VORLESUNG

TECHNISCHE HYDRAULIK

222.564

Übungen

Euler Impulssatz – Bernoulligleichung – Abfluss im offenen Gerinne

1. Beispiel: Euler Impulssatz

Opponitz Kraftwerk , Wien Energie, Austria

Eingangsdaten:

- $\rho = 1000$ [kg m^{-3}]
- $\mu = 1.0 \times 10^{-3}$ [kg m^{-1} s^{-1}]
- $Q = 8$ [m^3 s^{-1}]
- $D = 1$ [m]
- $\Delta h = 115$ [m]
- $\Delta l = 160$ [m]
- Druckrohrleitung aus galvanisierten Stahl: $k_s = 0.15 \times 10^{-3}$ [m]

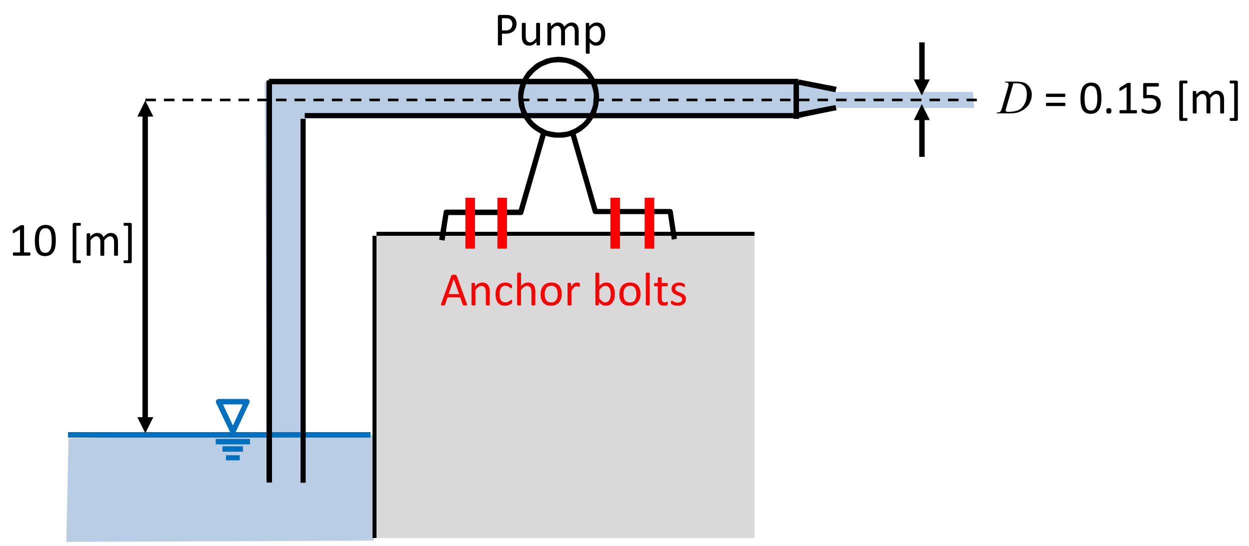
Betrachten wir nochmals die Druckrohrleitung des Kraftwerk Opponitz. Betrachten wir nochmals genau TH_PipeFlow, wo ein Durchfluss von Q = 8 [m^3 s^{-1}] vorhanden ist, durch die teilweise Schließung des Ventiles, welches im Ende der Druckrohrleitung angeordnet ist.

Man stelle sich nur vor, dass die Druckrohrleitung nicht gerade ist, sondern einen Richtungswechsel von 75[°] am Ende aufweist. Angenommen, die letzten 20[m] der Druckrohrleitung, inclusive des Ventiles und dem Krümmer sind eben.

Berechne die Kraft, welche durch den Richtungswechsel des Flusses entsteht. Berechne die Gesamtkraft, den Verlustbeiwert der Kraft, und quer-Anteil der Kraft für 2 Konfigurationen: Erstens für die Krümmung knapp stromaufwärt des Ventils und zweitens umgekehrt. Für welche Konfiguration ist die Kraft kleiner?

Ex 2. Euler Impulserhaltung

Ein horizontaler Strahl wird von einer Pumpe aus einem großem Reservoir generiert. Der Ausfluss des Strahles ist Q = 0.1 [m^3 s^{-1}] und die Strahldruchmesser ist D = 0.15 [m]. Die freie Oberfläche des Reservoirs ist 10[m] unterhalb der Strahlachse angeordnet. Energieverluste können vernachlässigt werden.



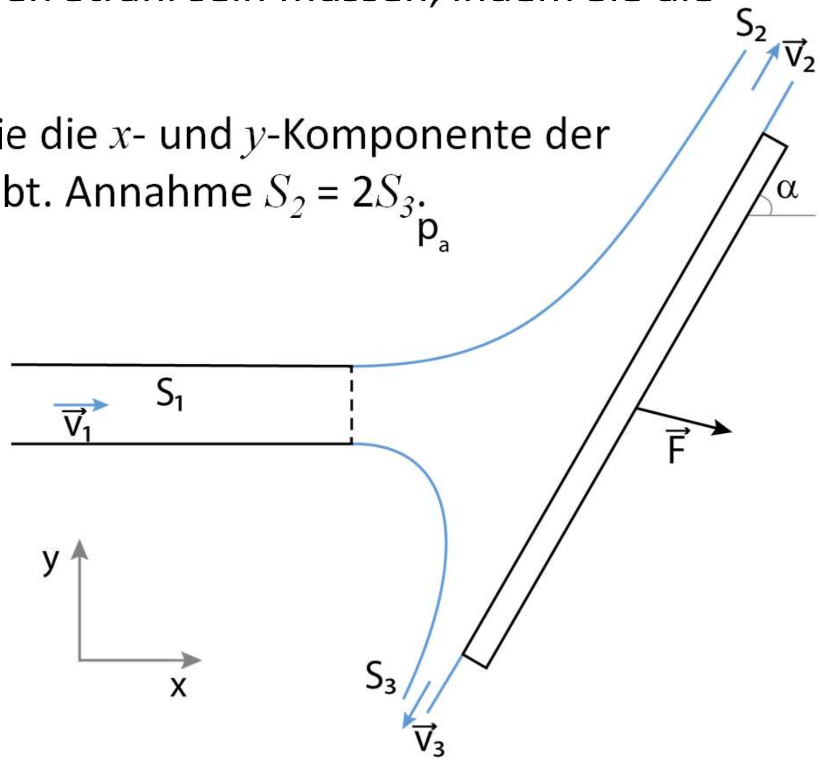
1. Berechne die Energielinienhöhe, induziert durch die Pumpe.
2. Wie viele Bolzen sind notwendig um die Pumpe zu verankern, wenn ein Bolzen eine Scherkraft von 25[N] aufnehmen kann?

Ex 3. Euler Impulssatz

Wasser (ρ = 1000 [kg m^{-3}]) wird aus einem Rohr mit der Querschnittsfläche S_1 = 0.2 [m^2] mit einer Geschwindigkeit von U_1 = 10 [m s^{-1}] gepumpt, bevor es auf eine stationäre Platte trifft die um einen Winkel α = 60 [°] gegenüber dem einströmenden Strahl gekippt ist. Der ankommende Strahl wird in zwei austretende Strahle aufgetrennt. Nehmen Sie an, dass die Einwirkung der Schwerkraft vernachlässigt werden kann. Der Strahl ist bei Atmosphärendruck von Luft umgeben. Die Skizze zeigt die Draufsicht auf den Strahl, der aus dem Rohr austritt und auf die Platte trifft.

1. Beweisen Sie, dass die Größen der ausgehenden Geschwindigkeiten U_2 und U_3 gleich der Größe der Geschwindigkeit U_1 des einströmenden Strahl sein müssen, indem Sie die Bernoulli-Gleichung verwenden.

2. Wähle ein Kontrollvolumen und berechnen Sie die x- und y-Komponente der Gesamtkraft F, die der Strahl auf die Platte ausübt. Annahme $S_2 = 2S_3$.

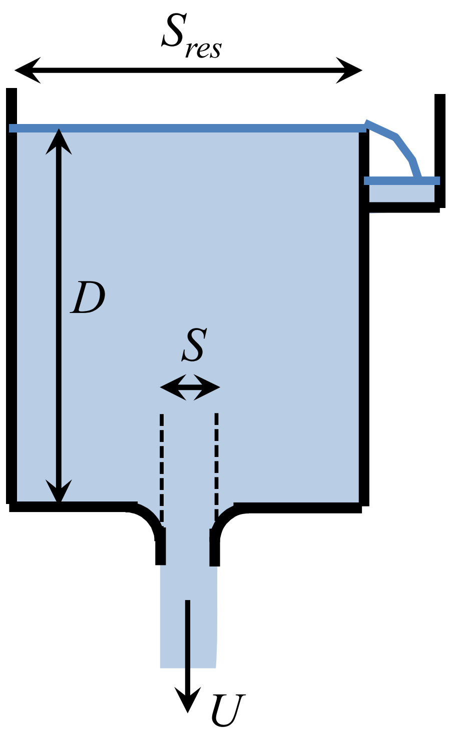


Ex 1. Bernoulli-Gleichung

Wir haben in TH_Introduction die sehr originelle und überraschende Jagdstrategie der Pistolengarnelen diskutiert. Durch schnelles Schließen der Zange erzeugt die Pistolengarnele einen Hochgeschwindigkeitsstrahl, der zur Erzeugung einer Kavitationsblase führt. Der Druckstoß, der durch die nachfolgende Explosion der Kavitationsblase erzeugt wird, tötet die Beute.

Stellen Sie sich vor, dass die Pistolengarnele am Boden eines 0.5 [m] tiefen Aquariums mit Wasser bei 20 [°] gefüllt ist. Ermitteln Sie die Geschwindigkeit des Strahl, den die Pistolengarnele erzeugt.

Ex 2. Bernoulli-Gleichung. Torricellis Formel (1644)



Betrachten wir ein Reservoir mit konstanter Oberfläche S_{res}, das mit einer Flüssigkeit der Dichte ρ [kg m^{-3}] gefüllt ist. Es gibt einen Überlauf um die Flüssigkeit auf einen konstanten Pegel D [m] im Reservoir zu halten. Die Flüssigkeit strömt in Form eines Strahls durch eine Öffnung im Boden der Oberfläche S [m^2] aus dem Reservoir .

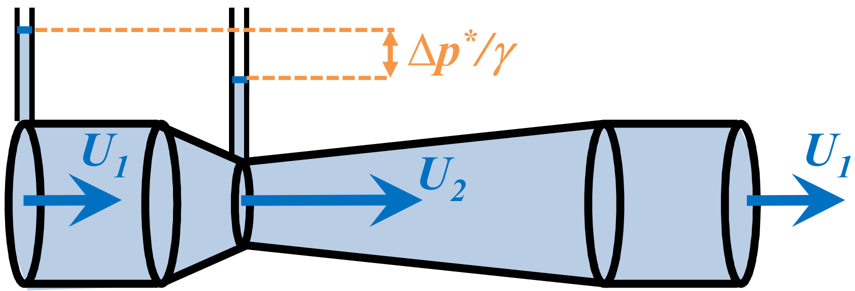
1. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit U [m s^{-1}] im Strahl.
2. Bestimmen Sie den Ausfluss der durch die Bodenöffnung ausströmt.
3. Betrachten Sie nun die Entleerung des Reservoirs. Nehmen Sie an, dass $S << S_{res}$, sodass die Variation der freien Oberfläche im Reservoir sehr langsam ist, und das Problem kann als quasi-stetig angesehen werden. Bestimmen Sie die Zeit, die benötigt wird um das Reservoir zu leeren.

Ex 3. Bernoulli-Gleichung. Das Venturirohr (~1800)

Ein Venturirohr ist ein Rohr das aus einer Kontraktion gefolgt von einer Expansion besteht (Abbildung) Zeigen Sie, dass die Geschwindigkeit und der Durchfluss aus der Druckdifferenz zwischen dem stromaufwärts gelegenen Abschnitt und dem kontrahierten Abschnitt abgeleitet werden können.

Beachte, dass Energieverluste in der konvergierenden Strömung typischerweise vernachlässigbar sind, während sie in divergierenden Strömungen beträchtlich sein können, besonders wenn sich die Strömung von den Wänden und Rezirkulationszonen trennt. Aus diesem Grund ist die Kontraktion von Venturiröhren typischerweise ziemlich abrupt (~20[°]), während die Divergenz typischerweise eher sachte ist (~6[°]).

Venturirohr



Venturirohr am Rumpf eines Flugzeugs für Geschwindigkeitsmessung

Ex 1. Gerinneströmung

Betrachten Sie einen Abschnitt der Donau in der Nähe von Wien.

1. Schematisiere die Geometrie des Flusssystems und bergründe die Schematisierung.

   In der Praxis ist es wichtig, Probleme mit der entsprechenden Komplexität zu behandeln. Welche Komplexität haben Sie zum Beispiel bei der Schematisierung der Flussform? Kann die Querschnittsform durch ein Trapez approximiert werden ? Oder ist der Effekt der Böschungen vernachlässigbar und kann er durch ein Rechteck approximiert werden, was die Berechnungen vereinfacht? Kann die untere Steigung im betrachteten Abschnitt als konstant angenommen werden?

2. Wähle einen Durchfluss Q (z.B. die mittlere jährliche Abflussmenge).

3. Zeichnen Sie die spezifischen Energiekurven für Q.

4. Berechnen Sie die kritische Flusstiefe (D_c) und die entsprechende spezifische Energie ($E_{s,c}$) für dieses Q und geben Sie diese auf der spezifischen Energiekurve an.

5. Machen Sie eine Einschätzung des Reibungskoeffizienten und begründen Sie Ihre Schätzung.

6. Berechnen Sie die normale Flusstiefe (D_n) für Q, und stellen Sie sie auf der spezifischen Energiekurve dar.

7. Definieren Sie das Strömungsregime.

8. Aufgrund von Bauarbeiten muss die Breite auf einer Länge von 500m auf 50m reduziert werden. Berechnen Sie anhand von spezifischen Energiebetrachtungen, die lokale Variation der Höhe der Wasseroberfläche, die sich aus dieser Breitenreduzierung ergibt.

Ex 2. Gerinneströmung

Betrachten Sie den gleichen Abschnitt der Donau wie in Ex 1 und den gleichen Durchfluss. Angenommen der Abschnitt hat eine konstante Geometrie und ist ausreichend lang um normale Strömungsbedingungen herzustellen. Über die gesamte Breite ist eine Schleuse installiert um die Fließtiefe lokal auf 0.5 [m] zu reduzieren.

1. Zeichnen Sie schematisch die Stauwasserkurven vor und hinter der Schleuse. Geben Sie in Ihrem Schema die normale und kritische Flusstiefe an und benennen Sie die Arten der Rückstaukrümmung, die auftreten.

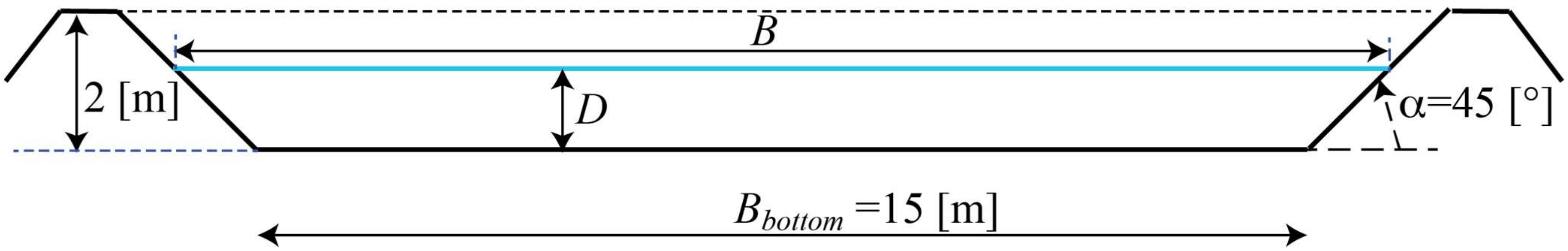
2. Berechnen Sie die Stauwasserkurven vor und hinter der Schleuse.

3. Wenn ein hydraulischer Sprung auftritt, bestimmen Sie dessen konjugierten Tiefen und bestimmen Sie deren Position (Entfernung von der Schleuse). Die Länge des hydraulischen Sprungs kann vernachlässigt werden.

Ex 3. Gerinneströmung

Betrachtet wird ein Gebirgsfluss mit folgenden Eigenschaften:

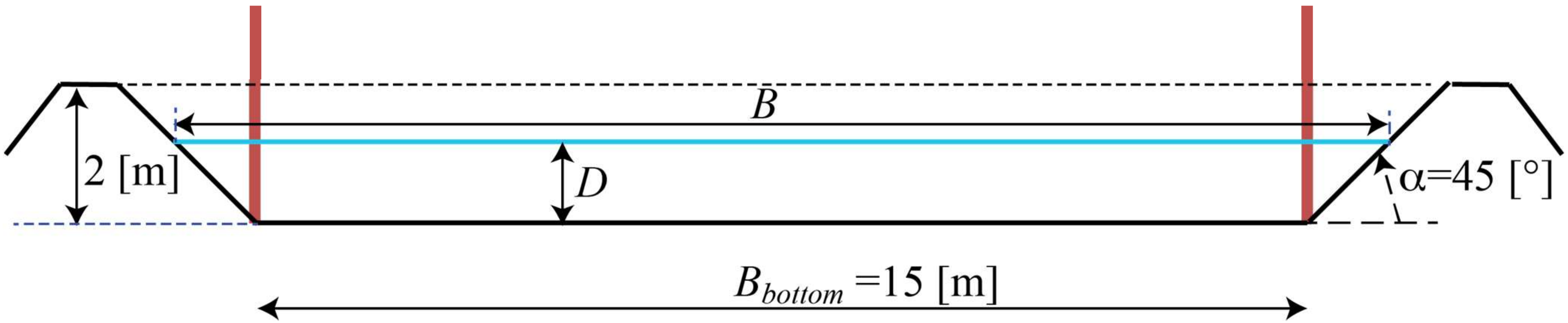
- Eine Bodenlängsneigung von J_f = 0.02.
- Ein trapezförmiger Querschnitt mit einer Bodenbreite von B_{bottom} = 15 [m], Böschungen mit einem Neigungswinkel von α = 45[°], und einer Böschungshöhe von 2 [m] (Abbildung).
- Ein Rauheitskoeffizient nach Manning-Strickler von K_s = 30 [$m^{1/3}$ s^{-1}].



1. Berechne die hydraulische Kapazität des Flusses, die auch als Uferdurchfluss bezeichnet wird. Angenommen, die Strömung ist normal
2. Berechne die normale und kritische Flusstiefen für den Uferdurchfluss.
3. Identifiziere das Strömungsregime.
4. Zeichnen Sie die spezifische Energiekurve für den Uferdurchfluss und zeigen Sie die normalen und kritischen Strömungen an. Betrachten Sie einen Tiefenbereich von 0 bis 6 m zum Zeichnen der Kurve.
5. Berechnen Sie die Bodenschubspannung für den Uferdurchfluss.

Ex 4. Offene Gerinneströmung

Betrachten Sie den gleichen Gebirgsfluss wie in Ex. 3. Aufgrund der Kreuzung einer Autobahnbrücke sind die Ufer örtlich vertikal, aber die Bodenbreite wird auf 15 m gehalten, was zu einer lokalen Einschnürung der Strömung führt (Abbildung).



1. Zeichnen Sie die spezifische Energiekurve in dem eingeschränkten Bereich für den Uferdurchfluss der in Ex 3 ermittelt wurde. Überlagern Sie diese mit der spezifischen Energiekurve aus Ex. 3.
2. Um wie viel müssen die Ufer erhöht werden, um die hydraulische Kapazität aufrecht zu erhalten, d. H. um Überschwemmungen zu vermeiden.
3. Ein hydraulischer Sprung wird stromaufwärts der Einschnürung auftreten. Berechnen Sie die konjugierten Flusstiefen (d. h. Die Flusstiefen unmittelbar stromaufwärts und stromabwärts des hydraulischen Sprungs) und die Energieverluste in dem hydraulischen Sprung.
4. Zeichnen Sie schematisch die Längsprofile des Flussbetts, die Wasseroberfläche und die Energielinie im Bereich stromaufwärts vor der Einschnürung; geben Sie auch die normalen und kritischen Fließtiefen an.
5. Veranschaulichen Sie die Entwicklung der Wassertiefe auf der spezifischen Energiekurve.

Ex 5. Offene Gerinneströmung

Wir haben in TH_OpenChannelFlow_1 gesehen, dass der Durchfluss gemessen werden kann, indem kritische Strömungsbedingungen auferlegt werden. Wir haben das Beispiel der Einführung einer kritischer Strömung mittels einer unteren Stufe behandelt (die relevante Folie ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben).
Entwickeln Sie explizit die Beziehung $Q = Q\,(D_{upstream})$ für ein rechteckiges Gerinne.

Discharge measurements based on relation Q-D_c

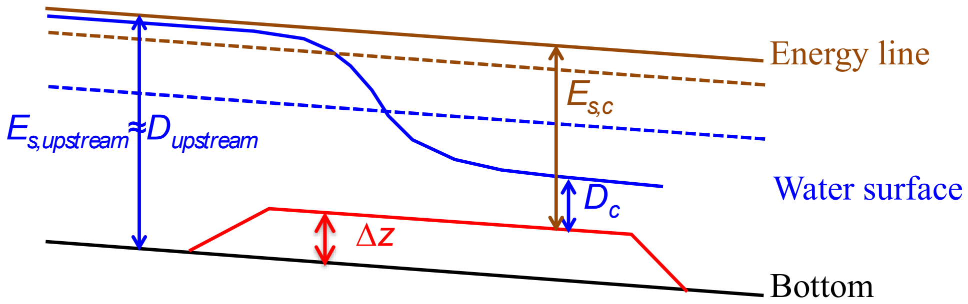
Critical flow:

$D_c = D_c(Q)$ and $Q = Q(D_c)$

$E_{s,c} = E_{s,c}(Q)$ and $Q = Q(E_{s,c})$

$E_{s,c} \approx E_{upstream} - \Delta z \approx D_{upstream} - \Delta z$

$\rightarrow Q = Q(D_{upstream})$



36

Ex 6. Offene Gerinneströmung

Ein Durchfluss von Q = 12 [m^3 s^{-1}] fließt in einem 2 [m] weiten rechteckigen Gerinne. Der Manning-Strickler Rauihgkeitsbeiwert wird mit K_s = 40 [$m^{1/3}$ s^{-1}] angenommen. Das Strömungsregime wird offensichtlich von der Gerinnesteigung abhängen. Bei einer leichten Steigung neigt die Strömung dazu, unterkritisch zu sein, während sie bei einer steilen Steigung eher überkritisch ist. Bestimmen Sie die kritische Steigung, d. h. jene Steigung, die zwischen leicht geneigten (M-Typ Stauwasserkurven) und stark geneigten (S-Typ Stauwasserkurven) Charakterisierungen des Gerinness für den gegebenen Durchfluss unterscheidet.