Aufgabe 1 Numerische Differentiation

Punkte **20**

Gegeben ist folgende Gleichung:

$$f(x) = \frac{2}{5} \cdot x - \frac{3}{5}x^2$$

a) Bestimmen Sie die erste Ableitung der Funktion analytisch. [5 Pkt.]

b) Bestimmen Sie die Vorwärts-Differenzen-Quotienten erster Ordnung im Intervall $I = [-4 : 4]$ im äquidistanten Abstand $h = 1$ (Die Rechnungen sind auf drei Nachkommastellen durchzuführen). [5 Pkt.]

c) Bestimmen Sie die Fehlergröße der Differenzen-Quotienten zur analytischen Lösung mit $\epsilon = \dot{f}(x) - D_{f+,x_i}$. [5 Pkt.]

d) Bestimmen Sie die symmetrischen Differenzen-Quotienten zweiter Ordnung im Intervall $I = [-4 : 4]$ im äquidistanten Abstand $h = 1$. [5 Pkt.]

Tragen Sie Ihre Ergebnisse in die gegebene Tabelle ein.

x	$f(x)$	D_{f+,x_i}	$\dot{f}(x)$	ϵ	D^2_{f,x_i}
-4					
-3					
-2					
-1					
0					
1					
2					
3					
4					

Lösung:

a) Bestimmen Sie die erste Ableitung der Funktion analytisch. [5 Pkt.]

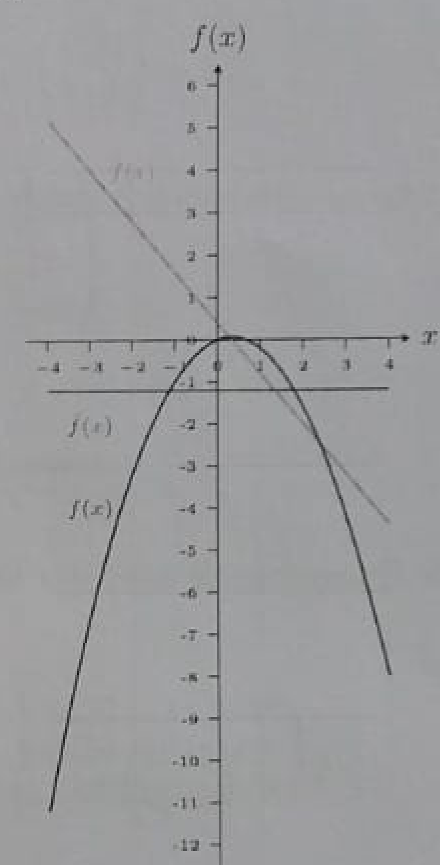
$$f(x) = \frac{2}{5} \cdot x - \frac{3}{5}x^2$$

Die erste Ableitung berechnet sich zu:

$$\dot{f}(x) = \frac{2}{5} - \frac{6}{5}x$$

Die zweite Ableitung berechnet sich zu:

$$\ddot{f}(x) = -\frac{6}{5} = 1,2$$



b) Bestimmen Sie die Vorwärts-Differenzen-Quotienten erster Ordnung im Intervall $I = [-4 : 4]$ im äquidistanten Abstand $h = 1$ (Die Rechnungen sind auf drei Nachkommastellen durchzuführen). [5 Pkt.]

c) Bestimmen Sie die Fehlergröße der Differenzen-Quotinenten zur analytischen Lösung. [5 Pkt.]

d) Bestimmen Sie die symmetrischen Differenzen-Quotienten zweiter Ordnung im Intervall $I = [-4 : 4]$ im äquidistanten Abstand $h = 1$. [5 Pkt.]

x	$f(x)$	D_{f+,x_i}	$\dot{f}(x)$	ϵ	D^2_{f,x_i}
-4	-11,200	4,600	5,200	0,600	
-3	-6,600	3,400	4,000	0,600	-1,200
-2	-3,200	2,200	2,800	0,600	-1,200
-1	-1,000	1,000	1,600	0,600	-1,200
0	0,000	-0,200	0,400	0,600	-1,200
1	-0,200	-1,400	-0,800	0,600	-1,200
2	-1,600	-2,600	-2,000	0,600	-1,200
3	-4,200	-3,800	-3,200	0,600	-1,200
4	-8,000		-4,400		

Aufgabe 2 2D-Faltung

Gegeben sind folgende Matrizen:

$$\underline{S} = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 9 \end{pmatrix}; \quad \underline{G}_1 = \begin{pmatrix} 2 & -2 \\ -2 & 2 \end{pmatrix}; \quad \underline{G}_2 = \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ 2 & -2 \end{pmatrix}$$

a) Führen Sie folgende Rechnungen durch:

$$\underline{Y}_1 = \underline{S} * \underline{G}_1 \quad [2.5\ \text{Pkt.}]$$
$$\underline{Y}_2 = \underline{S} * \underline{G}_2 \quad [2.5\ \text{Pkt.}]$$
$$\underline{Y} = \sqrt{\underline{Y}_1^2 + \underline{Y}_2^2} \quad [5\ \text{Pkt.}]$$

Hinweis: Die Quadratur als auch das Radizieren sind elementweise durchzuführen! Tragen Sie ihre Ergebnisse unten ein.

$$\underline{Y}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 2 & -2 \\ -2 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}; \quad \underline{Y}_1^2 = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ 2 & -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}; \quad \underline{Y}_2^2 = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix};$$

$$\underline{Y}^2 = \underline{Y}_1^2 + \underline{Y}_2^2 = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}^{0,5} = \begin{pmatrix} \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots\dots \end{pmatrix}$$

Lösung:

$$\underline{Y}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 2 & -2 \\ -2 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 6 & -8 \\ 6 & 4 & -10 \\ -8 & -10 & 18 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y}_1^2 = \begin{pmatrix} 4 & 36 & 64 \\ 36 & 16 & 100 \\ 64 & 100 & 324 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ 2 & -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & -6 & 8 \\ -6 & -4 & 10 \\ 8 & 10 & -18 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y}_2^2 = \begin{pmatrix} 4 & 36 & 64 \\ 36 & 16 & 100 \\ 64 & 100 & 324 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y}^2 = \underline{Y}_1^2 + \underline{Y}_2^2 = \begin{pmatrix} 8 & 72 & 128 \\ 72 & 32 & 200 \\ 128 & 200 & 648 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Y} = \begin{pmatrix} 8 & 72 & 128 \\ 72 & 32 & 200 \\ 128 & 200 & 648 \end{pmatrix}^{0,5} = \begin{pmatrix} 2,8284 & 8,4853 & 11.3137 \\ 78,4853 & 5,6569 & 14,1421 \\ 11,3137 & 14,1421 & 25,4558 \end{pmatrix}$$

b) Entwickeln Sie eine Topologie zur technischen Umsetzung der 2D-Faltung auf einem FPGA. Die Berechnung des Ergebnisvektors muss parallel erfolgen. Ihre Lösung darf keine Rekursion enthalten! Nutzen Sie zur Herleitung folgenden Ansatz:

$$\begin{pmatrix} x[0,0] & x[0,1] \\ x[1,0] & x[1,1] \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} g[-1,-1] & g[-1,0] & g[-1,1] & g[-1,2] \\ g[0,-1] & g[0,0] & g[0,1] & g[0,2] \\ g[1,-1] & g[1,0] & g[1,1] & g[1,2] \\ g[2,-1] & g[2,0] & g[2,1] & g[2,2] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y[0,0] & y[0,1] & y[0,2] \\ y[1,0] & y[1,1] & y[1,2] \\ y[2,0] & y[2,1] & y[2,2] \end{pmatrix}$$

Begründen Sie ihre Lösung formal (Gleichungssystem angeben)! [10 Pkt.]

Lösung:

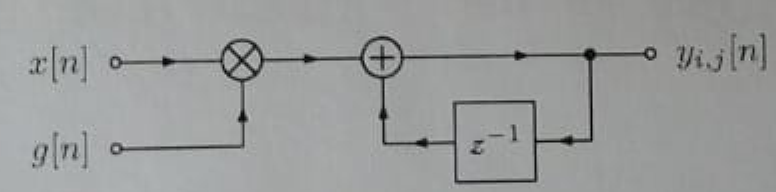
Die strukturelle Anordnung einer technischen Lösung findet bei der Betrachtung der Gleichungssysteme für die Berechnung der einzelnen Matrixkomponenten.

$$
\begin{aligned}
y[0,0] &= x[0,0]\cdot g[0,0] + x[0,1]\cdot g[0,-1] + x[1,0]\cdot g[-1,0] + x[1,1]\cdot g[-1,-1]\\
y[0,1] &= x[0,0]\cdot g[0,1] + x[0,1]\cdot g[0,0] + x[1,0]\cdot g[-1,1] + x[1,1]\cdot g[-1,0]\\
y[0,2] &= x[0,0]\cdot g[0,2] + x[0,1]\cdot g[0,1] + x[1,0]\cdot g[-1,2] + x[1,1]\cdot g[-1,1]\\
y[1,0] &= x[0,0]\cdot g[1,0] + x[0,1]\cdot g[1,-1] + x[1,0]\cdot g[0,0] + x[1,1]\cdot g[0,-1]\\
y[1,1] &= x[0,0]\cdot g[1,1] + x[0,1]\cdot g[1,0] + x[1,0]\cdot g[0,1] + x[1,1]\cdot g[0,0]\\
y[1,2] &= x[0,0]\cdot g[1,2] + x[0,1]\cdot g[1,1] + x[1,0]\cdot g[0,2] + x[1,1]\cdot g[0,1]\\
y[2,0] &= x[0,0]\cdot g[2,0] + x[0,1]\cdot g[2,-1] + x[1,0]\cdot g[1,0] + x[1,1]\cdot g[1,-1]\\
y[2,1] &= x[0,0]\cdot g[2,1] + x[0,1]\cdot g[2,0] + x[1,0]\cdot g[1,1] + x[1,1]\cdot g[1,0]\\
y[2,2] &= x[0,0]\cdot g[2,2] + x[0,1]\cdot g[2,1] + x[1,0]\cdot g[1,2] + x[1,1]\cdot g[1,1]
\end{aligned}
$$

Als zeitlich diskrete Formulierung berechnet sich beispielhaft $y[0,0]$ zu:

$$y_{0,0}[n] = x_{0,0}[n]\cdot g_{0,0}[n] + x_{0,1}[n-1]\cdot g_{0,-1}[n-1] + x_{1,0}[n-2]\cdot g_{-1,0}[n-2] + x_{1,1}[n-3]\cdot g_{-1,-1}[n-3]$$

Eine rekursive Form zur Realisierung einer Postion der Ergebnismatrize ist wie folgt anzugeben:

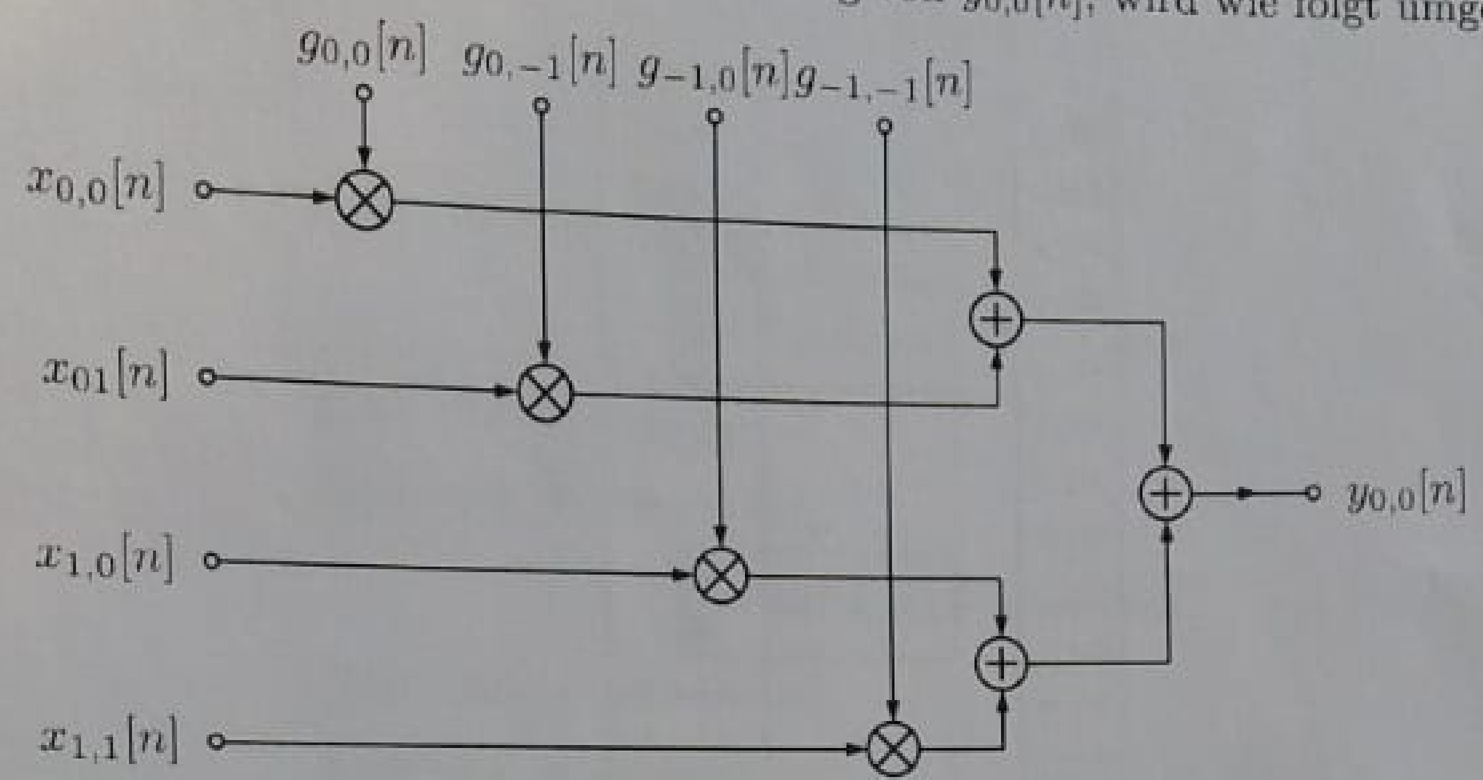


Als zeitdiskrete Signalfolge gilt:

$$
\begin{aligned}
\underline{X}[n] &= \begin{bmatrix} x_{0,0} & x_{0,1} & x_{1,0} & x_{1,1} \end{bmatrix}\\
\underline{G}[n] &= \begin{bmatrix} g_{0,0} & g_{0,-1} & g_{-1,0} & g_{-1,-1} \end{bmatrix}]
\end{aligned}
$$

Das Ergebnis für $y_{0,0}[n]$ ist nach vier Taktzyklen berechnet.

Eine parallele Realisierung, beispielhaft zur Berechnung von $y_{0,0}[n]$, wird wie folgt umgesetzt:



Der Eingangsspaltenvektor $\underline{X}[n]$ als auch die Multiplikatoren $\underline{G}_{i,j}[n]$ liege zeitgleich an der kombinatorischen Recheneinheit an.

$$\underline{X}[n] = \begin{bmatrix} x_{0,0} \\ x_{0,1} \\ x_{1,0} \\ x_{1,1} \end{bmatrix}$$

$$\underline{G}[n] = \begin{bmatrix} g_{0,0} \\ g_{0,-1} \\ g_{-1,0} \\ g_{-1,-1} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y}[n] = y_{0,0}[n]$$

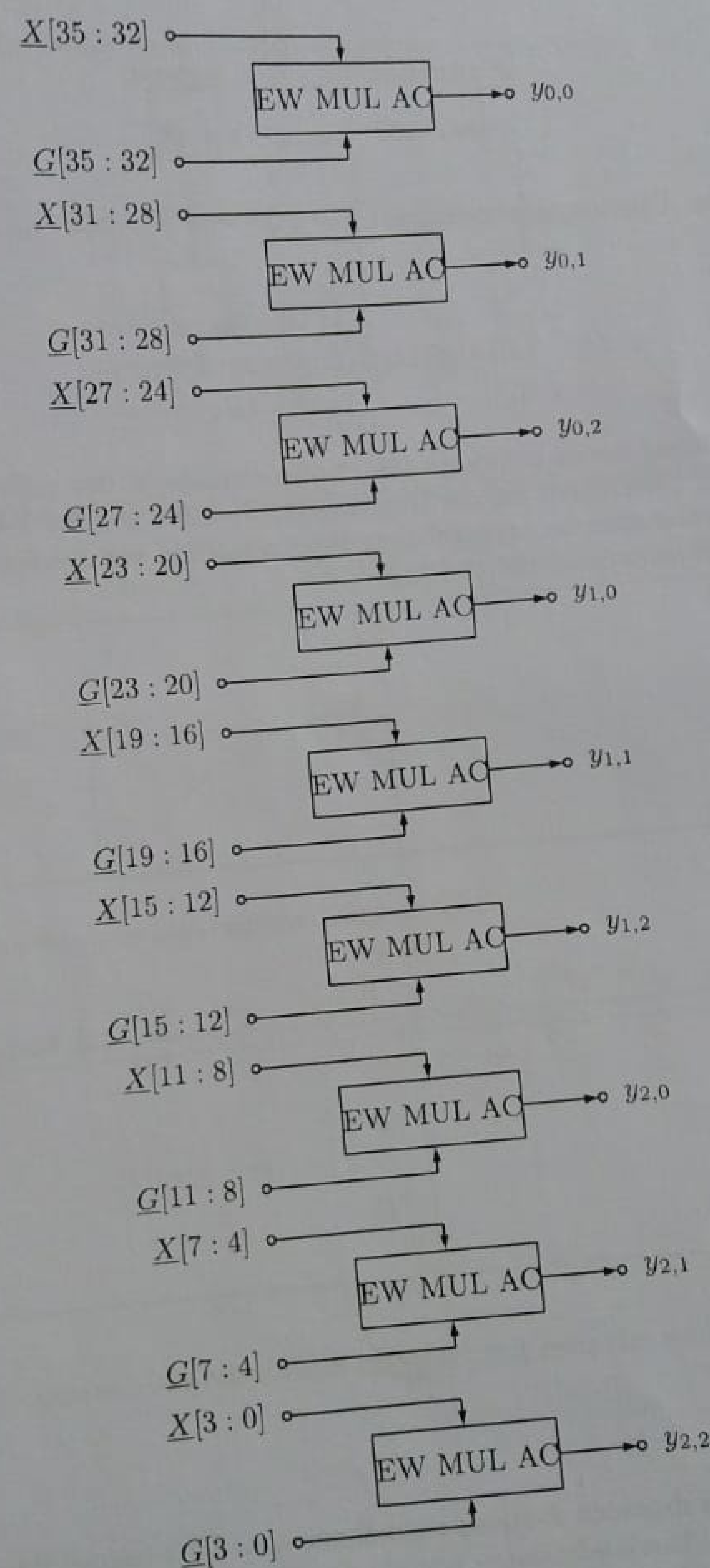
Nutzen der parallelen Struktur würde bedeuten, dass zur Berechnung der Elemente der 3×3-Ergebnismatrize 2 mal 9 Spaltenvektoren nacheinander berechnet werden.

$$\underline{X}[n] = \begin{bmatrix} x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} & x_{0,0} \\ x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} & x_{0,1} \\ x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} & x_{1,0} \\ x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} & x_{1,1} \end{bmatrix}$$

$$\underline{G}[n] = \begin{bmatrix} g_{0,0} & g_{0,1} & g_{0,2} & g_{1,0} & g_{1,1} & g_{1,2} & g_{2,0} & g_{2,1} & g_{2,2} \\ g_{0,-1} & g_{0,0} & g_{0,1} & g_{1,-1} & g_{1,0} & g_{1,1} & g_{2,-1} & g_{2,0} & g_{2,1} \\ g_{-1,0} & g_{-1,1} & g_{-1,2} & g_{0,0} & g_{0,1} & g_{0,2} & g_{1,0} & g_{1,1} & g_{1,2} \\ g_{-1,-1} & g_{-1,0} & g_{-1,1} & g_{0,-1} & g_{0,0} & g_{0,1} & g_{1,-1} & g_{1,0} & g_{1,1} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y}[n] = \begin{bmatrix} y_{0,0} & y_{0,1} & y_{0,2} & y_{1,0} & y_{1,1} & y_{1,2} & y_{2,0} & y_{2,1} & y_{2,2} \end{bmatrix}$$

$$\underline{X}[n] = \begin{bmatrix} x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1}\\ x_{0,0}\\ x_{0,1}\\ x_{1,0}\\ x_{1,1} \end{bmatrix} \;;\quad \underline{G}[n] = \begin{bmatrix} g_{0,0}\\ g_{0,-1}\\ g_{-1,0}\\ g_{-1,-1}\\ g_{0,1}\\ g_{0,0}\\ g_{-1,1}\\ g_{-1,0}\\ g_{0,2}\\ g_{0,1}\\ g_{-1,2}\\ g_{-1,1}\\ g_{1,0}\\ g_{1,-1}\\ g_{0,0}\\ g_{0,-1}\\ g_{1,1}\\ g_{1,0}\\ g_{0,1}\\ g_{0,0}\\ g_{1,2}\\ g_{1,1}\\ g_{0,2}\\ g_{0,1}\\ g_{2,0}\\ g_{2,-1}\\ g_{1,0}\\ g_{1,-1}\\ g_{2,1}\\ g_{2,0}\\ g_{1,1}\\ g_{1,0}\\ g_{2,2}\\ g_{2,1}\\ g_{1,2}\\ g_{1,1} \end{bmatrix} \;;\quad \underline{Y}[n] = \begin{bmatrix} y_{0,0}\\ y_{0,1}\\ y_{0,2}\\ y_{1,0}\\ y_{1,1}\\ y_{1,2}\\ y_{2,0}\\ y_{2,1}\\ y_{2,2} \end{bmatrix}$$


X[35 : 32]
EW MUL AC
y0,0
G[35 : 32]
X[31 : 28]
EW MUL AC
y0,1
G[31 : 28]
X[27 : 24]
EW MUL AC
y0,2
G[27 : 24]
X[23 : 20]
EW MUL AC
y1,0
G[23 : 20]
X[19 : 16]
EW MUL AC
y1,1
G[19 : 16]
X[15 : 12]
EW MUL AC
y1,2
G[15 : 12]
X[11 : 8]
EW MUL AC
y2,0
G[11 : 8]
X[7 : 4]
EW MUL AC
y2,1
G[7 : 4]
X[3 : 0]
EW MUL AC
y2,2
G[3 : 0]

Punkte
20

Aufgabe 3 Modellbildung eines diskreten Systems höherer Ordnung

a) Berechnen sie die Übertragungsfunktion $G(z)$ für die folgenden Pol- und Nullstellen [5 Pkt.]:

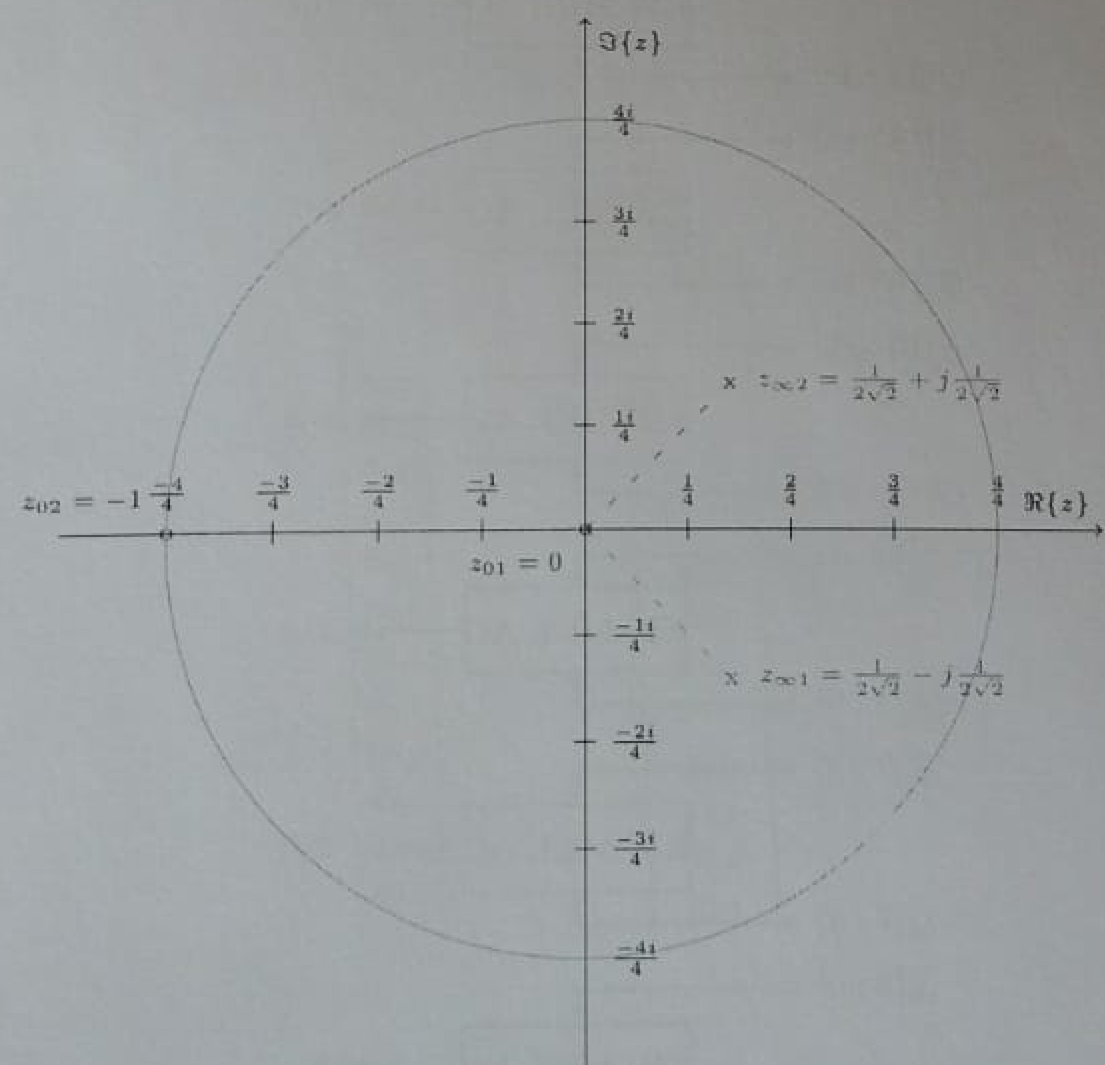
$$\text{Nullstellen:} \quad z_{01} = c, \; z_{02} = d;$$

$$\text{Polstellen:} \quad z_{\infty 1/2} = a \pm \jmath b;$$

Hinweis: Produktform der Übertragungsfunktion:

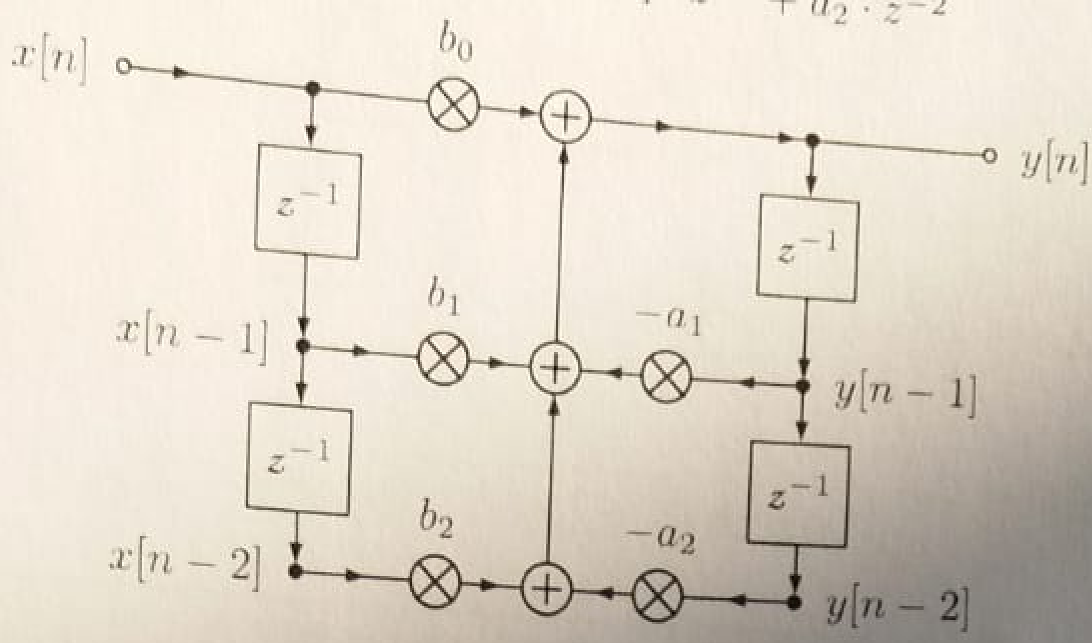
$$G(z) = G_0 \cdot \frac{\prod_{k=1}^{M} (1 - z_{0k} \cdot z^{-1})}{\prod_{k=1}^{N} (1 - z_{\infty k} \cdot z^{-1})}$$

b) Geben ist die in der Abbildung unten definierte Pol-/Nullstellenlage in der z-Ebene. Für den statischen Fall sei $G(z \to 1) = 3$ definiert. Überführen Sie die Übertragungsfunktion aus der z-Ebene in den diskreten Zeitbereich. Geben Sie die Koeffizienten im vorgegebenen Blockschaltbild zur Realisierung an. Begrenzen Sie die Zahlendarstellung auf 5 Nachkommastellen. [10 Pkt.]



c) Zur Zahlendarstellung innerhalb des digitalen Systems steht Ihnen eine Q2.2 (signed fixpoint) Fixpunktdarstellung zur Verfügung. Passen Sie die Filterkoeffizienten gemäß der Forschrift $N_2 = \lfloor N_{10} \rfloor$ an. Berechnen Sie mit Hilfe der rekursiven Funktion im Zeitbereich die Impulsantwort des Systems mit $x[0] = 5/4$ und $y[0] = 0$. Welcher Fehler pro Zeitschritt entsteht zwischen analytischer Lösung und auf das Q2.2 Fixpunktformat begrenzten Impulsantwort? Nutzen Sie dazu die gegebenen Tabellen. [5 Pkt.]

Hinweis: $G(z) = \dfrac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}$



- analytische Berechnung der rekursiven Impulsantwort (auf 5 Nachkommastellen)

n	$x[n]$	$x[n-1]$	$x[n-2]$	$y[n-2]$	$y[n-1]$	$y[n]$
0		0	0	0	0	
1	0					
2	0					
3	0					
4	0					

- Berechnung der rekursiven Impulsantwort im Format Q2.2

n	$x[n]$	$x[n-1]$	$x[n-2]$	$y[n-2]$	$y[n-1]$	$y[n]$
0		0	0	0	0	
1	0					
2	0					
3	0					
4	0					

Hinweis: Achten Sie darauf, dass alle Zahlen entsprechend gerundet sind!

Lösung:

a)

$$z_{01} = c,\ z_{02} = d$$

$$z_{\infty 1/2} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \pm \jmath \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = a \pm \jmath b$$

$$G(z) = G_0 \cdot \frac{(1 - c \cdot z^{-1}) \cdot (1 - d \cdot z^{-1})}{[1 - (a + \jmath b) \cdot z^{-1}] \cdot [1 - (a - \jmath b) \cdot z^{-1}]}$$

$$= G_0 \cdot \frac{(1 - c \cdot z^{-1}) \cdot (1 - d \cdot z^{-1})}{(1 - a \cdot z^{-1} - \jmath b \cdot z^{-1}) \cdot (1 - a \cdot z^{-1} + \jmath b \cdot z^{-1})} \cdot \frac{z}{z}$$

$$= G_0 \cdot \frac{(z - c) \cdot (z - d)}{(z - a - \jmath b) \cdot (z - a + \jmath b])}$$

$$= G_0 \cdot \frac{z^2 - c \cdot z - d \cdot z + cd}{z^2 - a \cdot z + \jmath b \cdot z - a \cdot z + a^2 - \jmath ab - \jmath b \cdot z + \jmath ab + b^2}$$

$$= G_0 \cdot \frac{z^2 - (c + d) \cdot z + cd}{z^2 - 2a \cdot z + a^2 + b^2}$$

b)

$$z_{01} = 0,\ z_{02} = -1$$

$$z_{\infty 1/2} = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\right) \pm \jmath \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\right) \quad \Rightarrow a = b = \frac{1}{2\sqrt{2}}$$

$$G(z) = G_0 \cdot \frac{(z - 0) \cdot (z + 1)}{z^2 - 2a \cdot z + 2a^2}$$

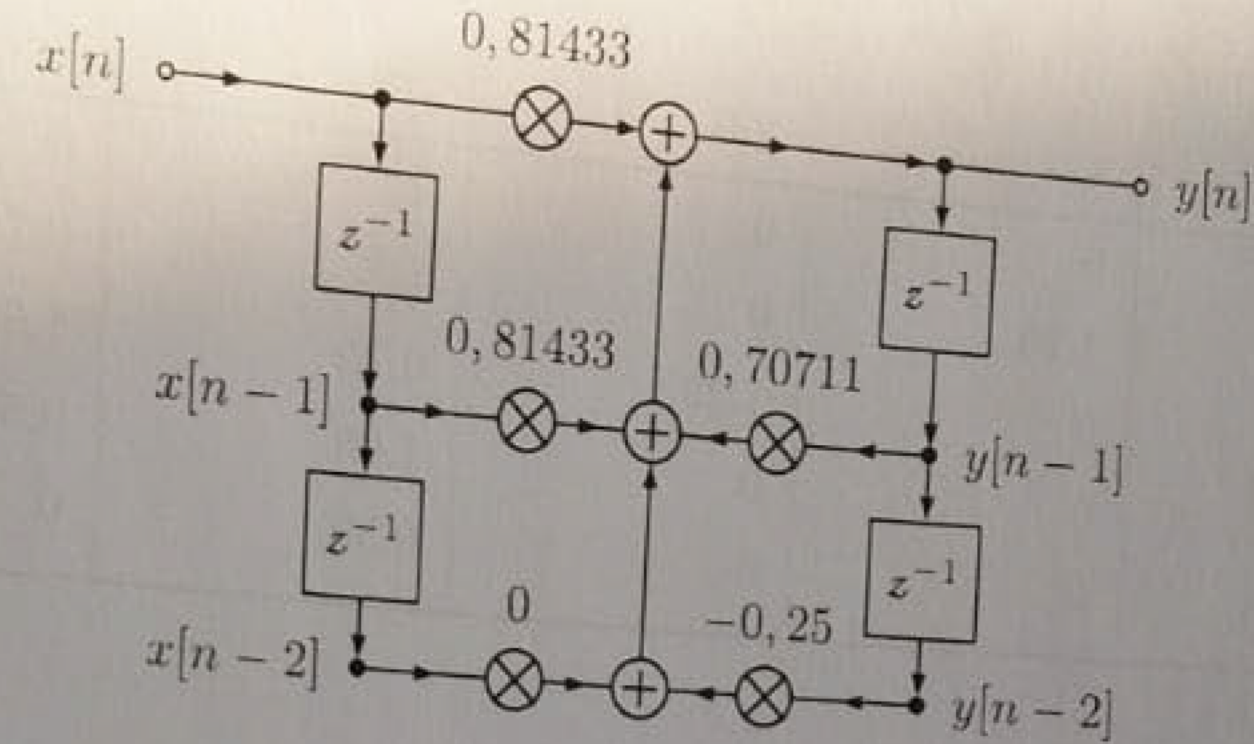
$$= G_0 \cdot \frac{z^2 + z}{z^2 - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot z + \frac{1}{4}}$$

$$\lim_{z \to 1} \left[G_0 \cdot \frac{(z^2 + z)}{z^2 - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot z + \frac{1}{4}} \right] = 3$$

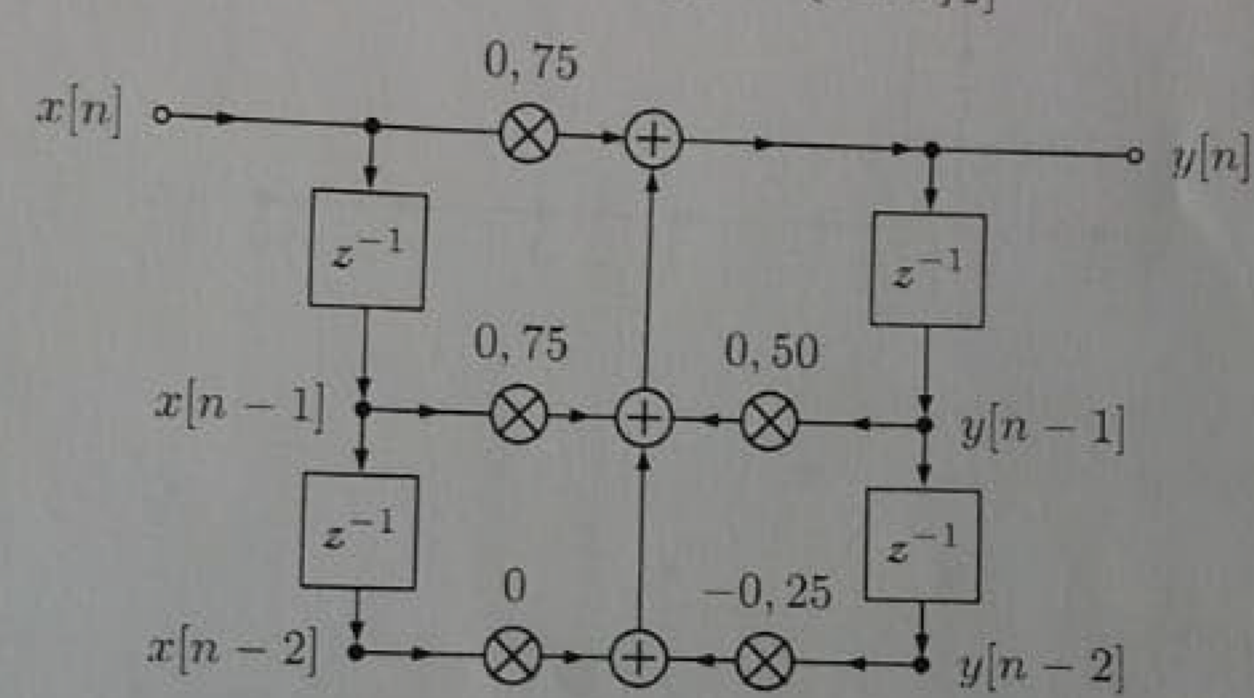
$$G_0 \cdot \frac{2}{1 - \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4}} = 3$$

$$\hookrightarrow G_0 = 0,81433$$

$$\hookrightarrow G(z) = 0,81433 \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot z^{-1} + \frac{1}{4} \cdot z^{-2}}$$



c) Q2.2: Zahlenraum $N_b = [\{-2\}_10 = \{10.00\}_2 \dots \{1.75\}_10 = \{01.11\}_2]$



$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 0,75 \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - 0.70 \cdot z^{-1} + 0,25 \cdot z^{-2}}$$

$$\hookrightarrow\ Y(z) \cdot (z^{-2} - 0,5 \cdot z^{-1} + 0,25) = 0,75 \cdot X(z) \cdot (1 + z^{-1})$$

$$Y(z) \cdot z^{-2} - Y(z) \cdot 0,50 \cdot z^{-1} + Y(z) \cdot 0,25 = 0,75 \cdot X(z) + 0,75 \cdot X(z) \cdot z^{-1}$$

$$Y(z) = 0,75 \cdot X(z) + 0,75 \cdot X(z) \cdot z^{-1} + 0,50 \cdot Y(z) \cdot z^{-1} - 0,25 \cdot Y(z) \cdot z^{-2}$$

$$\mathcal{Z}^{-1}\{Y(z)\} \hookrightarrow\ y[n] = 0,75 + 0,75 \cdot x[n-1] + 0,50 \cdot y[n-1] - 0,25 \cdot y[n-2]$$

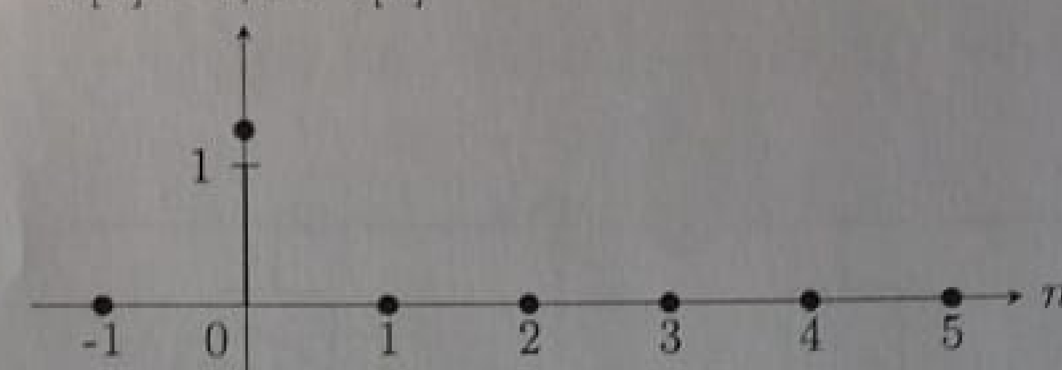
– analytische Berechnung der rekursiven Impulsantwort

n	$x[n]$	$x[n-1]$	$x[n-2]$	$y[n-2]$	$y[n-1]$	$y[n]$
0	5/4	0	0	0	0	1,01791
1	0	5/4	0	0	1,01791	1,73768
2	0	0	5/4	1,01791	1,73768	0,97425
3	0	0	0	1,73768	0,97425	0,25448
4	0	0	0	0,97425	0,25448	-0,06361

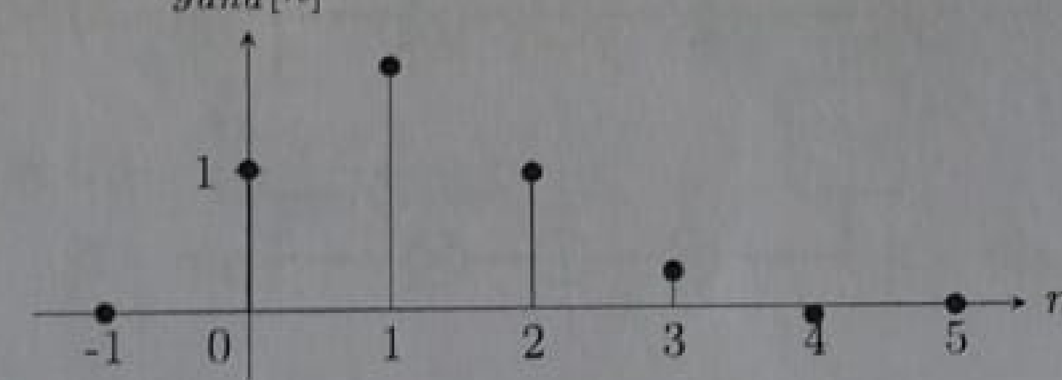
– Berechnung der rekursiven Impulsantwort im Format Q2.2

n	$x[n]$	$x[n-1]$	$x[n-2]$	$y[n-2]$	$y[n-1]$	$y[n]$
0	1,25	0	0	0	0	0,75
1	0	1,25	0		0,75	1,00
2	0	0	1,25	0,75	1,00	0,50
3	0	0	0	1,00	0,50	0
4	0	0	0	0,50	0	0

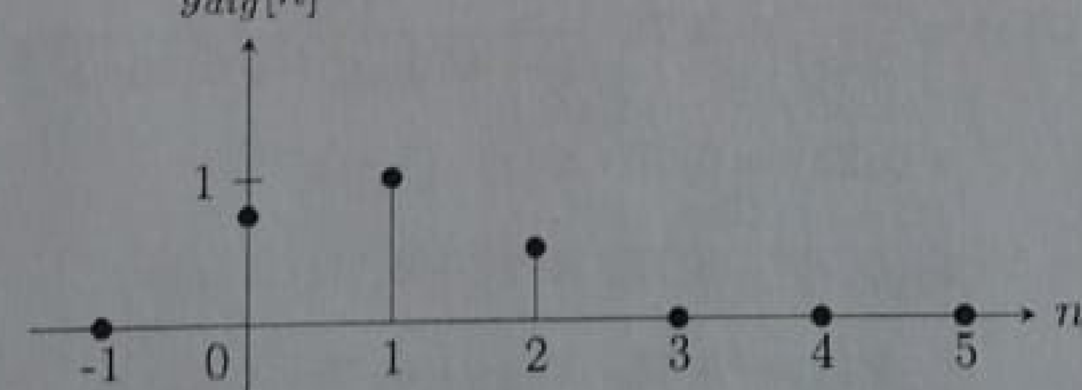
$x[n] = 1,25 \cdot \delta[n]$



$y_{ana}[n]$



$y_{dig}[n]$



$\epsilon[n] = y_{ana}[n] - y_{dig}[n]$