

HANDBUCH

PipePlanner v. 1.0

Rev. 18.03.2019

Inhalt

Erklärung.....	3
Installation	3
Programmstart.....	4
Segment 1 - Rohreinlauf	5
Segment 2 – Rohrauslauf.....	7
Segment 3 – plötzliche Rohrerweiterung.....	8
Segment 4 – Diffusor	10
Segment 5 – Konfusor / Düse	12
Segment 6 – plötzliche Rohrverengung.....	12
Segment 7 – Kniestück.....	14
Segment 8 – Kompensator / Dehnungsausgleicher	15
Segment 9 – Regler / Drosselklappe.....	17
Segment 10 – gerader Rohrabschnitt.....	18
Erstellung einer Anlagenkennlinie	19
Quellen.....	20

Erklärung

Dieses Handbuch soll als Hilfestellung zu dem Programm PipePlanner v. 1.0 dienen, um die Bedienung zu erleichtern. Wenn im Programmverlauf das Handbuch gefordert wird, schlagen Sie bitte das entsprechende Segment zur Erklärung in diesem Handbuch nach.

Installation

Um das Programm ausführen zu können, benötigen Sie ein 32- oder 64-bit Linux-System. Kompiliert und getestet wurde das Programm unter Ubuntu 18.04, lauffähig ist es unter allen X-buntu (Lubuntu, Kubuntu etc.) Distributionen.

Öffnen Sie ein Terminal und installieren Sie git durch den Befehl

```
sudo apt install git
```

klonen Sie anschließend das Git-Repository durch den Befehl

```
git clone https://github.com/Mormacill/Pipeplanner2.git
```

Betreten Sie das Verzeichnis „Pipeplanner2“ mittels

```
cd Pipeplanner2
```

Führen Sie nun das Installations-Skript aus, indem Sie folgendes eingeben

```
./MAKE.sh
```

Sollte die benötigte Software Gnuplot, c++ und Eye of Gnome noch nicht auf Ihrem System installiert sein, so wird dies automatisch vom Installations-Skript durchgeführt, sofern Sie dies mit „y“ bestätigen.

Ist die Installation erfolgreich verlaufen, sollte folgendes in Ihrer Konsole stehen

```
Pipeplanner wird nun gebaut.

g++ -g -c Funktionen.cpp
g++ -g -c Extras.cpp
g++ -g -c Segmente.cpp
g++ -g -c main.cpp
g++ -g -o pipeplanner Funktionen.o Extras.o Segmente.o main.o
rm *.o

Führen Sie ./pipeplanner aus, um das Programm zu starten.
```

Nun können Sie über den Befehl

`./pipeplanner`

das Programm starten.

Programmstart

Wenn Sie das Programm starten, werden Sie aufgefordert, die Anzahl an Segmenten Ihrer Anlage einzugeben. Dies ist nötig, da jedes Segment einzeln auf seinen Druckverlust berechnet wird. Folgende Segmente stehen hierzu zur Auswahl:

- 1: Rohreinlauf
- 2: Rohrauslauf
- 3: plötzliche Rohrerweiterung
- 4: Diffusor
- 5: Konfusor / Düse
- 6: plötzliche Rohrverengung
- 7: Kniestück
- 8: Kompensatoren / Dehnungsausgleicher
- 9: Regler / Drosselklappe
- 10: gerader Rohrabschnitt

Die einzelnen Segmente werden im Folgenden noch genauer erklärt und die einzugebenden Parameter definiert. Prüfen Sie nun bitte Ihre Anlage und geben sie die Anzahl der zu berechnenden Segmente in das Programm ein und bestätigen dies mit Enter.

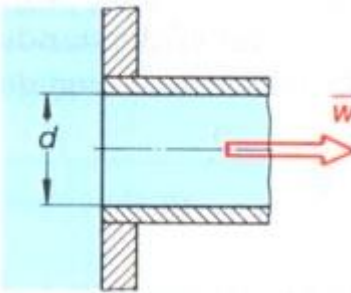
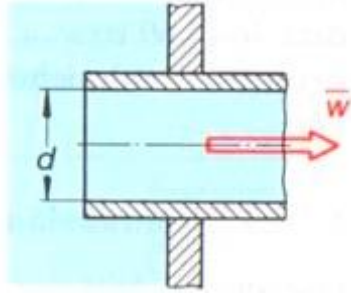
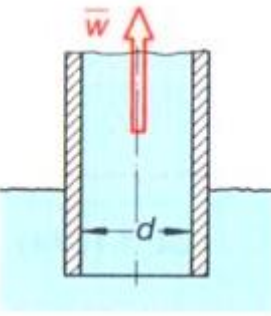
Als nächstes werden Sie aufgefordert, den Volumenstrom, der voraussichtlich in Ihrer Anlage herrschen wird, einzugeben. Bitte machen Sie Ihre Eingabe in $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ und bestätigen Sie erneut mit Enter.

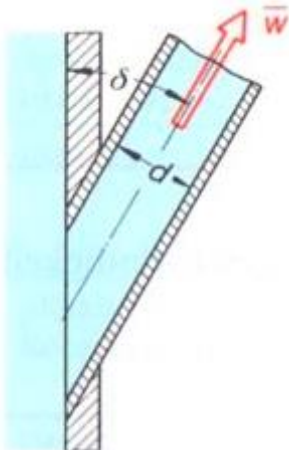
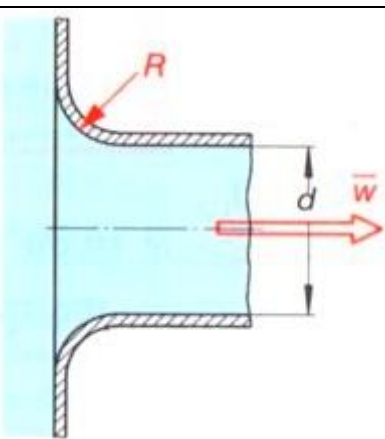
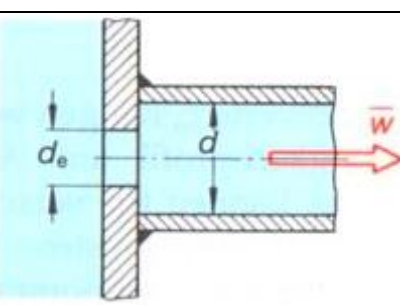
In der darauffolgenden Auswahl werden Sie aufgefordert, Ihr erstes Segment zur Berechnung auszuwählen. Tun Sie dies nun und bestätigen mit Enter. Für die einzugebenden Parameter beachten Sie bitte die folgenden Segmentbeschreibungen!

Achtung: Bitte stellen Sie sicher, dass Sie die Eingabereihenfolge und die eingegebenen Daten dokumentieren! Diese werden später zur Erstellung einer Kennlinie erneut benötigt!

Segment 1 - Rohreinlauf

Nach der Auswahl des Segmentes -Rohreinlauf- werden Sie aufgefordert, einen Rohreinlauftypen auszuwählen, indem Sie den entsprechenden Fall auswählen.

Fall	Schematische Darstellung	Zeta-Berechnungsgrundlage
1		scharfkantig: $\zeta \approx 0,5$ gebogen: $\zeta \approx 0,25$
2		scharfkantig: $\zeta \approx 3,0$ gebogen: $\zeta \approx 0,6 \dots 1,0$
3		scharfkantig: $\zeta \approx 3,0$ gebogen: $\zeta \approx 0,6 \dots 1,0$

4		$\zeta \approx 0,5 + 0,3 \cdot \cos \delta + 0,2 \cdot \cos^2 \delta$												
5		<table><tr><td>R/d</td><td>0,25</td><td>0,5</td><td>0,75</td><td>1,0</td></tr><tr><td>ζ</td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,1</td><td>0,05</td></tr></table>	R/d	0,25	0,5	0,75	1,0	ζ	0,2	0,2	0,1	0,05		
R/d	0,25	0,5	0,75	1,0										
ζ	0,2	0,2	0,1	0,05										
6		<table><tr><td>$\left(\frac{d}{d_e}\right)^2$</td><td>1</td><td>1,25</td><td>2</td><td>5</td><td>10</td></tr><tr><td>ζ</td><td>0,5</td><td>1,17</td><td>5,45</td><td>54</td><td>245</td></tr></table>	$\left(\frac{d}{d_e}\right)^2$	1	1,25	2	5	10	ζ	0,5	1,17	5,45	54	245
$\left(\frac{d}{d_e}\right)^2$	1	1,25	2	5	10									
ζ	0,5	1,17	5,45	54	245									

Bitte wählen Sie den entsprechenden Fall aus und bestätigen diesen mit Enter. Folgen Sie nun den Anweisungen des Programms, bis ein Zeta-Wert ermittelt wurde.

Geben Sie nun die Temperatur des Strömungsmediums (Luft) in $^{\circ}\text{C}$ ein.

Geben Sie nun den Gesamtdruck im Einlauf in $[\text{Bar}]$ ein.

➔ Aus diesen Eingaben wird die Dichte ρ durch

$$\frac{p}{R \cdot T}$$

berechnet.

Geben Sie nun bitte die Strömungsgeschwindigkeit w des Mediums im Einlauf in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.

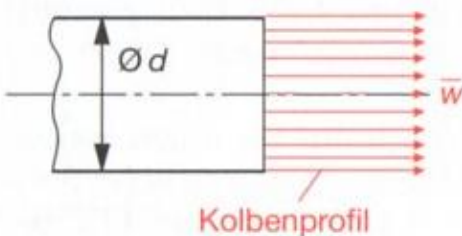
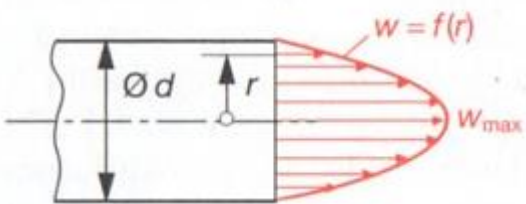

Aus diesen Eingaben und dem ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Einlaufs durch

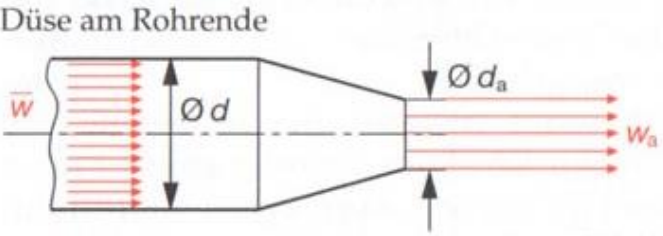
$$p_V = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Segment 2 – Rohrauslauf

Nach der Auswahl des Segmentes -Rohrauslauf- werden Sie aufgefordert, einen Rohrauslauftypen auszuwählen, indem Sie den entsprechenden Fall auswählen.

Fall	Schematische Darstellung	Zeta-Berechnungsgrundlage
1	 <p>Kolbenprofil</p>	$\zeta_a = 1,0$
2	<p>laminare Strömung $Re < 2320$</p> 	$\zeta_a = 2$ für \oplus und \boxplus Querschnitte $\zeta_a = 1,55$ für \boxminus Querschnitte
3	<p>turbulente Strömung $Re > 2320$</p> 	<p>für \oplus und \boxplus Querschnitte:</p> $\zeta_a = \frac{(2n+1)^3 \cdot (n+1)^3}{4 \cdot n^4 \cdot (2n+3) \cdot (n+3)}$ <p>für \boxminus Querschnitte:</p> $\zeta_a \approx \frac{(n+1)^3}{n^2 \cdot (n+3)}$

4		$\zeta_a \approx \left(\frac{d}{d_a} \right)^4$
---	---	--

Bitte wählen Sie den entsprechenden Fall aus und bestätigen diesen mit Enter. Folgen Sie nun den Anweisungen des Programms, bis ein Zeta-Wert ermittelt wurde.

Geben Sie nun die Temperatur des Strömungsmediums (Luft) in $[^{\circ}\text{C}]$ ein.

Geben Sie nun den Gesamtdruck im Auslauf in $[\text{Bar}]$ ein.

➔ Aus diesen Eingaben wird die Dichte ρ durch

$$\frac{p}{R \cdot T}$$

berechnet.

Geben Sie nun bitte die Strömungsgeschwindigkeit w des Mediums im Auslauf in $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ ein.

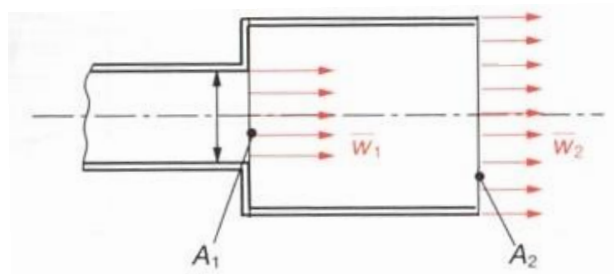
Aus diesen Eingaben und dem ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Auslaufs durch

$$p_V = \zeta_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Segment 3 – plötzliche Rohrerweiterung

Nach der Auswahl des Segmentes -plötzliche Rohrerweiterung- werden Sie aufgefordert, zu wählen, ob Sie die Berechnung des Zeta-Wertes auf den Eintritts- oder den Austrittsquerschnitt beziehen möchten.



Ihre Wahl sollte davon abhängen, an welchem Querschnitt Ihnen die Strömungsgeschwindigkeit bekannt ist.

Ist Ihnen die Geschwindigkeit am Einlass bekannt, so wählen Sie den Bezug auf den Eintrittsquerschnitt.

Der Druckverlust wird dann nach

$$p_V = \zeta_1 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2$$

bestimmt.

Der Zeta-Wert ergibt sich aus

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

Ist Ihnen die Geschwindigkeit am Auslass bekannt, so wählen Sie den Bezug auf den Austrittsquerschnitt.

Der Druckverlust wird dann nach

$$p_V = \zeta_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2$$

bestimmt.

Der Zeta-Wert ergibt sich aus

$$\zeta_2 = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2$$

Nachdem Sie einen Bezug gewählt und diesen mit Enter bestätigt haben, geben Sie die geforderten Durchmesser in [m] ein.

Geben Sie nun die Temperatur des Strömungsmediums (Luft) in [°C] ein.

Geben Sie nun den Gesamtdruck im Einlauf in [Bar] ein.

➔ Aus diesen Eingaben wird die Dichte ρ durch

$$\frac{\rho}{R \cdot T}$$

berechnet.

Geben Sie bitte die geforderte Strömungsgeschwindigkeit w des Mediums in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.

Segment 4 – Diffusor

Nach der Auswahl des Segmentes -Diffusor- werden Sie aufgefordert, die Temperatur des Strömungsmediums einzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[\text{°C}]$ und bestätigen mit Enter.

➔ **Achtung: Bitte geben Sie nur eine Temperatur im Bereich von -40 – 500 °C an, da die im Programm hinterlegten Formeln nur in diesem Bereich gültig sind!**

Geben Sie nun bitte die Strömungsgeschwindigkeit w des Mediums im Einlauf des Diffusors in $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ ein.

Geben Sie anschließend bitte den Durchmesser des Diffusors am Einlauf in $[m]$ an. Bei Diffusoren mit nicht rundem Querschnitt verwenden Sie den hydraulischen Durchmesser.

Für den turbulenten Fall wird nun iterativ der Rohrreibungsbeiwert berechnet. Zur Ermittlung des Rohrreibungsbeiwertes liegt die Formel von Prandtl und von Kármán zugrunde, welche den gesamten turbulenten Bereich für hydraulisch glatte Rohre abdeckt.

Diese lautet

$$\lambda = \frac{1}{\left[2 \cdot \log \left(Re \cdot \frac{\sqrt{\lambda}}{2,51} \right) \right]^2}$$

Die Iteration endet, sobald eine Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-10}$ erreicht ist. Der finale Lambda-Wert wird anschließend ausgegeben.

Bitte geben Sie nun den (hydraulischen) Durchmesser des Diffusors am Austritt in $[m]$ an und bestätigen mit Enter.

Anschließend werden Sie gefragt, welche Art von Diffusor in Ihrer Anlage vorliegt.

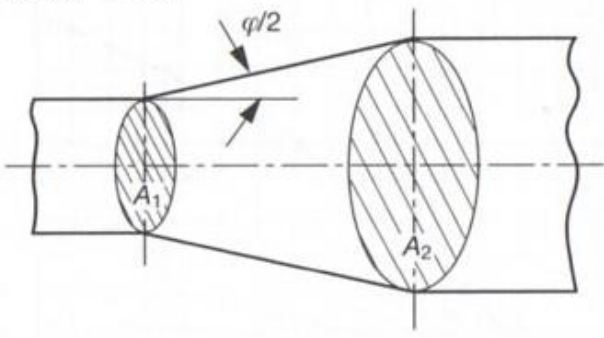
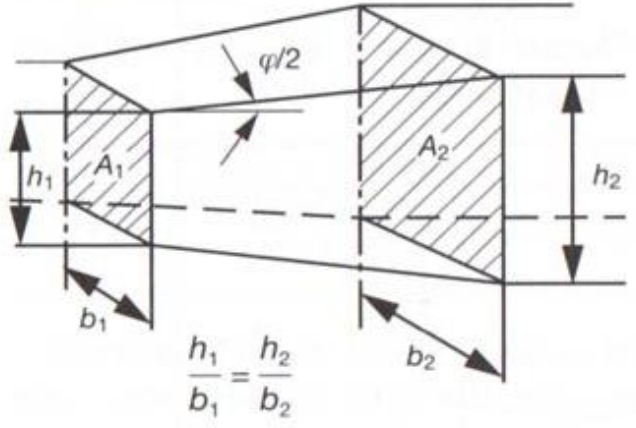
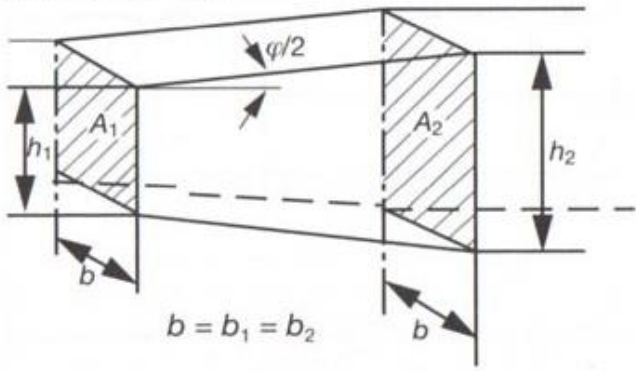
Wählen Sie den für Sie passenden Diffusor aus (vgl. Tabelle S. 11) und folgen Sie den Anweisungen des Programmes.

Geben Sie schließlich den Gesamtdruck am Diffusoreintritt in $[Bar]$ ein.

Aus diesen Eingaben und dem ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Diffusors durch

$$p_v = \zeta_1 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Fall	Schematische Darstellung	Zeta-Berechnungsgrundlage
1	<p>Kreisdiffusor</p> 	$\zeta_1 = \zeta_E + \zeta_R$ <p>Bereich: $0 < \varphi < 40^\circ$</p> $\zeta_E = 3,2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt[4]{\tan \frac{\varphi}{2} \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2}$ $\zeta_R = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right]$
2	<p>Rechteckdiffusor</p>  <p>$\frac{h_1}{b_1} = \frac{h_2}{b_2}$</p>	$\zeta_1 = \zeta_E + \zeta_R$ <p>Bereich: $0 < \varphi < 25^\circ$</p> $\zeta_E = 4,0 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt[4]{\tan \frac{\varphi}{2} \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2}$ $\zeta_R = \frac{\lambda}{16 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right]$
3	<p>Flachdiffusor (ebener Diffusor)</p>  <p>$b = b_1 = b_2$</p>	$\zeta_1 = \zeta_E + \zeta_R$ <p>Bereich: $0 < \varphi < 40^\circ$</p> $\zeta_E = 3,2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt[4]{\tan \frac{\varphi}{2} \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2}$ $\zeta_R = \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \cdot \left\{ \frac{h_1}{b} \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) + 0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right] \right\}$

Segment 5 – Konfusor / Düse

Nach der Auswahl des Segmentes -Konfusor / Düse- werden Sie aufgefordert, den Eintrittsdurchmesser des Konfusors einzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[m]$ und bestätigen Sie mit Enter.

Anschließend geben Sie bitte den Austrittsdurchmesser des Konfusors in $[m]$ ein.

Geben Sie bitte nach Bestätigung der vorherigen Eingabe die Temperatur des Strömungsmediums in $[^{\circ}C]$ ein.

Geben Sie den Gesamtdruck am Konfusoraustritt in $[Bar]$ an.

Geben Sie abschließend die Strömungsgeschwindigkeit am Konfusoraustritt in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.

Aus diesen Eingaben und dem im Programm ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Konfusors oder der Düse durch

$$p_v = \zeta_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2$$

errechnet.

➔ **Achtung:** Der im Programm hinterlegte Formalismus gilt nur für Diffusoren mit einem Öffnungswinkel von 15° (nach DIN EN ISO 5801, S.45).

Vgl. Grafik S. 13!

Segment 6 – plötzliche Rohrverengung

Nach der Auswahl des Segmentes -plötzliche Rohrverengung- werden Sie aufgefordert, den Eintrittsdurchmesser der Rohrverengung einzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[m]$ und bestätigen Sie mit Enter.

Anschließend geben Sie bitte den Austrittsdurchmesser der Rohrverengung in $[m]$ ein.

Geben Sie bitte nach Bestätigung der vorherigen Eingabe die Temperatur des Strömungsmediums in $[^{\circ}C]$ ein.

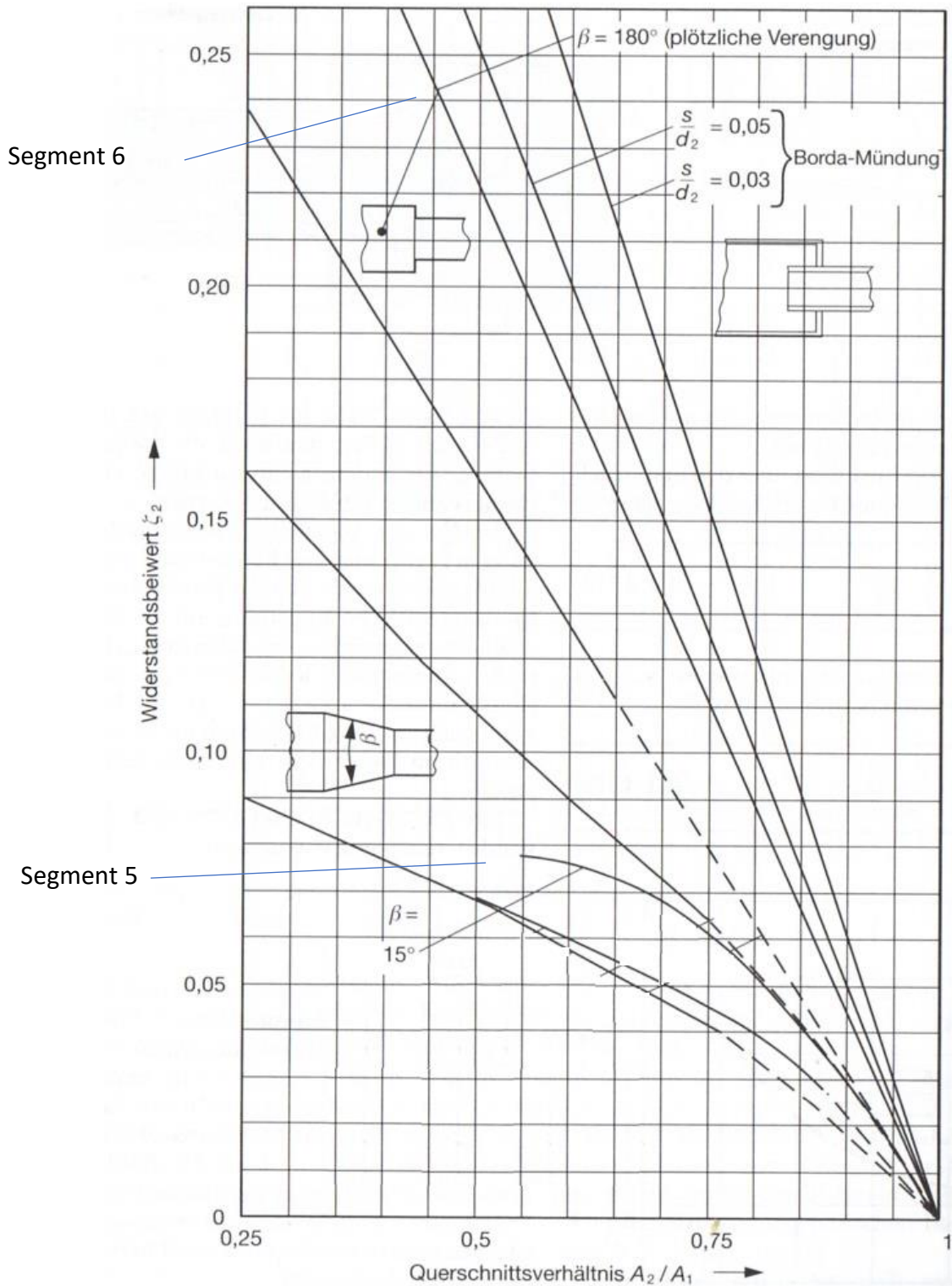
Geben Sie den Gesamtdruck am Verengungsausstritt in $[Bar]$ an.

Geben Sie abschließend die Strömungsgeschwindigkeit am Verengungsaustritt in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.

Aus diesen Eingaben und dem im Programm ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust der plötzlichen Rohrverengung durch

$$p_V = \zeta_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2$$

errechnet.



Segment 7 – Kniestück

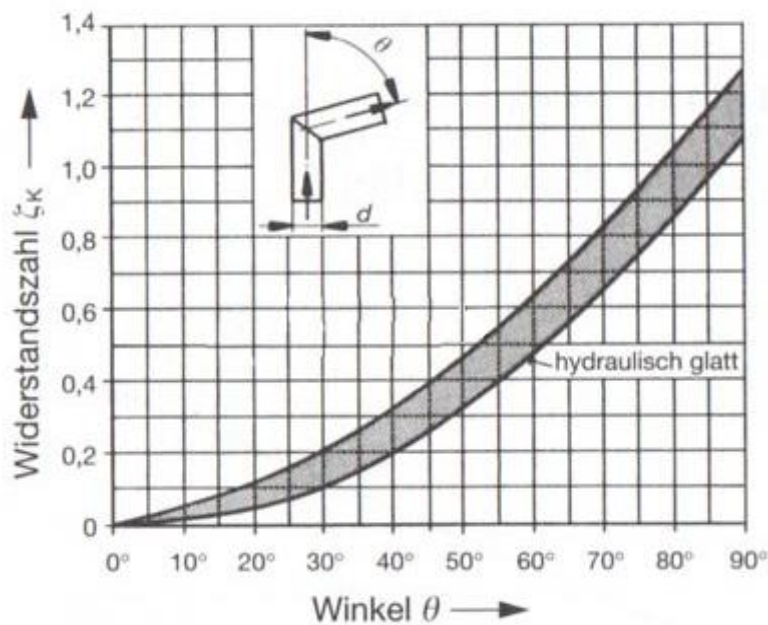
Nach der Auswahl des Segmentes -Kniestück- werden Sie aufgefordert, den Umlenkwinkel des Kniestückes anzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[\circ]$ für einen Bereich von 0 – 90° und bestätigen mit Enter.

Geben Sie bitte die Temperatur des Strömungsmediums in $[\circ C]$ ein.

Geben Sie den Gesamtdruck im Kniestück in $[Bar]$ an.

Geben Sie abschließend die Strömungsgeschwindigkeit im Kniestück in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.



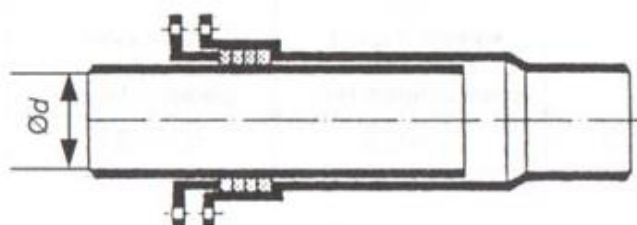
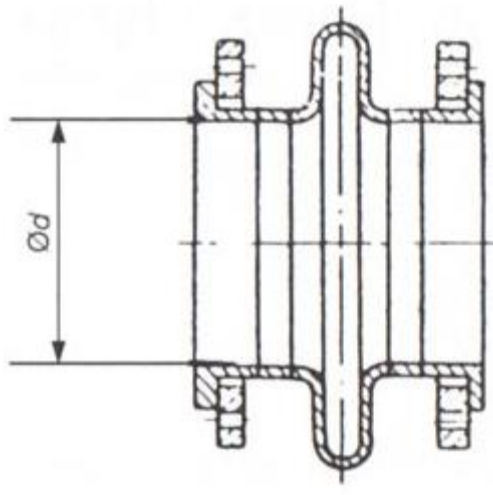
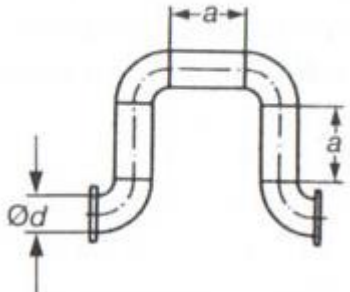
Aus diesen Eingaben und dem im Programm ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Kniestückes durch

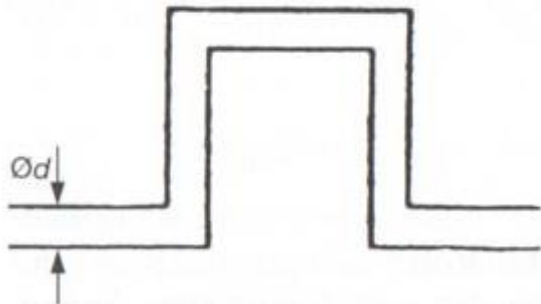
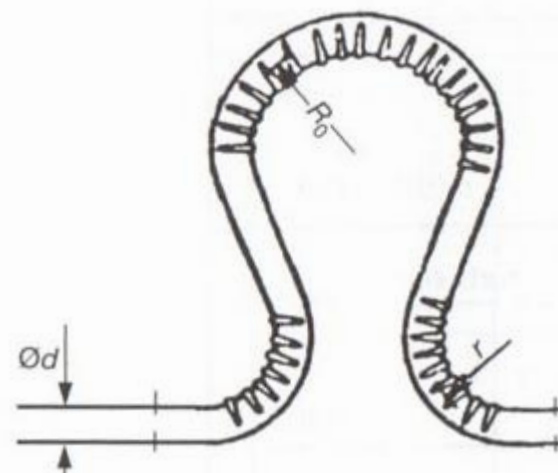
$$p_V = \zeta_k \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Segment 8 – Kompensator / Dehnungsausgleicher

Nach der Auswahl des Segmentes -Kompensator / Dehnungsausgleicher- werden Sie aufgefordert, den Kompensatortyp auszuwählen.

Fall	Schematische Darstellung	Zeta-Berechnungsgrundlage																
1	<p>Stopfbuchsenkompensator</p> 	$\zeta \approx 0,2$																
2	<p>Wellrohrkompensator</p> 	<table><tr><td>$\varnothing d$</td><td>50</td><td>100</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>mm</td></tr><tr><td>ζ</td><td>1,7</td><td>1,6</td><td>1,6</td><td>1,8</td><td>2,1</td><td>2,3</td><td></td></tr></table> <p>bei mehr Wellen erhöht sich ζ entsprechend um etwa 0,2 pro Welle</p>	$\varnothing d$	50	100	200	300	400	500	mm	ζ	1,7	1,6	1,6	1,8	2,1	2,3	
$\varnothing d$	50	100	200	300	400	500	mm											
ζ	1,7	1,6	1,6	1,8	2,1	2,3												
3	<p>U-Bogen mit Krümmern</p> 	<table><tr><td>a/d</td><td>0</td><td>2</td><td>5</td><td>10</td></tr><tr><td>ζ</td><td>0,33</td><td>0,21</td><td>0,21</td><td>0,21</td></tr></table>	a/d	0	2	5	10	ζ	0,33	0,21	0,21	0,21						
a/d	0	2	5	10														
ζ	0,33	0,21	0,21	0,21														

4	<p>scharfkantiger U-Bogen</p> 	<table><tr><td>Ø d</td><td>50</td><td>100</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>mm</td></tr><tr><td>ζ</td><td>2</td><td>2,1</td><td>2,3</td><td>2,5</td><td>2,7</td><td>2,9</td><td></td></tr></table>	Ø d	50	100	200	300	400	500	mm	ζ	2	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9																																				
Ø d	50	100	200	300	400	500	mm																																														
ζ	2	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9																																															
5	<p>Lyrabogen</p> 	<table><tr><td rowspan="2">Glattrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 5$</td><td>Ø d</td><td>50</td><td>100</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>mm</td></tr><tr><td>ζ</td><td>1,7</td><td>1,8</td><td>2,0</td><td>2,2</td><td>2,4</td><td>2,6</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">Faltenrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 6$</td><td>Ø d</td><td>80</td><td>100</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>mm</td></tr><tr><td>ζ</td><td>2,0</td><td>2,2</td><td>2,5</td><td>2,8</td><td>3,1</td><td>3,5</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">Wellrohr $R_0/d = 5$ $r/d = 3$</td><td>Ø d</td><td>50</td><td>100</td><td>200</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>mm</td></tr><tr><td>ζ</td><td>3,0</td><td>3,3</td><td>3,7</td><td>4,2</td><td>4,6</td><td>5,0</td><td></td></tr></table>	Glattrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 5$	Ø d	50	100	200	300	400	500	mm	ζ	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6		Faltenrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 6$	Ø d	80	100	200	300	400	500	mm	ζ	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,5		Wellrohr $R_0/d = 5$ $r/d = 3$	Ø d	50	100	200	300	400	500	mm	ζ	3,0	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0	
Glattrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 5$	Ø d	50		100	200	300	400	500	mm																																												
	ζ	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6																																														
Faltenrohr $R_0/d = 6$ $r/d = 6$	Ø d	80	100	200	300	400	500	mm																																													
	ζ	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,5																																														
Wellrohr $R_0/d = 5$ $r/d = 3$	Ø d	50	100	200	300	400	500	mm																																													
	ζ	3,0	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0																																														

Bitte wählen Sie den entsprechenden Fall aus und bestätigen diesen mit Enter. Folgen Sie nun gegebenenfalls den Anweisungen des Programms.

Geben Sie nun die Temperatur des Strömungsmediums (Luft) in $[^{\circ}C]$ ein.

Geben Sie nun den Gesamtdruck im Einlauf in $[Bar]$ ein.

Geben Sie abschließend die Strömungsgeschwindigkeit im Kompensator in $\left[\frac{m}{s}\right]$ ein.

Aus diesen Eingaben und dem im Programm ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Kompensators durch

$$p_v = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Segment 9 – Regler / Drosselklappe

Nach der Auswahl des Segmentes -Regler / Drosselklappe- werden Sie aufgefordert, die Temperatur des Strömungsmediums anzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[^{\circ}C]$ und bestätigen mit Enter.

Geben Sie anschließend den Gesamtdruck im Regler / in der Drosselklappe in $[Bar]$ ein.

Anschließend geben Sie bitte die Strömungsgeschwindigkeit am Regler- / Drosselklappeneintritt an.

Geben Sie nun bitte den Durchmesser am Eintritt in $[m]$ an.

Nun werden Sie aufgefordert, die versperrte Fläche bei gewünschter Regler- / Drosselklappenstellung einzugeben.

Tun Sie dies bitte in der Einheit $[m^2]$ und bestätigen die Eingabe.

Aus diesen Eingaben wird nun der Druckverlust des Reglers / der Drosselklappe durch

$$p_v = \frac{\rho}{2} \cdot (w_1 - w_2)^2$$

errechnet.

w_1 repräsentiert hierbei die Geschwindigkeit am Eintritt, also am unversperrten Querschnitt, w_2 hingegen die Geschwindigkeit an der versperrten Engstelle.

Segment 10 – gerader Rohrabschnitt

Nach der Auswahl des Segmentes -gerader Rohrabschnitt- werden Sie aufgefordert, die Temperatur des Strömungsmediums einzugeben.

Tun Sie dies bitte in $[^{\circ}\text{C}]$ und bestätigen mit Enter.

➔ **Achtung: Bitte geben Sie nur eine Temperatur im Bereich von -40 – 500 $^{\circ}\text{C}$ an, da die im Programm hinterlegten Formeln nur in diesem Bereich gültig sind!**

Geben Sie nun bitte die Strömungsgeschwindigkeit w des Mediums im Rohr in $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ ein.

Geben Sie anschließend bitte den Durchmesser des Rohres in $[m]$ an.

Für den turbulenten Fall wird nun iterativ der Rohrreibungsbeiwert berechnet. Zur Ermittlung des Rohrreibungsbeiwertes liegt die Formel von Prandtl und von Kármán zugrunde, welche den gesamten turbulenten Bereich für hydraulisch glatte Rohre abdeckt.

Diese lautet

$$\lambda = \frac{1}{\left[2 \cdot \log \left(Re \cdot \frac{\sqrt{\lambda}}{2,51} \right)\right]^2}$$

Die Iteration endet, sobald eine Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-10}$ erreicht ist. Der finale Lambda-Wert wird anschließend ausgegeben.

Für den laminaren Fall wird die Rohrreibungszahl lediglich durch die Formel

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

berechnet.

Bitte geben Sie nun die Länge des geraden Rohrabschnittes in $[m]$ an und bestätigen die Eingabe.

Geben Sie schließlich den Gesamtdruck in der Rohrleitung in $[Bar]$ ein.

Aus diesen Eingaben und dem ermittelten Zeta-Wert wird nun der Druckverlust des Diffusors durch

$$p_V = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

errechnet.

Der Zeta-Wert bildet sich hierbei durch

$$\zeta = \lambda \cdot \frac{l}{d}$$

Erstellung einer Anlagenkennlinie

Haben Sie alle Ihre Segmente in das Programm eingegeben, erscheint ein Hinweis

„Zur Erstellung einer Anlagenkennlinie muss ein zweiter Rechenzyklus durchgeführt werden. Hierzu wählen Sie bitte die gleichen Segmente in der gleichen Reihenfolge aus unter Verwendung eines anderen (kleineren) Volumenstromes und einer daraus resultierenden Strömungsgeschwindigkeit in den Segmenten.“

Bestätigen Sie die Meldung mit Enter und wählen Sie einen kleineren Volumenstrom, als den Gewählten im ersten Rechenzyklus. Berechnen Sie hierfür bitte ebenfalls die dazugehörigen Strömungsgeschwindigkeiten.

Bitte geben Sie die Segmente in der gleichen Reihenfolge(!) mit den gleichen Geometrien an, lediglich die Strömungsgeschwindigkeit variiert nun in Ihren Eingaben.

Haben Sie auch den zweiten Rechenzyklus abgeschlossen, werden die beiden Arbeitspunkte ausgegeben, welche sich nun im Speicher des Programms befinden.

Volumenstrom 1

Druckverlust 1

Volumenstrom 2

Druckverlust 2

Durch dieser beiden Arbeitspunkte kann nun eine Kennlinie mithilfe von Gnuplot erstellt werden.

Wenn Sie die Anlagenkennlinie ausgeben möchten, bestätigen Sie die Eingabe mit „y“ und es wird eine Regression durchgeführt durch die beiden Punkte durch die Funktion

$$a \cdot x^2 + b \cdot x$$

Nach der Regression werden die Parameter für a und b von Gnuplot ausgegeben und die Anlagenkennlinie öffnet sich in einem Bildbetrachter.

Diese Kennlinie wird automatisch in Ihrem Arbeitsverzeichnis gespeichert.

Quellen

Alle Abbildungen und kopierte Formeln:

Bohl, Willi; Elmendorf, Wolfgang;
Technische Strömungslehre
14. Auflage 2008, Vogel Buchverlag
S. 182 – S. 211