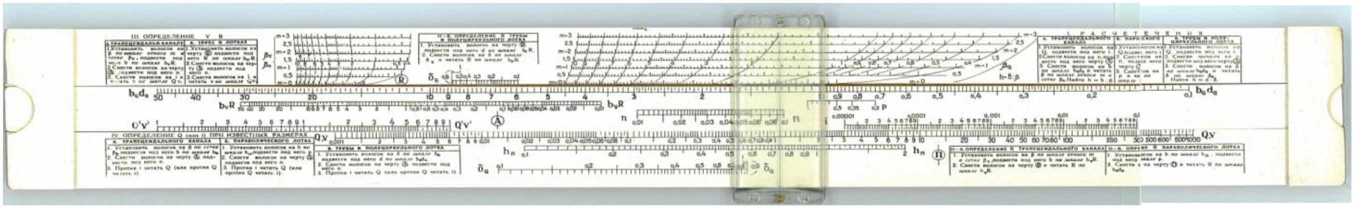
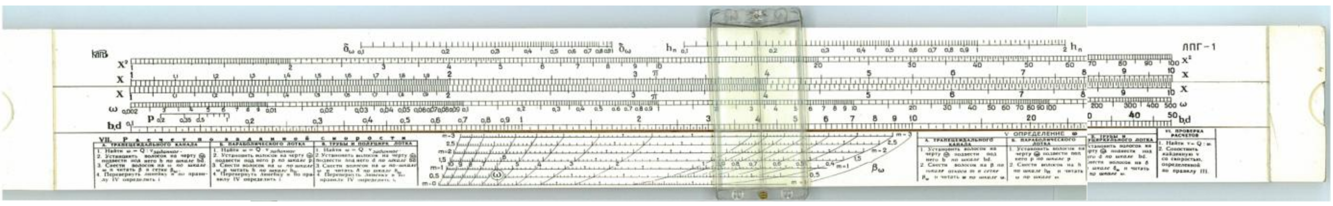
Anleitung

für den

Hydrotechnischen Rechenschieber

von





Stefan Heimann

2012

Hydrotechnischen Rechenschieber

Der „Hydrotechnische Rechenschieber“ nach V.F.Pojarkowa wurde von der Firma KLPZ in Kiev, Ukraine produziert. Er besteht aus kunststoffbeschichtetem Holz. Der Läufer wurde aus durchsichtigem Kunststoff hergestellt.

Der Rechenschieber ist für die Abflussberechnung in offenen Gerinnen und Druckrohren gedacht, und zwar im Einzelnen für

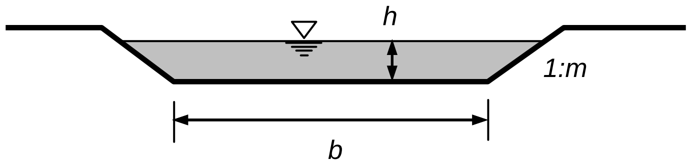
1) Trapezquerschnitte
2) Kreisquerschnitte (Vollfüllung/Druckrohr und Teilfüllung)
3) Parabelquerschnitte

Sein besonderes Merkmal sind graphische Skalen zur Berechnung von Trapezquerschnitten.

Im Folgenden sind die den Berechnungen zugrundeliegenden Gleichungen zusammengestellt und mit Rechenbeispielen zur Benutzung des Rechenschiebers erläutert.

1) Trapezquerschnitt

$$\beta = \frac{b}{h}$$



Der Fließquerschnitt, der hydraulische Radius, die Fließgeschwindigkeit und der Abfluss werden jeweils als ein Vielfaches der Breite b bzw. einer Potenz davon dargestellt. Dieses Vielfache ist eine Funktion der Geometrieparameter ß=b/h und m.

1.1) Trapez - Fließquerschnitt

Gleichungen

$$A \sim \beta_W^2 \times b^2$$

mit: $\beta_W \sim \sqrt{\frac{A}{b^2}} = \sqrt{\frac{b \cdot h + m \cdot h^2}{b^2}} \rightarrow \beta_W \sim \sqrt{\frac{1}{\beta} + \frac{m}{\beta^2}}$

Ausbildung der Skalen

$$\rightarrow A = 1/5 \cdot \beta_W^2 \times b^2$$

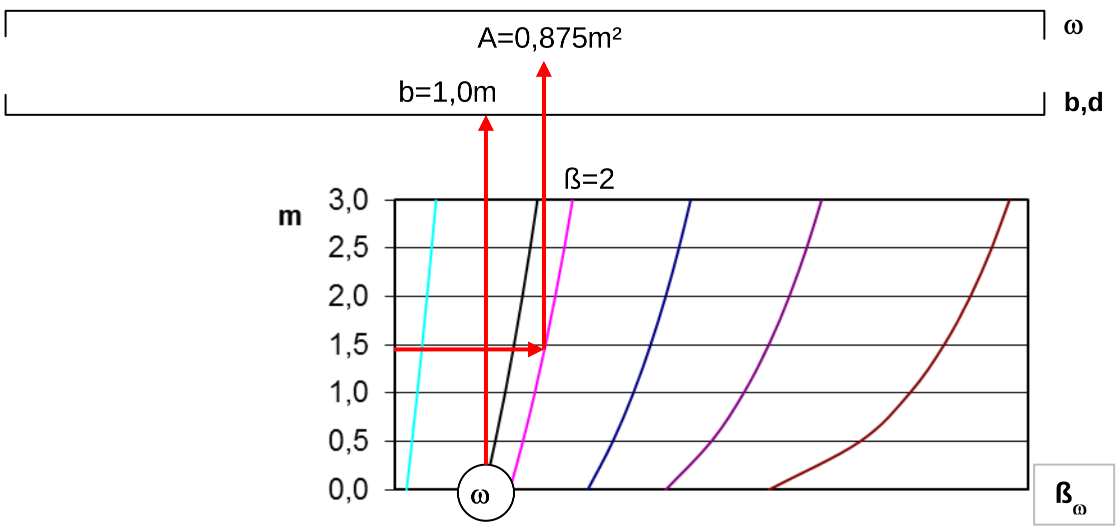
$$\rightarrow \beta_W = \sqrt{5\left(\frac{1}{ß} + \frac{m}{ß^2}\right)}$$

Ablesung

0) Gegeben: b, ß=b/h und m
1) Breite b (Skala b,d) über der Marke „ω" auf der Graphikskala $ß_\omega$ einstellen
   die Marke „ω" sitzt genau an der Stelle, wo $ß_\omega = 1{,}0$ ist
2) Fläche A (Skala ω) über dem Schnittpunkt von m und ß ablesen

Ablesebeispiel

b = 1,0m; 1:m = 1:1,5; h = 0,5m; ß = b/h = 1,0/0,5 = 2,0 → A = 0,875 m²



Bemerkung

1) Der Proportionalitätsfaktor "5" bzw. „1/5" hat keine rechnerische Relevanz. Er wurde aus Gründen verbesserter Skalenmaßstäbe eingeführt.

1.2) Trapez - Hydraulischer Radius

Gleichungen

$$U = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+m^2} = b \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta} \cdot \sqrt{1+m^2}\right)$$

$$R = \frac{A}{U} = \frac{\beta_W^2 \cdot b^2}{b \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta} \cdot \sqrt{1+m^2}\right)}$$

Ausbildung der Skalen

$$\rightarrow R = \beta_R \cdot b$$

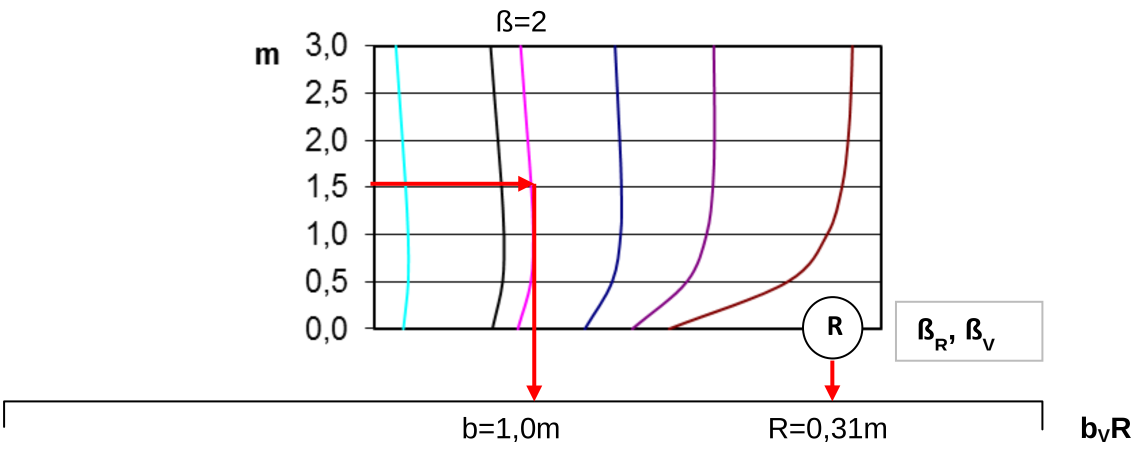
$$\rightarrow \beta_R = \frac{\beta_W^2}{1 + \frac{2}{\beta} \cdot \sqrt{1+m^2}}$$

Ablesung

0) Gegeben: b, ß=b/h und m
1) Breite b (Skala bvR) unter dem Schnittpunkt von m und ß einstellen
   die Marke „R“ sitzt an der Stelle, wo $ß_R$ = 1,0 ist
2) Hydraulischen Radius R auf der Skala bvR unter der Marke "R" ablesen

Ablesebeispiel

b = 1,0m; 1:m = 1:1,5; h = 0,5m; ß = b/h = 1,0/0,5 = 2,0 → R = 0,31 m



Bemerkung

b_VR ist eine Kehrwertskala. Die Rechnung lautet also (in dieser Reihenfolge): 1/R = 1/b · $ß_R$

1.3) Trapez - Fließgeschwindigkeit

Gleichungen

$v = k_{St} \cdot R^{2/3} \sqrt{I_E} = k_{St} \cdot \beta_V \cdot b \cdot \sqrt{I_E}$

mit: $k_{St} = 1m^{1/3}/_s / n$

Ausbildung der Skalen

→ $v = (1/n) \cdot ß_v^{2/3} \cdot b^{2/3} \cdot I_E^{1/2}$

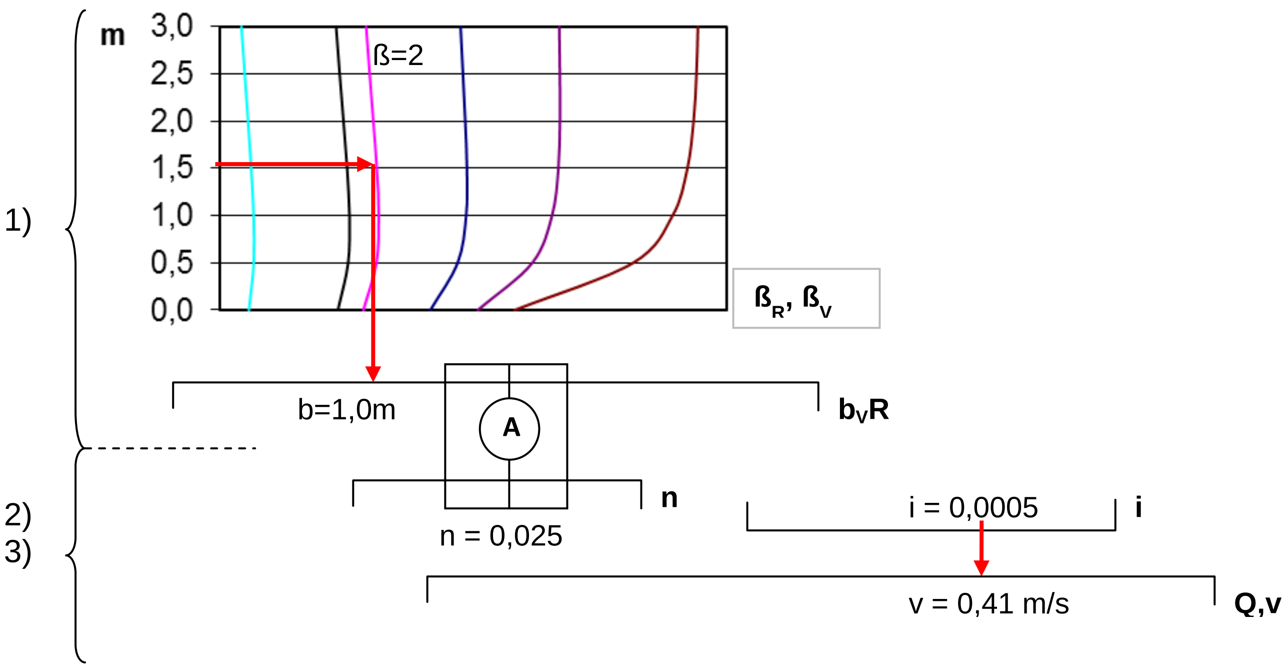
→ $\beta_V = \beta_R$

Ablesung

0) Gegeben: b, ß=b/h, m, k_{St} und I_E
1) Breite b (Skala b_v) unter dem Schnittpunkt von m und ß auf der Graphikskala $ß_v$ einstellen
2) Läufer zur Marke „A“ verschieben und n unter dem Läuferstrich einstellen
3) Fließgeschwindigkeit v unter dem Gefälle i ablesen.

Ablesebeispiel

b = 1,0m; 1:m = 1:1,5; h = 0,5m; ß = b/h = 1,0/0,5 = 2,0
$n = 1m^{1/3}/_s / k_{St} = 0{,}025$; **I = 0,5‰** → v = 0,41 m/s



Bemerkung

b_vR ist eine Kehrwertskala. Die durchgeführte Berechnung lautet also (in dieser Reihenfolge): $v = ß_v^{2/3} / (1/b)^{2/3} \cdot 1/n \cdot I_E^{1/2}$. Die Verschiebung des Läufers zur Marke „A“ hat keine rechnerische Relevanz sondern ergibt sich aus der versetzten Anordnung der Skalen.

Der Kutter-Beiwert n ist dimensionslos. Er entspricht dem Kehrwert des Strickler-Beiwerts in $m^{1/3}/s$. Damit der Kutter-Beiwert dimensionslos ist, muss der Kehrwert mit der Einheit $m^{1/3}/s$ multipliziert werden, also: $n = 1m^{1/3}/_s / k_{St}$. So kann die Gleichung in allen Einheitensystemen verwendet werden.

1.4) Trapez - Abfluss

Gleichungen

$$Q = A \cdot v = 0{,}2 \cdot \beta_W^2 \cdot b^2 \cdot k_{St} \cdot \beta_R^{2/3} \cdot b^{2/3} \cdot I_E^{1/2}$$

mit:

Ausbildung der Skalen

$$\rightarrow Q = \beta_Q \cdot b^{8/3} \cdot k_{St} \cdot I_E^{1/2}$$

$$\rightarrow \beta_Q = 0{,}2 \cdot \beta_W^2 \cdot \beta_R^{2/3}$$

Ablesung

Die Ablesung erfolgt analog zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit, jedoch unter Verwendung der Graphik $ß_Q$ und der Skala b_Qd_Q (statt b_vR)

0) Gegeben: b, ß=b/h, m, n=1/k_{St} und I_E

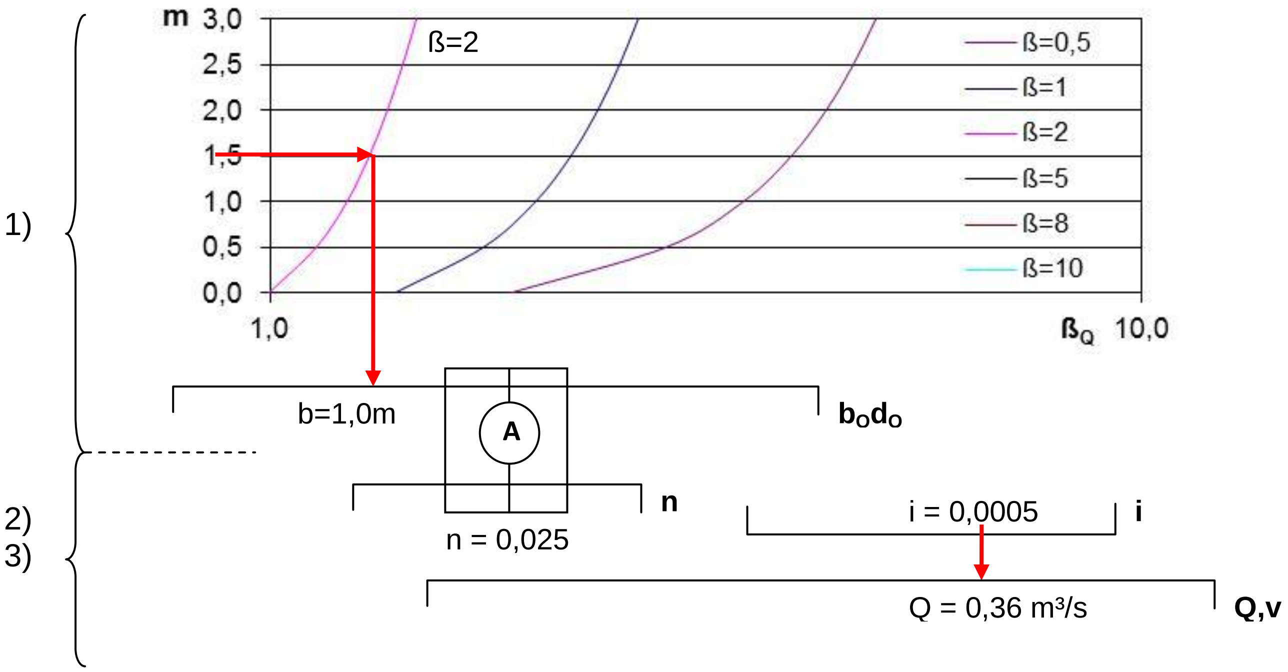
1) Breite b (Skala b_Q,d_Q) unter dem Schnittpunkt von m und ß auf der Graphikskala $ß_Q$ einstellen

2) Läufer zur Marke „A“ verschieben und n unter dem Läuferstrich einstellen

3) Abfluss Q unter dem Gefälle i ablesen.

Ablesebeispiel

b = 1,0m; 1:m = 1:1,5; h = 0,5m; ß = b/h = 1,0/0,5 = 2,0
n = 1m$^{1/3}$/s / k_{St} = 0,025; I = 0,5‰ → Q = 0,36 m³/s



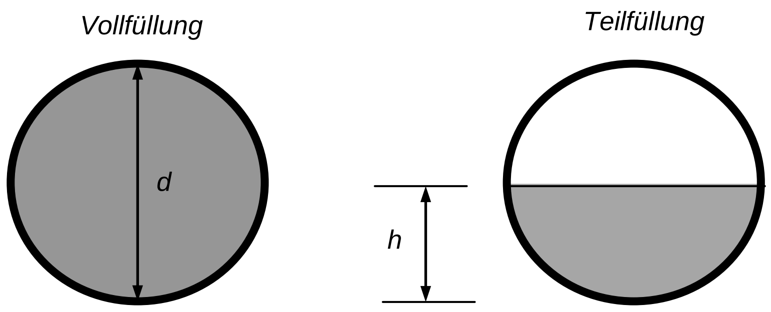
Bemerkung

b_Qd_Q ist eine Kehrwertskala. Die durchgeführte Berechnung lautet also (in dieser Reihenfolge): Q = $ß_Q$ / (1/b)$^{8/3}$ · 1/n · $I_E^{1/2}$. Die Verschiebung des Läufers zur Marke „A“ hat keine rechnerische Relevanz sondern ergibt sich aus der versetzten Anordnung der Skalen.

2) Kreisquerschnitt

Teilfüllungsgrad:

$$\delta = \frac{h}{d}$$



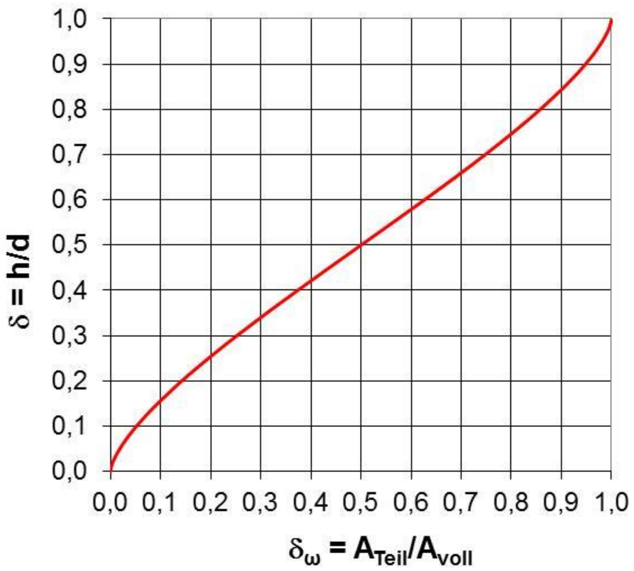
2.1) Kreis - Fließquerschnitt

Gleichungen

$$A_{Teil} = \delta_\omega \cdot \pi / 4 \cdot d^2$$

mit: $\delta_\omega = \frac{A_{Teil}}{A_{voll}} = f(\delta)$

Die Sonderskala "δ_ω" ist entsprechend der rechtsstehenden Graphik verzerrt.

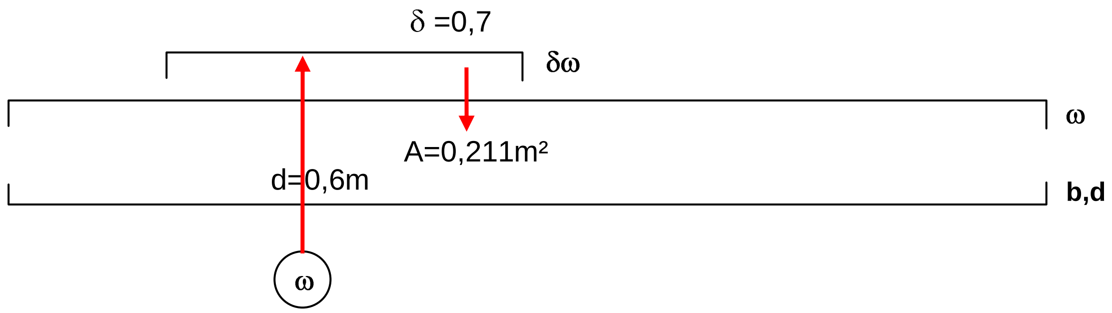


Ablesung

0) Gegeben: d und $\delta = h/d$
1) Durchmesser d über der Marke „ω" (auf der Graphikskala $ß_\omega$) einstellen
2) Fläche A_{Teil} auf der Skala ω unter dem Teilfüllungsgrad δ (Skala δ_ω) ablesen

Ablesebeispiel

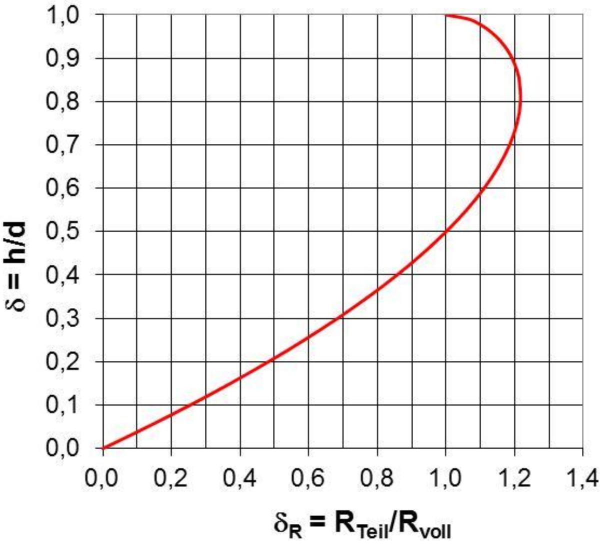
d = 0,6m; δ = h/d = 0,7 → A = 0,211 m²



Bemerkung

Die Marke „ω" sitzt gegenüber dem Teilfüllungsgrad δ = 0,3. Bei diesem Teilfüllungsgrad ist $A = \delta_\omega\, \pi/4 \cdot d^2 = 0{,}2 \cdot d^2$, was der Skala ω entspricht, siehe Trapezquerschnitt. Für andere Teilfüllungsgrade ergibt sich ein entsprechendes A.

2.2) Kreis - Hydraulischer Radius



Gleichungen

$R_{Teil} = \delta_R \cdot d/4$

mit: $\delta_R = \dfrac{R_{Teil}}{R_{voll}} = f(\delta)$

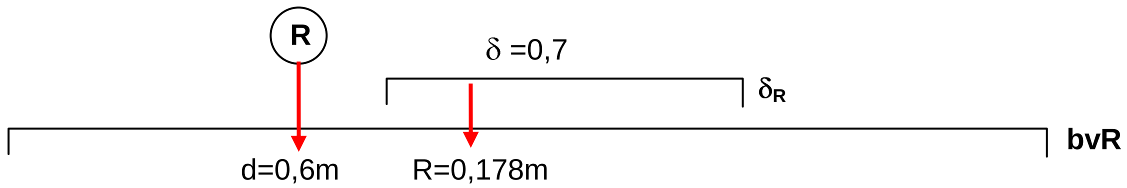
Die Sonderskala "δ_R" ist entsprechend der rechtsstehenden Graphik verzerrt.

Ablesung

0) Gegeben: d und δ=h/d
1) Durchmesser d auf der Skala bvR unter der Marke „R" (auf der Graphikskala $ß_R$) einstellen
2) Hydraulischen Radius R_{Teil} (auf der Skala bvR) unter dem Teilfüllungsgrad δ (Skala δ_R) ablesen.

Ablesebeispiel

d = 0,6m; δ = h/d = 0,7 → R = 0,178 m



Bemerkung

Die Skala δ_R ist so angeordnet, dass bei δ = 1,0 auf der Skala bvR gerade d/4 abgelesen wird. Für andere Teilfüllungsgrade ergibt sich ein entsprechendes R.

2.3) Kreis - Fließgeschwindigkeit

Gleichung

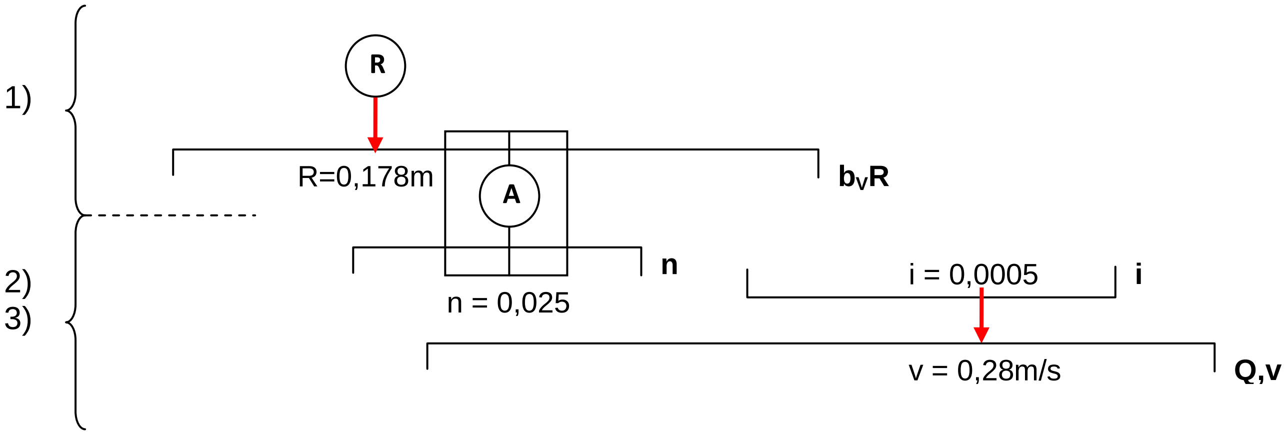
$$v_{Teil} = R_{Teil}^{2/3}\,(1/n)\cdot I_E^{1/2}$$

Ablesung

0) Gegeben: d, δ=h/d, n=1/k_{St} und I_E
1) Hydraulischen Radius gemäß Abschnitt 2.2 bestimmen und unter der Marke "R" (Graphikskala $ß_R$) einstellen
2) Läufer zur Marke „A“ verschieben und n unter dem Läuferstrich einstellen
3) Fließgeschwindigkeit v unter dem Gefälle i ablesen

Ablesebeispiel

d = 0,6m; δ = 0,7; n = 1m$^{1/3}$/$_s$ / k_{St} = 0,025; I = 0,5‰
R_{Teil} = 0,178m (gemäß Abschnitt 2.2) → v = 0,28 m/s



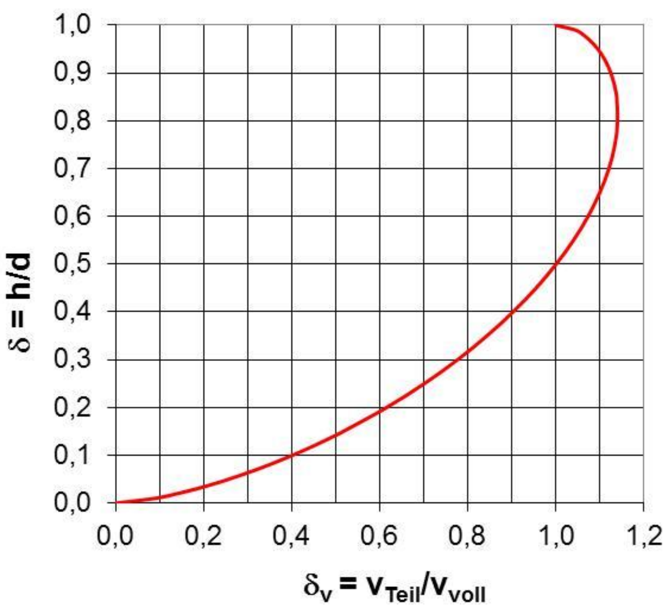
Bemerkung

Die Rechnung erfolgt analog zum Trapezgerinne. In beiden Fällen wird der hydraulische Radius unter der Marke "R" eingestellt.

Üblicherweise wird v_{Teil} mit der Gleichung

$$v_{Teil} = \delta_V\,(1/n)(D/4)^{2/3}\cdot I_E^{1/2}$$

bestimmt. Eine entsprechende Skala sieht dieser jedoch Rechenschieber nicht vor.



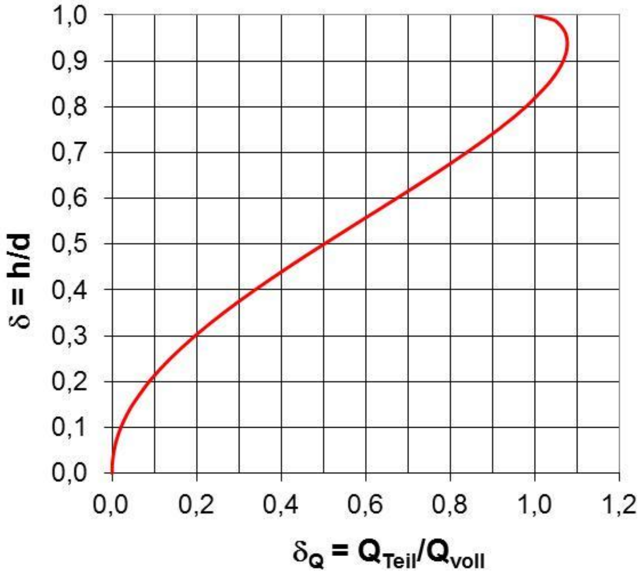
2.4) Kreis - Abfluss

Gleichung

$Q_{Teil} = A_{Teil} \cdot v_{Teil}$ oder = $\delta_Q \cdot Q_{voll}$

Ausbildung der Skalen

$Q_{Teil} = \delta_Q \cdot \pi \cdot d^{8/3} / 4^{5/3} \, (1/n) \cdot I_E^{1/2}$

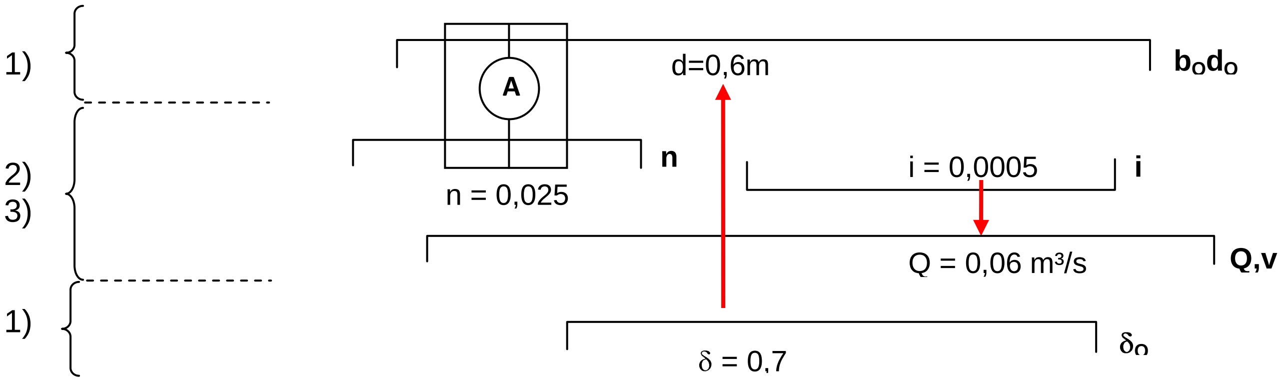


Ablesung

0) Gegeben: d, δ=h/d, n=1/k_{St} und I_E
1) Durchmesser d (Skala $b_Q d_Q$) über dem Teilfüllungsgrad δ (Skala δ_Q) einstellen
2) Läufer zur Marke „A“ verschieben und n unter dem Läuferstrich einstellen
3) Abfluss Q unter dem Gefälle i ablesen.

Ablesebeispiel

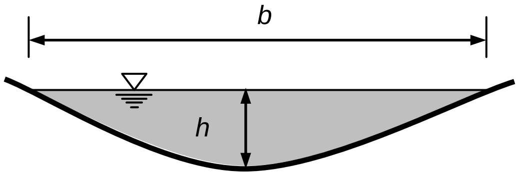
d = 0,6m; δ = 0,7; n = 1m$^{1/3}$/s / k_{St} = 0,025; I = 0,5‰ → Q = 0,06 m³/s



Bemerkung

Üblicherweise wird zunächst Q_{voll} bestimmt und dann mit δ_Q umgerechnet. Die Skalen sind so ausgebildet, dass auch diese Rechenreihenfolge gewählt werden kann. Sie erfordert jedoch einen zusätzlichen Rechenschritt.

3) Parabelquerschnitt



Parabelgleichung: $h = \frac{1}{2p}\left(\frac{b}{2}\right)^2 = \frac{1}{8p} \cdot b^2$

Parabelparameter: $p = \frac{b^2}{8 \cdot h}$

Dieser Wert ist konstant für jedes h und b und beschreibt die Form der Parabel.

3.1) Parabel - Fließquerschnitt

Gleichung

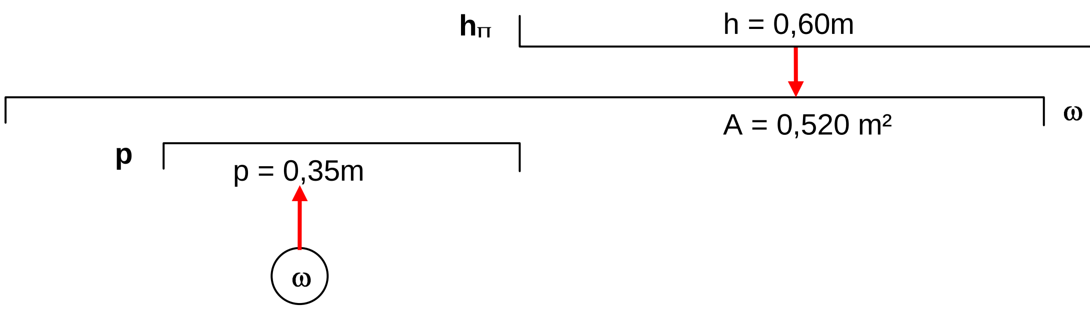
$$A = \frac{4}{3} \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot p \cdot h}$$

Ablesung

0) Gegeben: b, h, p=b²/(8h)
1) Parabelparameter p über der Marke „ω“ (Graphikskala $ß_{\omega}$) einstellen
2) Fläche A auf der Skala ω unter der Fließtiefe h (Skala h_{Π}) ablesen.

Ablesebeispiel

b = 1,30m; h = 0,60m; p=b²/(8h)=0,35 → A = 0,520 m²



3.2) Parabel - Hydraulischer Radius

Gleichung

$$R = 0{,}525 \cdot p^{0,25} \cdot h^{0,75}$$

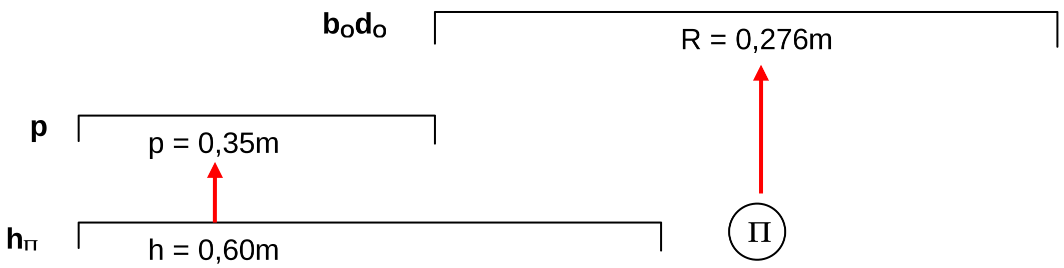
Dies ist eine Näherungsgleichung.

Ablesung

0) Gegeben: b, h, p=b²/(8h)
1) Parabelparameter p (Skala p) über der Fließtiefe (Skala h_Π) einstellen
2) Hydraulischen Radius R auf der Skala $b_Q d_Q$ über der Marke „Π“ ablesen

Ablesebeispiel

b = 1,30m; h = 0,60m; p=b²/(8h)=0,35 → R = 0,276 m



3.3) Parabel - Fließgeschwindigkeit

Der Rechenschieber sieht keine Skalen zur direkten Berechnung der Fließgeschwindigkeit vor. Sie kann wie folgt berechnet werden:

Entweder: $v = R^{2/3} (1/n) \cdot I_E^{1/2}$

unter Benutzung der Skalen für das Druckrohr, wobei der hydraulische Radius gemäß Abschnitt 3.2 bestimmt wird

Oder: v = Q/A

unter Benutzung der allgemeinen Rechenskalen X, wobei der Abfluss nach Abschnitt 3.4 und der Fließquerschnitt nach Abschnitt 3.1 bestimmt wird.

3.4) Parabel - Abfluss

Gleichung

$$Q = A \cdot v = 1{,}227 \cdot h^2 \cdot p^{2/3} \, (1/n) \cdot I_E^{1/2}$$

mit $1{,}227 = \dfrac{4 \cdot \sqrt{2} \cdot 0{,}525^{2/3}}{3}$

Ablesung

0) Gegeben: b, h, $p=b^2/(8h)$, $n=1/k_{St}$ und I_E
1) Parabelparameter p (Skala p) über der Fließtiefe (Skala h_{Π}) einstellen
2) Läufer zur Marke „A" verschieben und n unter dem Läuferstrich einstellen
3) Abfluss Q auf der Skala Q,v unter dem Gefälle i ablesen

Ablesebeispiel

p = 0,35m; h=0,60m; n = $1m^{1/3}/_s$ / k_{St} = 0,025; **I** = 0,5‰ → Q = 0,197 m³/s