$\boxed{Ü\,2}$

1. Nach Gl. (2-32) $\Delta p = \varrho \cdot a_c \cdot \Delta c$
Mit $c = 0$ und deshalb $\Delta c = c_0 - c = c_0$

1a) Nach Gl. (2-42) $a_c = \left[\varrho \cdot \left(\frac{1}{E_F} + \frac{1}{E_R} \cdot \frac{D}{s}\right)\right]^{-1/2}$

Mit den Werten aus Tab. 2-2 wird:

$$a_c = \left[10^3 \cdot \left(\frac{1}{2{,}06 \cdot 10^9} + \frac{1}{210 \cdot 10^9} \cdot \frac{250}{10}\right)\right]^{-1/2} \left[\left(\frac{kg/m^3}{N/m^2}\right)^{-1/2}\right]$$

$a_c = 1286{,}2$ m/s

Damit ergibt sich:

$\Delta p = 10^3 \cdot 1286{,}2 \cdot 1{,}5 \left[\frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s} \cdot \frac{m}{s}\right]$

$\underline{\Delta p} = 19{,}3 \cdot 10^5\ N/m^2 = 19{,}3 \cdot 10^5\ Pa = \underline{19{,}3\ bar}$

1b) Nach Gl. (37.3) $a_0 = \sqrt{E_F/\varrho}$

$a_0 = \sqrt{2{,}06 \cdot 10^9/10^3} \left[\sqrt{(N/m^2)/(kg/m^3)}\right] = 1435{,}3$ m/s

Damit wird

$\Delta p = 10^3 \cdot 1435{,}3 \cdot 1{,}5 \quad [kg/m^3 \cdot m/s \cdot m/s]$

$\underline{\Delta p} = 21{,}5 \cdot 10^5\ N/m^2 = 21{,}5 \cdot 10^5\ Pa = \underline{21{,}5\ bar}$

Ergebnis etwa 12 % höher als bei Frage 1a. Rechenwert liegt deshalb auf der "sicheren Seite".

2. Wieder nach Gl. (2-32) mit $\Delta c = c_0 - c = c_0 - c_0/2 = c_0/2$

2a) $\Delta p = 10^3 \cdot 1286{,}2 \cdot 1{,}5/2 = 9{,}65 \cdot 10^5$ Pa
$\underline{\Delta p \approx 10\ bar}$

2b) $\Delta p = 10^3 \cdot 1435{,}3 \cdot 1{,}5/2 = 10{,}77 \cdot 10^5$ Pa
$\underline{\Delta p \approx 11\ bar}$

3. Nach Gl. (2-34) $T_R = 2 \cdot L/a$

3a) $\underline{T_R} = 2 \cdot 2500/1286{,}2\ [m/(m/s)] \approx \underline{3{,}9\ s}$

3b) $\underline{T_R} = 2 \cdot 2500/1435{,}3\ [m/(m/s)] \approx \underline{3{,}5\ s}$

4. Nach Gl. (2-37) $\Delta p = \varrho \cdot L \cdot c_0/t$

4a) $\Delta p = 10^3 \cdot 2500 \cdot 1{,}5/10\ [kg/m^3 \cdot m \cdot (m/s)/s]$
$\underline{\Delta p} = 3{,}75 \cdot 10^5\ N/m^2 = 3{,}75 \cdot 10^5\ Pa \approx \underline{3{,}8\ bar}$

4b) $\Delta c = c_0 - c = c_0 - c_0/2 = c_0/2$ statt c_0 in Gl. (2-37)
$\Delta p = \varrho \cdot L \cdot \Delta c/t = 10^3 \cdot 2500 \cdot (1{,}5/2)/10 \left[\frac{kg}{m^3} \cdot m \cdot \frac{m/s}{s}\right]$
$\underline{\Delta p} = 1{,}88 \cdot 10^5\ N/m^2 \approx 1{,}9 \cdot 10^5\ Pa = \underline{1{,}9\ bar}$

5. Nach Festigkeitslehre steht die Rohrwand unter dreiachsigem Spannungszustand:

Tangentialspannung (Zug): $\sigma_{z,t} = \frac{p_ü \cdot D}{2 \cdot s}$

Längsspannung (Zug): $\sigma_{z,l} = \frac{p_ü \cdot D}{4 \cdot s}$

Radialspannung (Druck): $\sigma_{d,r} = -p_ü$

Bei genauer Rechnung müßten diese drei Hauptspannungen mittels Festigkeitshypothese zu einer Vergleichsspannung zusammengefaßt werden. Näherungsweise kann bei entsprechend höher gewählter Sicherheit nur mit der größten Spannung, der Tangentialspannung, gerechnet werden.
Aus der Tangentialspannung folgt für den zulässigen Gesamtüberdruck im Rohr:

$$p_{ü,zul} = \frac{\sigma_{z,zul} \cdot 2 \cdot s}{D}$$

Mit $\sigma_{z,zul} = \sigma_F/S_F$

Für **Stahl S235 (bisher St 37)** näherungsweise
$\sigma_F \approx 0{,}6 \cdot \sigma_B = 0{,}6 \cdot 370\ [N/mm^2] = 220\ N/mm^2$
Bei $S_F = 1{,}2 \ldots 1{,}5$; angenommen $S_F = 1{,}5$ wird
$\sigma_{z,zul} = 220/1{,}5 = 145\ N/mm^2 = 14500\ N/cm^2$

Diese Werte eingesetzt, ergibt:

$$p_{ü,zul} = \frac{14500 \cdot 2 \cdot 1}{25} \left[\frac{N/cm^2 \cdot cm}{cm}\right] = 1160\ N/cm^2$$

$\underline{p_{ü,zul} = 116\ bar}$

Maximal vorhandener Überdruck nach Frage 1b)

$\underline{p_{ü,vorh}} = \Delta p + p_{ü,0} = 22\ bar + 15\ bar = \underline{37\ bar}$

Festigkeitsmäßig kann das Rohr den Druckstoß aufnehmen; ob jedoch sinnvoll, kann nur an Hand der Rohrsystem-Konzeption entschieden werden.