 & 40 & 30 & 15 & 10 \\ 14 & 22 & 26 & 23 & 33 & 46 & 49 & 49 & 20 & 11 \\ 16 & 24 & 26 & 29 & 50 & 12 & 63 & 62 & 23 & 9 \\ 16 & 27 & 36 & 28 & 28 & 41 & 62 & 48 & 13 & 8 \\ 11 & 18 & 38 & 53 & 54 & 50 & 50 & 20 & 6 & 6 \\ 6 & 7 & 12 & 26 & 34 & 28 & 32 & 5 & 2 & 4 \\ 4 & 10 & 14 & 19 & 32 & 37 & 21 & 8 & 5 & 3 \end{pmatrix}$$

$$g_{spread} = \begin{pmatrix} 0 & 6 & 15 & 23 & 21 & 10 & 7 & 12 & 12 & 6 \\ 6 & 11 & 6 & 14 & 29 & 52 & 67 & 55 & 26 & 20 \\ 25 & 56 & 117 & 131 & 84 & 84 & 100 & 55 & 42 & 26 \\ 50 & 84 & 104 & 139 & 225 & 248 & 158 & 117 & 56 & 33 \\ 53 & 83 & 101 & 89 & 128 & 183 & 196 & 194 & 74 & 37 \\ 57 & 92 & 100 & 113 & 201 & 43 & 254 & 248 & 87 & 30 \\ 60 & 104 & 139 & 110 & 108 & 163 & 250 & 189 & 47 & 24 \\ 37 & 68 & 148 & 212 & 215 & 199 & 199 & 77 & 19 & 15 \\ 19 & 22 & 40 & 102 & 135 & 106 & 125 & 13 & 0 & 10 \\ 10 & 32 & 50 & 71 & 126 & 145 & 78 & 25 & 13 & 5 \end{pmatrix}$$





#### 4) Darstellungen der einzelnen Schritte

