

1 Allgemeines

1.1 Überblick

PipeCalc2 ist ein Programm zur hydraulischen Berechnung und Dimensionierung von voll- und teilgefüllten Rohrleitungen nach der Formel von *Prandtl-Colebrook*. Das Programm folgt in seinen hydraulischen Grundlagen streng dem Arbeitsblatt DWA-A 110 „Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) in der Ausgabe vom August 2006.

PipeCalc2, die Windows-Version unseres langjährigen DOS-Klassikers PIPECALC, ist als universeller Ersatz für die bekannten Tabellenwerke gedacht und eignet sich wegen seiner einfachen Bedienung besonders für den flexiblen Einsatz, etwa wenn schnell einmal die Dimensionierung einer Drosselstrecke überprüft werden soll. PipeCalc2 kann auch Strömungen in anderen Flüssigkeiten als Wasser berechnen, sodass der Anwendungsbereich nicht nur auf das Abwasserfach beschränkt ist.

PipeCalc2 ist in der Lage, verschieden gestellte Probleme der hydraulischen Berechnung von Kanälen zu lösen. Die an der Berechnung beteiligten Größen können je nach Aufgabenstellung entweder gegeben oder gesucht sein. Welche Größen gegeben oder gesucht sind kann der Anwender in den Pull-down-Boxen rechts von den Eingabefeldern dieser Größen auswählen. Die gegebenen Größen werden im Dialog vom Anwender eingegeben. Das Programm prüft selbsttätig die Lösbarkeit des Problems (richtige Anzahl an Unbekannten) und wählt je nach den gesuchten Größen die entsprechenden Lösungsalgorithmen aus.

Es können verschiedene Querschnittsformen berechnet werden: Kreisrohr, Ei- und Maulprofile nach DIN 4263, Rechteckquerschnitte und Kreisrohre mit eingebauter Trockenwetterrinne.

PipeCalc2 zeigt die gegebenen und gesuchten Größen auf dem Bildschirm zusammen mit weiteren, abgeleiteten Größen an. Zusätzlich erfolgt eine graphische Anzeige des betrachteten Querschnittes mit dem aktuellen Teilfüllungswasserstand. Bei Bedarf kann ein Ausdruck erfolgen.

1.2 Systemanforderungen

PipeCalc2 wurde in der leistungsfähigen Programmiersprache Delphi geschrieben und läuft auf allen modernen Rechnern (Windows 98, ME, 2000, XP) mit Internet Explorer ab Version 4 sowie mit jeder üblichen Grafikkarte. Der erforderliche Festplattenplatz zur Installation ist minimal und beträgt nur ca. 2 MB. Das Programm wird auf einer CD geliefert.

Die Online-Hilfe zu PipeCalc2 ist – bedingt durch eine Sicherheitseinschränkung des Windows-Betriebssystems – nicht auf einem Server lauffähig, deshalb sollte PipeCalc2 stets auf einer lokalen Festplatte installiert werden.

2 Bedienung des Programms


2.1 Der Arbeitsbildschirm



Der Arbeitsbildschirm von PipeCalc2 zeigt eine Liste der zu einem bestimmten Betriebszustand gehörenden hydraulischen Größen. Diese gehören drei Kategorien an:

Blau – alle Eingabegrößen, die als gegeben oder gesucht gewählt werden können

Schwarz – alle anderen Größen, die eingegeben werden können

Violett – alle abgeleiteten Werte, die nicht gesucht sind

Je nach Aufgabenstellung sind unterschiedliche Größen gegeben bzw. gesucht. Sind alle notwendigen Größen eingegeben, kann mit einem Mausklick auf  (bzw. F3) oder über den Menüpunkt „Berechnung“, Option „Berechnung starten“ eine Neuberechnung ausgelöst werden. Das Programm prüft daraufhin zunächst die Plausibilität der Aufgabenstellung, d.h. ob die richtige Anzahl an Größen gesucht ist. Weiterhin werden bei den gegebenen Größen offensichtlich unsinnige Zahlenwerte erkannt und zurückgewiesen. Das Programm wählt daraufhin intern den passenden Lösungsalgorithmus aus und berechnet die gesuchten Werte. Zuletzt werden diese auf dem Bildschirm dargestellt; ebenso die daraus abgeleiteten Größen.

Die Berechnung beurteilt je nach den Ergebnissen auch die Gefahr von Ablagerungen im Kanal. Das Programm unterscheidet hierfür zwischen Regen- und Mischwasser (blau) und Schmutzwasser (braun). Ein Wechsel erfolgt mit Mausklick auf  (bzw. F11) oder  (bzw. F12) oder über den Menüpunkt „Profil“. – Das „normale“ hydraulischen Verhalten, also der Zusammenhang von Abfluss, Geschwindigkeit und Fließtiefe, ist für beide „Wasserarten“ gleich.

Bildschirmelemente

Zum Bedienen des Programms stehen Ihnen die Menüleiste und für häufig vorkommende Aktionen die Symbolleisten „Datei“, „Profil“ und „Hilfe“ zur Verfügung. Natürlich können Sie auch die zugeordneten Funktionstasten verwenden.

Zuoberst erscheinen Textfelder, in denen die Projektdaten, wie Projektname, -nummer, die Projektvariante und der Bearbeiter eingegeben werden können. Weiterhin können Sie durch Mausklick auf die Kommentar-Leiste einen Kommentartext eingeben, der ebenso wie die Projektdaten auf dem Ausdruck des Projektes erscheint.

Rechts oben zeigt PipeCalc2 eine Graphik der gewählten Profilart. In ihr wird die Höhe der Teilfüllung optisch maßstäblich dargestellt (je nach „Wasserart“ blau für Regen- und Mischwasser oder braun für Schmutzwasser).

Links neben der Graphik befinden sich die Grunddaten, also Größen, die für Teil- wie Vollfüllung in gleicher Weise maßgebend sind, wie das Energieliniengefälle J_E , die Rauheit k_b und die Querschnittsabmessungen. Zur besseren Sichtbarkeit auch bei geringer Bildschirmauflösung werden die Indizes auf dem Bildschirm nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 (2003) mit tief gesetztem Bindestrich dargestellt, also z.B. das Energieliniengefälle J_E als J_E und die Rauheit k_b als k_b .

Der Bildschirm ist im unteren Bereich zweigeteilt: Links sind die Größen des Betriebszustandes Vollfüllung aufgelistet, während rechts die Größen der Teilfüllung stehen. Darunter liegt die Meldungs-Box, in der Warnungen und Hinweise erscheinen. Ist die Anzahl der Meldungen sehr groß, erscheint auf der rechten Seite der Meldungsbox ein kleiner Balken zum Blättern nach oben oder unten. Auch die Meldungen erscheinen auf dem Ausdruck des Projekts.

PipeCalc2 [D-05-12345 Demo-Projekt.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Projekt Projektnummer: D-05-12345

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann Kommentar

Grunddaten

Profilart: Kreisprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Rohrinnendurchmesser d 1000 mm gegeben

Betriebliche Rauheit k_b 1,5 mm gegeben

Energieliniengefälle J_E 1 Promille gegeben

Kinematische Zähigkeit ν 1,31E-6 m^2/s

Dichte des Fluids ρ 1000 kg/m^3

Vollfüllung

Profilhöhe h_{Pr} 1000 mm

Durchfluss Q_v 741,21 l/s gesucht

Fließgeschwindigkeit v_v 0,94374 m/s

Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$ 0,045395 m

Widerstandsbeiwert λ 0,022029

Fließquerschnitt A 0,7854 m^2

Hydraulischer Radius r_{hy} 0,25 m

Schubspannung τ 2,4525 N/m^2

Reynoldszahl Re 7,2041E5 (turbulent)

Froude-Zahl kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t 300 mm gegeben

Q_t 147,47 l/s gesucht

v_t 0,74416 m/s

$v^2/2g$ 0,028225 m

λ 0,024225

A 0,19817 m^2

r_{hy} 0,17094 m

τ 1,6769 N/m^2

Re 3,8842E5 (turbulent)

Fr 0,51096 (strömend)

Meldungen

- Die Wandschubspannung bei Teilfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 2,1661 N/m^2 für Regen- und Mischwasser.
- Die Wandschubspannung bei Vollfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 3,7105 N/m^2 für Regen- und Mischwasser.
- Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung unterschreitet die Mindestgeschwindigkeit $v_{min} = 0,87 m/s$! Es besteht die Gefahr bleibender Ablagerungen!

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006











Bild 1: Der PipeCalc2-Bildschirm

Hier eine kurze Beschreibung der Symbolleisten:

Symbolleiste Datei

Öffnen		(bzw. STRG+O)
Speichern		(bzw. STRG+S)
Drucken		(bzw. STRG+P)

Symbolleiste Profil

Berechnung starten		(bzw. F3)
Grenztiefe suchen		(bzw. F4)
Kreis		(bzw. F5)
Ei		(bzw. F6)
Maul		(bzw. F7)
Rinnenprofil		(bzw. F8)
Quadrat		(bzw. F9)
Rechteck		(bzw. F10)
Regen- und Mischwasser		(bzw. F11)
Schmutzwasser		(bzw. F12)

Hilfe		(bzw. F1)
-------	---	-----------

Jede Aktion ist auch über die Menüleiste möglich.


PipeCalc2 startet mit der Sprache, die beim letzten Verlassen von PipeCalc2 verwendet wurde.

2.2 Gegeben und gesucht...

Die Berechnungsroutine des Programms arbeitet in der Weise, dass zunächst die vollgefüllte Rohrleitung berechnet wird und anschließend die Teilfüllungsberechnung "angehängt" wird. Bei der **Vollfüllungsberechnung** korrespondieren beim Kreisrohr die Parameter Rohrrinnendurchmesser d , Durchfluss bei Vollfüllung Q_v , Energieliniengefälle J_E , und Rauheit k_b , während zusätzlich noch die kinematische Zähigkeit ν und die Dichte des Fluids ρ bekannt sein muss. Damit das Problem lösbar ist, muss genau eine der ersten vier genannten Größen unbekannt sein. Diese Bedingung wird vom Programm überprüft.

In einem zweiten Schritt folgt nun auf die Vollfüllungsberechnung die Ermittlung des **Teilfüllungszustandes**. Hierbei geht es um die zusätzlichen Größen Wassertiefe bei Teilfüllung h_t und Durchfluss bei Teilfüllung Q_t . Auch von diesen beiden Größen darf nur genau eine gesucht sein. Die Regel ist also: **Genau zwei Größen dürfen gesucht sein, davon eine für die Vollfüllung und eine für die Teilfüllung**. Alles andere muss bekannt sein, sonst ist das Problem nicht lösbar (mehr Unbekannte als Gleichungen).

Eine **Ausnahme** von dieser Regel bildet der Fall, dass für die Teilfüllung Wassertiefe h_t und Durchfluss Q_t bekannt sind und das Energieliniengefälle J_E und gleichzeitig der Durchfluss bei Vollfüllung Q_v gesucht sind. In der Praxis kommt das z.B. vor, wenn eine Aussage über die Schleppkräfte oder über die Fließgeschwindigkeiten in einem eingestauten Stauraumkanal gefordert ist – das Energieliniengefälle ist in einem solchen Fall in aller Regel viel kleiner als das tatsächliche Sohlgefälle des Kanals! PipeCalc2 kann auch diesen Fall berechnen.

Ein gesonderter Berechnungsmodus ermittelt die Grenz- oder kritische Tiefe h_{Gr} , die für viele hydraulische Fragestellungen wichtig ist. Diese Funktion wird mit dem Button „Grenztiefe suchen“  (bzw. F4) aktiviert. Der Abfluss Q_t , für den die Grenztiefe zu berechnen ist, ist gegeben (Teilfüllung). PipeCalc2 sucht dann automatisch nach der Füllhöhe h_t – das ist die Grenztiefe h_{Gr} – und dem Energieliniengefälle J_E , und zwar so, dass die Froude-Zahl Fr den Wert 1 annimmt. Schließlich wird auch der für dieses Energieliniengefälle gültige Durchfluss bei Vollfüllung Q_v berechnet. Hier sind also

insgesamt drei Größen unbekannt. – Die Änderung einer Größe von 'gesucht' nach 'gegeben' oder umgekehrt ist in diesem Modus nicht möglich.

Eine graphische Darstellung auf dem Bildschirm zeigt anschaulich den aktuellen Füllungsgrad des Querschnittes. Man kann daran mit einem Blick sehen, ob das Rohr zuzuschlagen droht oder ob es noch Reserven hat.

2.3 Verschiedene Profilformen

Bei vorgegebenem Querschnitt kann dieser auf drei Arten ausgewählt werden: im Menüpunkt „Profil“, mit Funktionstasten oder in der Symbolleiste.

Neben dem Kreisrohr gestattet PipeCalc2 auch die hydraulische Berechnung von Profilen anderer Querschnitte. Eingebaut sind Routinen für Ei- und Maulprofile nach DIN 4263, für Rechteckquerschnitte mit variablem Seitenverhältnis, für Quadratquerschnitte sowie für Rinnenprofile (Kreisrohre mit eingebauter Trockenwetterrinne). Bei letzterem Profil lassen sich der Durchmesser d_{HS} und die Wandstärke t_{HS} der Halbschale (Trockenwetterrinne) ebenso wie die Bermenneigung sowie natürlich der Rohrrinnendurchmesser d des Hauptrohres variieren. Als gesuchte Größe kann allerdings nur d gewählt werden.

Die Profile von Ei und Maul nach DIN 4263 sind jeweils zueinander geometrisch ähnlich und werden durch die Angabe einer einzigen Abmessung, etwa der Profilbreite, eindeutig bestimmt.

Wird statt „Breite“ das „Eiprofil nach DIN 4263“ vorgegeben, so können in der Pulldown-Box genormte Eiprofilgrößen gewählt werden. Stattdessen ist aber für Zwischengrößen auch eine freie Eingabe der Breite möglich.

Ist der Eiquerschnitt gesucht, wird PipeCalc2 in aller Regel ein "krummes" Maß liefern. Man wählt dann den nächstgrößeren Querschnitt.

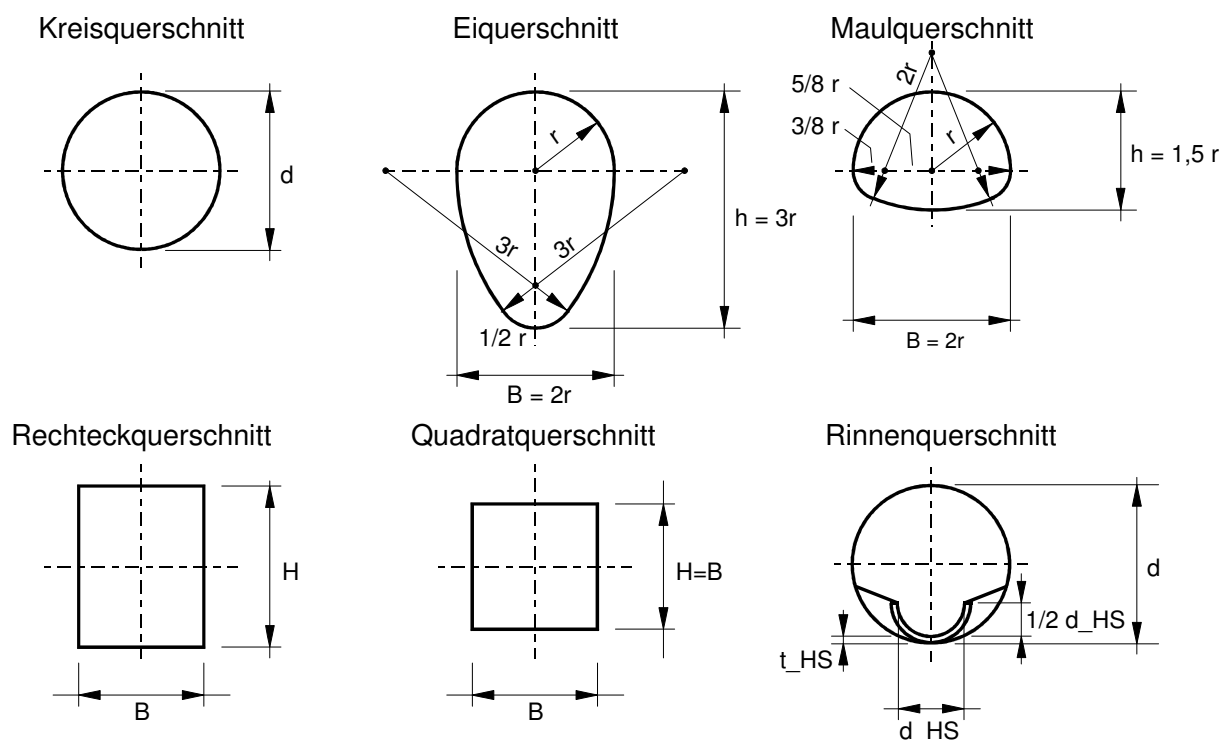


Bild 2: Diese Profilformen sind in PipeCalc2 berechenbar.

2.4 Briefkopf erstellen

Die PipeCalc2-Berechnungsergebnisse lassen sich natürlich auch in übersichtlicher Form auf Papier ausdrucken.

Es kann ein individueller Briefkopf erstellt und mit der Adresse und dem Logo des Anwenders versehen werden. Hierzu bietet PipeCalc2 mit dem Briefkopf-Editor eine komfortable Funktion.

Direkt nach der Installation liegt noch kein Briefkopf vor. Sie können sich einen individuellen Briefkopf mit Ihrer Firmenanschrift und Ihrem graphischen Logo erstellen, indem Sie im Menüpunkt „Ansicht“, die Option „Briefkopf editieren“ wählen.

Wenn Sie das Projekt drucken möchten, aber noch kein Briefkopf vorliegt, werden Sie gefragt, ob Sie einen Briefkopf erstellen möchten. Falls nein, erfolgt der Ausdruck ohne Briefkopf. Wählen Sie ja, öffnet sich der Briefkopf-Editor zum Erstellen eines Briefkopfes.

Hier können Sie aus Textbausteinen und Bildern selbst einen Briefkopf entwerfen.

Im Menüpunkt „Bearbeiten“ kann ein neues Text- oder Bildelement gewählt werden. Es erscheint links oben und wird mit der Maus am gewünschten Ort platziert. Durch Doppelclick erscheinen gleich die „Eigenschaften“, durch Drücken der rechten Maustaste öffnet sich ein Kontextmenü, in dem Sie „Eigenschaften“ oder „Löschen“ wählen können. In den „Eigenschaften“ kann u. a. die Position festgelegt werden.

Weiterhin kann für das Textelement bei „Eigenschaften“ der gewünschte Text eingegeben und formatiert werden.

Beim Erzeugen eines Bildelements öffnet sich ein Dialog zum Laden eines Bildes aus einer Graphikdatei in verschiedenen gebräuchlichen Formaten (*.JPG, *.BMP, *.ICO, *.EMF, *.WMF). Über „Eigenschaften“ im Kontextmenü kann neben der Position auch Höhe und Breite definiert werden. Große Bilder werden in reduzierter Größe angezeigt.

Bei gedrückter Strg-Taste können durch Mausclick mehrere Text- bzw. Bildelemente gemeinsam markiert werden. Auf diese Art können deren „Eigenschaften“ zusammen geändert werden.

Über den Menüpunkt „Neu“ können mehrere Briefköpfe erstellt werden. Speichern Sie die Briefköpfe (sie erhalten die Endung .fbk) in einem beliebigen Verzeichnis (z.B. direkt im Programmverzeichnis von PipeCalc2 oder in einem Unterverzeichnis „Briefkopf“), so dass sie für alle weiteren Aufrufe von PipeCalc2 zur Verfügung stehen. Der Briefkopf und alle im Briefkopf vorkommenden Bilder werden als separate Dateien abgespeichert.

Durch Doppelclick auf eine vorhandene Briefkopfdatei *.fbk wird der Briefkopfeditor geöffnet und der Briefkopf kann sofort bearbeitet werden.

2.5 Abspeichern der aktuellen Werte

Die aktuellen Berechnungsdaten können jederzeit in einer Datei mit wählbarem Namen und der automatisch vergebenen Endung .f941 abgespeichert werden und auch wieder aus einer solchen Datei geladen werden. Das Öffnen einer solchen Projektdatei ist auch durch Doppelclick auf den Dateinamen im Windows-Explorer möglich.

Beim Schließen einer Projektdatei, beim Öffnen einer neuen Projektdatei sowie beim Beenden von PipeCalc2 wird stets gefragt, ob Sie Ihre Änderungen speichern möchten.

2.6 Anwendungsbeispiele

Am schnellsten lässt sich die Handhabung des Programms anhand einiger Beispiele verdeutlichen. Bitte beachten Sie, dass auf dem Bildschirm die Symbole mit tiefgestelltem Bindestrich erscheinen, also z.B. J_E statt J_E.

Im Allgemeinen kann der Innendurchmesser d eines Rohres gleich der Nennweite DN gesetzt werden. Für die hydraulischen Verluste ist jedoch d eine sehr empfindliche Größe. Bei verschiedenen Kunststoff- und Gussrohren weicht der tatsächliche Innendurchmesser von der angegebenen Nennweite ab. Für genaue Berechnungen ist daher statt der Nennweite DN der tatsächliche Innendurchmesser d anzusetzen.

In den folgenden Beispielen wird stets „Regen- und Mischwasser“ angesetzt.

Beispiel 1.

Gegeben sei eine Kanalstrecke mit dem Rohrinne Durchmesser $d = 400$ mm, die in einem Sohlengefälle von $J_{So} = 15$ Promille verlegt ist. Es handelt sich um einen Sammler mit gewöhnlichen Schächten ($k_b = 1,5$ mm ist anzusetzen).

- Wie groß ist der aufnehmbare Durchfluss Q_v (auf dem Bildschirm Q_v) bei Vollfüllung?
- Wie groß ist der Wasserstand h_t bei Teilfüllung, wenn ein Abfluss von $Q_t = 50$ l/s abgeführt werden soll?

Lösung:


Zunächst bitte das Kreisrohr als Profil auswählen:

In der Symbolleiste ein Mausklick auf das Kreisprofil  (bzw. Funktionstaste F5) oder im Menüpunkt „Profil“ die Option „Kreis“ wählen.

Als nächstes wird für die gesuchten Größen Durchfluss bei Vollfüllung Q_v sowie Wassertiefe bei Teilfüllung h_t in den Pulldown-Boxen rechts neben Q_v und h_t einfach „gesucht“ gewählt.

Alle anderen Eingabegrößen müssen nun ebenso in den rechts neben ihnen liegenden Pulldown-Boxen als „gegeben“ gewählt werden.

Nun werden alle gegebenen Größen in die betreffenden Felder eingetragen, wobei auf die korrekte Einheit zu achten ist. Hier sind das die Angaben $d = 400$ mm, $k_b = 1,5$ mm und $J_E = 15$ ‰ für die Vollfüllung (beim hier berechneten Normalabfluss ist das Energieliniengefälle J_E gleich dem Sohlengefälle $J_{So} = 15$ ‰). Weiterhin müssen $\rho = 1000$ kg/m³ sowie $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$ m²/s vorgegeben werden (Menüpunkt „Berechnung“, Option „Standardwerte wiederherstellen“), sofern die betreffenden Felder nicht bereits diesen Inhalt haben. Für die Teilfüllung ist der Durchfluss $Q_t = 50$ l/s bekannt und wird eingetragen.


Schließlich wird durch Mausklick auf das Berechnungssymbol  bzw. mit der Funktionstaste F3 oder über den Menüpunkt „Berechnen“, Option „Berechnung starten“ die Berechnung ausgelöst.

Der Bildschirm sieht dann etwa aus wie in Bild 3. Wir lesen die beiden gesuchten Größen ab:

a) $Q_v = 257,4$ l/s

b) $h_t = 118,5$ mm

Zudem können auch weitere interessierende Größen abgelesen werden, etwa die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung $v_t = 1,60$ m/s oder die Froude-Zahl bei Teilfüllung $Fr = 1,75$ - die Strömung ist offenbar schießend.

Soll der Bildschirminhalt ausgedruckt werden, einfach ein Mausklick auf das Druckersymbol  bzw. im Menüpunkt „Datei“ die Druckoption wählen oder den Shortcut STRG + P betätigen.

PipeCalc2 [D-05-23456 Demo-Beispiel 1.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Beispiel 1 Projektnummer: D-05-23456

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann Kommentar

Grunddaten

Profilart: Kreisprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Rohrinnendurchmesser d: 400 mm gegeben

Betriebliche Rauheit k_b: 1,5 mm gegeben

Energieliniengefälle J_E: 15 Promille gegeben

Kinematische Zähigkeit v: 1,31E-6 m²/s

Dichte des Fluids ρ: 1000 kg/m³

Vollfüllung

Profilhöhe h_{Pr}: 400 mm

Durchfluss Q_v: 257,42 l/s gesucht

Fließgeschwindigkeit v_v: 2,0484 m/s

Geschwindigkeitshöhe v²/2g: 0,21387 m

Widerstandsbeiwert λ: 0,028054

Fließquerschnitt A: 0,12566 m²

Hydraulischer Radius r_{hy}: 0,1 m

Schubspannung τ: 14,715 N/m²

Reynoldszahl Re: 6,2548E5 (turbulent)

Froude-Zahl Fr: kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t: 118,5 mm gesucht

Q_t: 50 l/s gegeben

v_t: 1,6048 m/s

v²/2g: 0,13126 m

λ: 0,030932

A: 0,031157 m²

r_{hy}: 0,067669 m

τ: 9,9576 N/m²

Re: 3,3159E5 (turbulent)

Fr: 1,7544 (schießend)

Meldungen

- Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung ist größer als die Mindestgeschwindigkeit v_{min} = 0,48 m/s. Es besteht keine Ablagerungsgefahr.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 3: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 1

Beispiel 2.

Ein Kanalrohr ($k_b = 1,5 \text{ mm}$) soll mit einem Gefälle $J_E = 2 \text{ Promille}$ verlegt werden. Es ist so zu dimensionieren, dass bei Vollfüllung ein Durchfluss von $Q_v = 360 \text{ l/s}$ abgeführt werden kann.

Zusatzfrage: Es sei ein minimaler Trockenwetterabfluss bei Teilfüllung von $Q_t = 10 \text{ l/s}$ gegeben. Besteht dabei die Gefahr von Ablagerungen?

Lösung:

Zunächst zum **ersten Teil** dieser Aufgabenstellung:

Die gesuchte Größe ist hier nur der Rohrrinnendurchmesser d , da vorerst keine Teilfüllungsberechnung gefordert ist. Wir müssen dennoch bei der Teilfüllung eine Größe als gesucht kennzeichnen, etwa die Teilfüllungswassertiefe h_t , da PipeCalc2 sonst protestiert - das Programm verlangt hier nun einmal genau zwei gesuchte Größen. Die andere Teilfüllungsgröße muss also zusätzlich angegeben werden, was aber z.B. als $Q_t = 0$ geschehen kann. Nachdem der Rohrrinnendurchmesser d als gesucht gekennzeichnet ist und die Größen $Q_v = 360 \text{ l/s}$, $J_E = 2 \text{ ‰}$ und $k_b = 1,5 \text{ mm}$ eingesetzt sind, wird die Berechnung ausgelöst; sie liefert einen erforderlichen Rohrrinnendurchmesser von $d = 666 \text{ mm}$. Die ebenfalls als gesucht gekennzeichnete Teilfüllungstiefe h_t ergibt sich dann natürlich zu $h_t = 0$.

The screenshot shows the PipeCalc2 software interface with the following data:

Projekt			
Projektname:	Demo-Beispiel 2a	Projektnummer:	D-05-34567a
Projektvariante:	1.0		
Bearbeiter:	Martin Mustermann	Kommentar:	

Grunddaten			
Profilart	Kreisprofil		
Betriebsart	Regen- und Mischwasser		
Rohrrinnendurchmesser	d	666,06 mm	gesucht
Betriebliche Rauheit	k_b	1,5 mm	gegeben
Energieliniengefälle	J_E	2 Promille	gegeben
Kinematische Zähigkeit	ν	1,31E-6 m ² /s	
Dichte des Fluids	ρ	1000 kg/m ³	

Vollfüllung			
Profilhöhe	h_{Pr}	666,06 mm	
Durchfluss	Q_v	360 l/s	gegeben
Fließgeschwindigkeit	v_v	1,0332 m/s	
Geschwindigkeitshöhe	$v^2/2g$	0,05441 m	
Widerstandsbeiwert	λ	0,024483	
Fließquerschnitt	A	0,34843 m ²	
Hydraulischer Radius	r_{hy}	0,16651 m	
Schubspannung	τ	3,267 N/m ²	
Reynolds-Zahl	Re	5,2533E5 (turbulent)	
Froude-Zahl	Fr	kann für Vollfüllung nicht angegeben werden	

Teilfüllung			
h_t	0 mm	gesucht	
Q_t	0 l/s	gegeben	
v_t	0 m/s		
$v^2/2g$	0 m		
λ	0		
A	0 m ²		
r_{hy}	0 m		
τ	0 N/m ²		
Re	0		
Fr	0		

Meldungen

- Die Wandschubspannung bei Teilfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 1 N/m² für Regen- und Mischwasser.
- Die Mindestgeschwindigkeit kann wegen zu geringer Teilfüllung nicht angegeben werden.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 4: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 2, Teil 1a

Ein Rohr dieser Nennweite, $d = 666 \text{ mm}$, findet sich in keinem Herstellerkatalog; wir wählen daher den nächst größeren gängigen Rohrrinnendurchmesser $d = 700 \text{ mm}$ und untersuchen im nächsten Schritt, wie in diesem Rohr die geforderten $Q_t = 360 \text{ l/s}$ als Teilfüllung abgeführt werden können: d wird nun als gegeben gekennzeichnet und der Wert $d = 700 \text{ mm}$ eingegeben. Jetzt ist jedoch Q_v als gesucht zu kennzeichnen - diesen Abfluss könnte das Rohr mit $d = 700 \text{ mm}$ maximal abführen. Als Durchfluss

wird bei der Teilfüllung $Q_t = 360$ l/s eingetragen; der Wasserstand h_t ist bereits als gesucht markiert. Neuberechnung liefert folgende Werte:

- a) $h_t = 511$ mm
- b) $Q_v = 410$ l/s.

PipeCalc2 [D-05-34567b Demo-Beispiel 2b.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Beispiel 2b Projektnummer: D-05-34567b

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann

Grunddaten

Profilart: Kreisprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Rohrinnendurchmesser: d 700 mm gegeben

Betriebliche Rauheit: k_b 1,5 mm gegeben

Energieliniengefälle: J_E 2 Promille gegeben

Kinematische Zähigkeit: ν 1,31E-6 m^2/s

Dichte des Fluids: ρ 1000 kg/m^3

Vollfüllung

Profilhöhe: h_{Pr} 700 mm

Durchfluss: Q_v 410,45 l/s gesucht

Fließgeschwindigkeit: v_v 1,0665 m/s

Geschwindigkeitshöhe: $v^2/2g$ 0,057976 m

Widerstandsbeiwert: λ 0,024148

Fließquerschnitt: A 0,38485 m^2

Hydraulischer Radius: r_{hy} 0,175 m

Schubspannung: τ 3,4335 N/m^2

Reynolds-Zahl: Re 5,699E5 (turbulent)

Froude-Zahl: kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t 511,39 mm gesucht

Q_t 360 l/s gegeben

v_t 1,195 m/s

$v^2/2g$ 0,072784 m

λ 0,023074

A 0,30126 m^2

r_{hy} 0,20993 m

τ 4,1188 N/m^2

Re 7,66E5 (turbulent)

Fr 0,54785 (strömend)

Meldungen

- Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung ist größer als die Mindestgeschwindigkeit $v_{min} = 0,86$ m/s. Es besteht keine Ablagerungsgefahr.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 5: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 2, Teil 1b

Zur Zusatzfrage:

Wir geben für den Teilfüllungsabfluss $Q_t = 10$ l/s ein und lösen eine erneute Berechnung aus - es sind ja noch dieselben Größen gegeben oder gesucht. Es ergibt sich ein Wasserstand von $h_t = 73,386$ mm und eine Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung $v_t = 0,46585$ m/s. Zur Beurteilung der Ablagerungsgefährdung bei diesem Trockenwetterabfluss nach dem Kriterium von Macke lesen wir unten bei den Meldungen die Warnung:

„Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung unterschreitet die Mindestgeschwindigkeit $v_{min} = 0,48$ m/s! Es besteht die Gefahr bleibender Ablagerungen!“

PipeCalc2 [D-05-34567c Demo-Beispiel 2c.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Beispiel 2c Projektnummer: D-05-34567c

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann Kommentar

Grunddaten

Profilart: Kreisprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Rohrinnendurchmesser d 700 mm gegeben

Betriebliche Rauheit k_b 1,5 mm gegeben

Energieliniengefälle J_E 2 Promille gegeben

Kinematische Zähigkeit ν 1,31E-6 m²/s

Dichte des Fluids ρ 1000 kg/m³

Vollfüllung

Profilhöhe h_{Pr} 700 mm

Durchfluss Q_v 410,45 l/s gesucht

Fließgeschwindigkeit v_v 1,0665 m/s

Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$ 0,057976 m

Widerstandsbeiwert λ 0,024148

Fließquerschnitt A 0,38485 m²

Hydraulischer Radius r_{hy} 0,175 m

Schubspannung τ 3,4335 N/m²

Reynoldszahl Re 5,699E5 (turbulent)

Froude-Zahl kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t 73,386 mm gesucht

Q_t 10 l/s gegeben

v_t 0,46585 m/s

$v^2/2g$ 0,011061 m

λ 0,033634

A 0,021466 m²

r_{hy} 0,046502 m

τ 0,91237 N/m²

Re 66146 (turbulent)

Fr 0,66481 (strömend)

Meldungen


- Die Wandschubspannung bei Teilfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 1 N/m² für Regen- und Mischwasser.
- Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung unterschreitet die Mindestgeschwindigkeit $v_{min} = 0,48$ m/s! Es besteht die Gefahr bleibender Ablagerungen!

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 6: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 2 (Zusatzfrage)

Beispiel 3.

Ein Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung bestehe aus einem Eiprofil 1400/2100 und sei in einem Sohlengefälle von $J_{So} = 1$ ‰ verlegt. Die Drossel führt bei Volleinstau einen Abfluss von $Q_t = 85$ l/s ab, der Wasserstand im Eiprofil beträgt dabei (in Teilfüllung) $h_t = 1,90$ m. Der Beckenüberlauf springt dabei gerade noch nicht an. Wie groß ist die im Stauraumkanal herrschende Fließgeschwindigkeit v_t und die Wandschubspannung τ ?

Wir wählen zunächst im Menüpunkt „Profil“ die Option „Ei“ (bzw. Funktionstaste F6) oder auch mit einem Mausklick das Eiprofil  in der Symbolleiste.

Die Profilabmessungen werden als gegeben gekennzeichnet. Hier können in einer Pulldown-Box „Eiprofil nach DIN 4263“ oder „Profilbreite“ gewählt werden. Ist die „Profilbreite“ gewählt, so geben Sie bitte $b_{Pr} = 1400$ mm ein. Bei „Eiprofil nach DIN 4263“ wählen Sie bitte das Normprofil 1400/2100 in der Pulldown-Box rechts daneben. Weiterhin sind beide Teilfüllungsgrößen $Q_t = 85$ l/s und $h_t = 1900$ mm gegeben. Die Rauheit sei wiederum mit $k_b = 1,5$ mm angesetzt. Bei dieser Fragestellung müssen Q_v und J_E gesucht sein; andere Kombinationen gesuchter Vollfüllungsgrößen werden hier nicht akzeptiert.

Die Neuberechnung liefert die Geschwindigkeit $v_t = 0,04$ m/s und die Schubspannung $\tau = 0,0047$ N/m². Das Energieliniengefälle beträgt nur $J_E = 0,001$ ‰ und hat in einem solchen Fall mit dem tatsächlichen, viel größeren Sohlengefälle $J_{So} = 1$ ‰ des Stauraumkanals nichts zu tun, weil kein Normalabfluss herrscht. – Der Vollfüllungsdurchfluss Q_v ist mehr von hypothetischem Interesse; er gibt die

Wassermenge an, die bei diesem sehr kleinen Energieliniengefälle bei Vollfüllung abgeführt werden könnte.

Die kritische Geschwindigkeit nach *Macke* kann für das Eiprofil nicht angegeben werden. Zur Beurteilung der Ablagerungsgefährdung kann man aber bei allen Profilformen auf die diesem Kriterium ursprünglich zu Grunde liegenden Gleichungen zurückgreifen. Nach ATV-A 110 sollte die Sohlschubspannung zur Vermeidung von Ablagerungen unabhängig von der Profilgestalt und -größe (also auch für Teil- wie für Vollfüllung) einen Mindestwert τ_{min} überschreiten:

$$\tau_{min} = 4,1 Q^{1/3} \text{ für Regen- und Mischwasserkanäle bzw.}$$

$$\tau_{min} = 3,4 Q^{1/3} \text{ für Schmutzwasserkanäle,}$$

wobei je nach Aufgabenstellung $Q = Q_t$ oder Q_v sein kann, jeweils in m^3/s . Außerdem muss eine generelle Mindestschubspannung von $\tau_{min} = 1,0 \text{ N/m}^2$ eingehalten sein.

Ergebnis: Der berechnete Wert von $\tau = 0,0047 \text{ N/m}^2$ ist etwa 200mal kleiner! In diesem Betriebszustand ist der Kanalstauraum ein Absetzbehälter, und die Remobilisierung des Abgesetzten kann erst nach dem Leerlaufen des Stauraumes durch den Trockenwetterabfluss erfolgen.

PipeCalc2 [D-05-45678 Demo-Beispiel 3a.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Beispiel 3a Projektnummer: D-05-45678a

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann

Grunddaten

Profilart: Eiprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Eiprofil nach DIN 4263: 2r/3r

Betriebliche Rauheit: k_b

Energieliniengefälle: J_E

Kinematische Zähigkeit: ν

Dichte des Fluids: ρ

1400/2100 mm gegeben

1,5 mm gegeben

0,001008 Promille gesucht

1,31E-6 m^2/s

1000 kg/m^3

Vollfüllung

Profilhöhe: h_{Pr} 2100 mm

Durchfluss: Q_v 82,031 l/s gesucht

Fließgeschwindigkeit: v_v 0,03644 m/s

Geschwindigkeitshöhe: $v^2/2g$ 6,768E-5 m

Widerstandsbeiwert: λ 0,024161

Fließquerschnitt: A 2,2511 m^2

Hydraulischer Radius: r_{hy} 0,40554 m

Schubspannung: τ 0,0040103 N/m^2

Reynoldszahl: Re 45123 (turbulent)

Froude-Zahl: kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t 1900 mm gegeben

Q_t 85 l/s gegeben

v_t 0,040166 m/s

$v^2/2g$ 8,2227E-5 m

λ 0,023238

A 2,1162 m^2

r_{hy} 0,47389 m

τ 0,0046862 N/m^2

Re 58120 (turbulent)

Fr 0,0087259 (strömend)

Meldungen

- Bei diesem Teilfüllungsgrad neigt das Rohr zum Zuschlagen.
- Die Wandschubspannung bei Teilfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 1,8027 N/m^2 für Regen- und Mischwasser.
- Die Wandschubspannung bei Vollfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 1,7815 N/m^2 für Regen- und Mischwasser.
- Die Mindestgeschwindigkeit kann mangels Näherung an das Kreisprofil nicht angegeben werden.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 7: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 3 (1. Teilfrage)

Das führt zur **Zusatzfrage**:

Reicht bei einem Trockenwetterabfluss von $Q_t = 50$ l/s die Sohlschubspannung τ aus, den Kanal wieder zu reinigen?

Lösung der Zusatzfrage: Es muss also die Teilfüllung des Eiprofiles mit gegebenem $Q_t = 50$ l/s berechnet werden. Hier wird der Normalabfluss berechnet; es wird also $J_E = J_{S0} = 1,0$ ‰ als gegeben eingetragen. Weiterhin gegeben sind $k_b = 1,5$ mm und die Profilabmessungen. Gesucht sind Q_v und h_t . Wir lesen ab: $h_t = 194,6$ mm; $\tau = 1,1$ N/m². Diese Schubspannung ist zwar sehr viel größer als wie oben bei eingestautem Stauraumkanal, aber immer noch verhältnismäßig gering, so dass der Mindestwert von $\tau_{min} = 1,51$ N/m² unterschritten wird. Eine effektive Selbstreinigung des Stauraumkanals durch den Trockenwetterabfluss ist also nicht zu erwarten. Abhilfe böte ein größeres Sohlgefälle; bei $J_{S0} = 2$ ‰ wäre bereits $\tau = 1,8$ N/m².

PipeCalc2 [D-05-45678b Demo-Beispiel 3b.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Beispiel 3b Projektnummer: D-05-45678b
 Projektvariante: 1.0
 Bearbeiter: Martin Mustermann

Grunddaten

Profilart: Eiprofil
 Betriebsart: Regen- und Mischwasser
 Eiprofil nach DIN 4263 2r/3r 1400/2100 mm gegeben
 Betriebliche Rauheit k_b 1,5 mm gegeben
 Energieliniengefälle J_E 1 Promille gegeben
 Kinematische Zähigkeit ν 1,31E-6 m²/s
 Dichte des Fluids ρ 1000 kg/m³

Vollfüllung

Profilhöhe h_{Pr} 2100 mm
 Durchfluss Q_v 2878,7 l/s gesucht
 Fließgeschwindigkeit v_v 1,2788 m/s
 Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$ 0,083348 m
 Widerstandsbeiwert λ 0,019463
 Fließquerschnitt A 2,2511 m²
 Hydraulischer Radius r_{hy} 0,40554 m
 Schubspannung τ 3,9783 N/m²
 Reynolds-Zahl Re 1,5835E6 (turbulent)
 Froude-Zahl kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t 194,58 mm gesucht
 Q_t 50 l/s gegeben
 v_t 0,57113 m/s
 $v^2/2g$ 0,016625 m
 λ 0,026867
 A 0,087546 m²
 r_{hy} 0,11167 m
 τ 1,0955 N/m²
 Re 1,9474E5 (turbulent)
 Fr 0,49271 (strömend)

Meldungen


- Die Wandschubspannung bei Teilfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 1,5105 N/m² für Regen- und Mischwasser.
- Die Wandschubspannung bei Vollfüllung unterschreitet die erforderliche Mindestschubspannung von 5,8324 N/m² für Regen- und Mischwasser.
- Die Mindestgeschwindigkeit kann mangels Näherung an das Kreisprofil nicht angegeben werden.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 8: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 3 (Zusatzfrage)

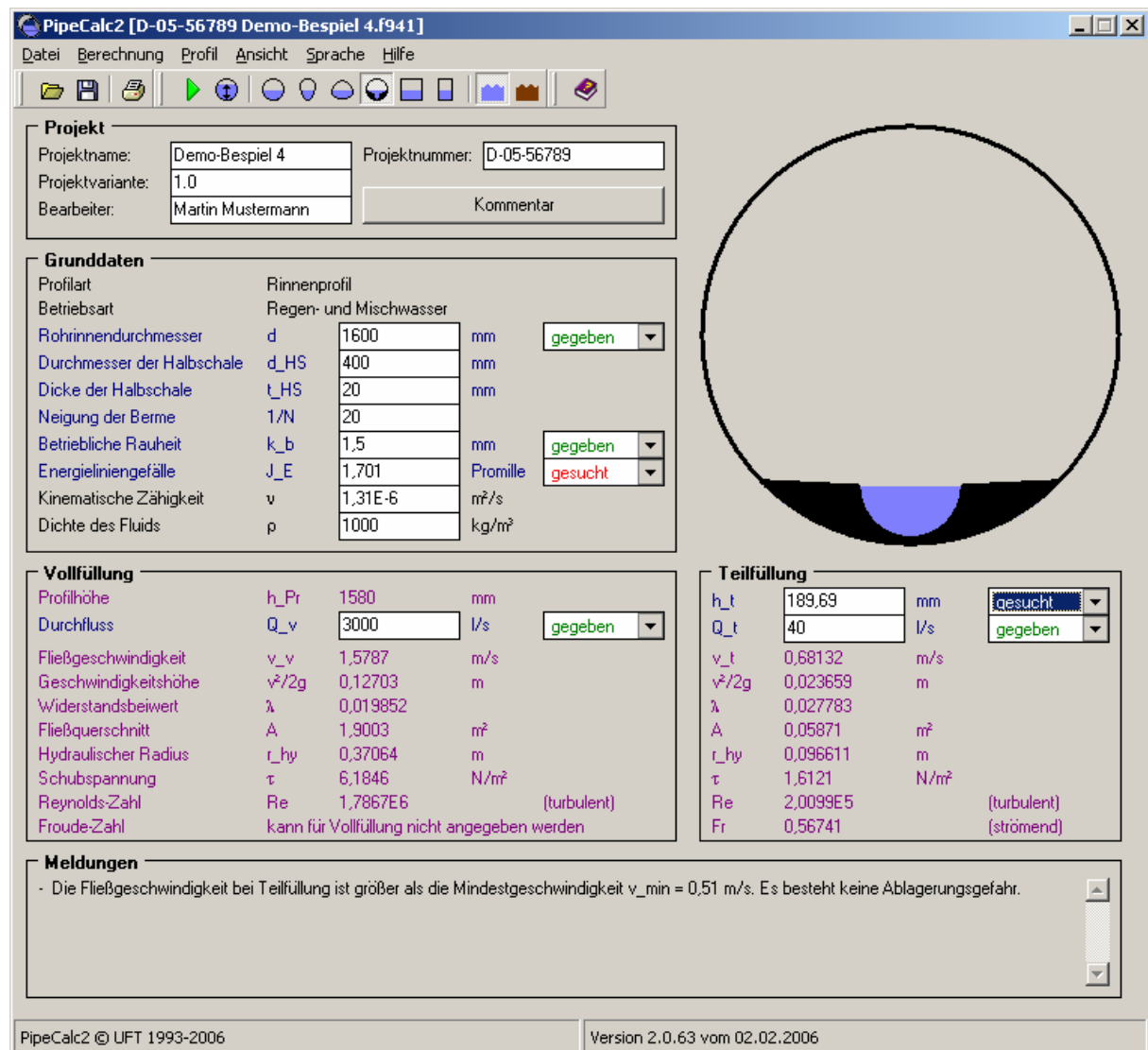
Beispiel 4.

Gegeben sei ein Kreisrohr mit dem Innendurchmesser $d = 1600$ mm mit einer nachträglich eingebauten Trockenwetterrinne (Halbschale) mit Durchmesser der Halbschale $d_{HS} = 400$ mm. Die Dicke der Halbschale betrage $t_{HS} = 20$ mm. Die seitlichen Bermen haben eine Neigung von $N = 1:20$ und als Rauheit sei $k_b = 1,5$ mm anzusetzen. In welchem Gefälle $J_{So} = J_E$ müsste dieses Rohr verlegt werden, damit bei Vollfüllung ein Abfluss von $Q_v = 3000$ l/s abgeführt werden kann? Der Trockenwetterabfluss (Teilfüllung) betrage $Q_t = 40$ l/s. Ist die Trockenwetterrinne hierfür ausreichend groß, so dass die Berme noch nicht eingestaut ist?

Lösung: Zunächst wählen wir das Rinnenprofil: Im Menüpunkt „Profil“ die Option „Rinne“ (bzw. F8) oder Mausklick auf das Rinnenprofil . Zur Beschreibung der Rinnenquerschnittes sind insgesamt vier Maßangaben vonnöten: der Innendurchmesser des äußeren Rohres d , der Durchmesser der Halbschale d_{HS} (= doppelte Tiefe), die Materialstärke, also die Dicke der Halbschale t_{HS} und die Neigung N der Bermen. Diese Größen sind alle bekannt und werden eingegeben. Weiterhin gegeben sind die Größen Q_v , k_b sowie Q_t .

Als gesuchte Größen werden das Energieliniengefälle J_E und der Wasserstand bei Teilfüllung h_t gewählt. Die Berechnung liefert das erforderliche Gefälle von $J_E = 1,70$ ‰ und $h_t = 190$ mm; die Graphik zeigt, dass die Trockenwetterrinne den Abfluss von $Q_t = 40$ l/s eben noch aufnehmen kann.

Sollten einmal die erforderlichen Maße eines Rinnenprofils gesucht sein, ist zu beachten, dass PipeCalc2 nur der Durchmesser d des äußeren Rohres suchen kann, während die Abmessungen der Trockenwetterrinne stets gegeben sein müssen.



PipeCalc2 [D-05-56789 Demo-Bespiel 4.f941]

Datei Berechnung Profil Ansicht Sprache Hilfe

Projekt

Projektname: Demo-Bespiel 4 Projektnummer: D-05-56789

Projektvariante: 1.0

Bearbeiter: Martin Mustermann

Grunddaten

Profilart: Rinnenprofil

Betriebsart: Regen- und Mischwasser

Rohrinnendurchmesser d : 1600 mm **gegeben**

Durchmesser der Halbschale d_{HS} : 400 mm

Dicke der Halbschale t_{HS} : 20 mm

Neigung der Berme $1/N$: 20

Betriebliche Rauheit k_b : 1,5 mm **gegeben**

Energieliniengefälle J_E : 1,701 Promille **gesucht**

Kinematische Zähigkeit ν : 1,31E-6 m²/s

Dichte des Fluids ρ : 1000 kg/m³

Vollfüllung

Profilhöhe h_{Pr} : 1580 mm

Durchfluss Q_v : 3000 l/s **gegeben**

Fließgeschwindigkeit v_v : 1,5787 m/s

Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$: 0,12703 m

Widerstandsbeiwert λ : 0,019852

Fließquerschnitt A : 1,9003 m²

Hydraulischer Radius r_{hy} : 0,37064 m

Schubspannung τ : 6,1846 N/m²

Reynoldszahl Re : 1,7867E6 (turbulent)

Froude-Zahl: kann für Vollfüllung nicht angegeben werden

Teilfüllung

h_t : 189,69 mm **gesucht**

Q_t : 40 l/s **gegeben**

v_t : 0,68132 m/s

$v^2/2g$: 0,023659 m

λ : 0,027783

A : 0,05871 m²

r_{hy} : 0,096611 m

τ : 1,6121 N/m²

Re : 2,0099E5 (turbulent)

Fr : 0,56741 (strömend)

Meldungen

- Die Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung ist größer als die Mindestgeschwindigkeit $v_{min} = 0,51$ m/s. Es besteht keine Ablagerungsgefahr.

PipeCalc2 © UFT 1993-2006 Version 2.0.63 vom 02.02.2006

Bild 9: Der Bildschirm für das gezeigte Beispiel 4

3 Hydraulische Grundlagen

Gemäß DWA-Arbeitsblatt A 110 geht PipeCalc2 von *stationär gleichförmiger Strömung* im zu berechnenden Rohrabschnitt aus, d.h. die Strömung ändert sich in der Zeit nicht und die beteiligten Größen, etwa die Wassertiefe und die mittlere Fließgeschwindigkeit, zeigen auch keine Änderung mit der Fließlänge. Dieser Strömungszustand ist bei teilgefüllten Leitungen auch als *Normalabfluss* bekannt. In diesem Fall ist das Sohlengefälle J_{So} der Rohrleitung gleich dem Energieliniengefälle J_E ; Wasserspiegel und Energielinie verlaufen sohlenparallel (Bild 10). Doch lässt sich die Berechnung in erster Näherung auch auf Strömungen übertragen, die nicht allzu weit vom Normalabfluss abweichen, also keiner extremen Beschleunigung längs des Fließweges unterliegen (sogenannter *gradually varied flow*). In diesem Fall muss das Energieliniengefälle richtig bestimmt werden; es ist dann nicht gleich dem Sohlengefälle, $J_E \neq J_{So}$. Eine weitere Annahme, die hier der Vollständigkeit halber erwähnt sei: das betrachtete Medium sei *inkompressibel*, habe also eine konstante Dichte ρ .

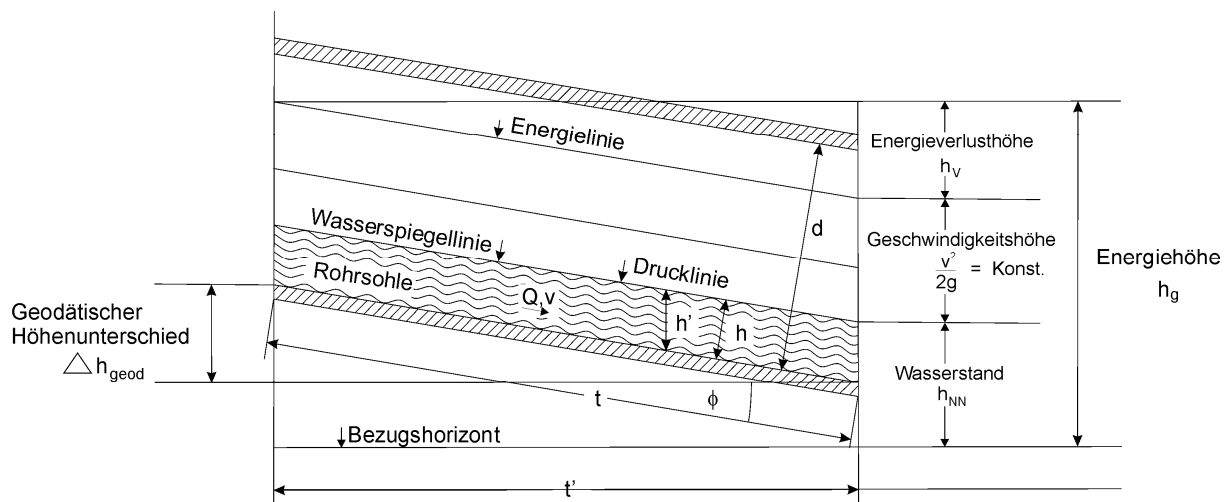


Bild 10: Normalabfluss in einem teilgefüllten Abwasserkanal (nach A 110)

Im Folgenden werden die den PipeCalc2-Algorithmen zugrunde liegenden Gleichungen aufgeführt.

3.1 Definitionsgleichung für die mittlere Fließgeschwindigkeit

$$v = \frac{Q}{A}$$

- mit
- v mittlere Fließgeschwindigkeit
 - Q Durchfluss (Volumenstrom)
 - A Fließquerschnitt. Diese Größe wird vom Programm aus der jeweiligen Geometrie des betrachteten Querschnittes bei Vollfüllung bzw. zusätzlich aus der herrschenden Wassertiefe bei Teilfüllung berechnet.

3.2 Widerstandsformel für die Reibungsverluste (sogenannte Darcy-Weisbach-Gleichung):

$$h_V = \lambda \cdot \frac{l}{4r_{hy}} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

mit	h_V	Energiehöhenverlust
	λ	dimensionsloser Widerstandsbeiwert
	r_{hy}	Hydraulischer Radius (siehe unten)
	l	Länge des betrachteten Leitungsabschnitts

Es wird dabei angenommen, dass die Reibungsverluste entlang der Fließstrecke gleichmäßig verteilt seien.

3.3 Definition des hydraulischen Radius:

$$r_{hy} = \frac{A}{l_U}$$

wobei l_U benetzter Umfang im betrachteten Querschnitt. Auch diese Größe wird aus der Querschnittsgeometrie und dem Wasserstand bei Teilfüllung berechnet.

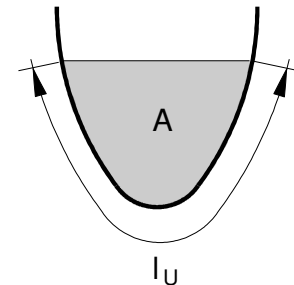


Bild 11:
Hydraulischer Radius

3.4 Definition des Energieliniengefälles:

$$J_E = \frac{h_V}{l}$$

Das Energieliniengefälle J_E ist im Falle des eingangs erwähnten Normalabflusses gleich dem Sohlengefälle J_{So} der Rohrleitung. Im allgemeinen kann dieses als geodätische Höhendifferenz Δh_{geod} der Rohrsohle dividiert durch die Projektionslänge l' der Rohrleitung in der Draufsicht gebildet werden (vgl. Bild 10). Bis zu einem Gefälle von etwa $J_{So} = 200 \text{ ‰}$ (1:5) liegt der damit erhaltene Fehler unter 2 %. Bei steileren Strecken muss anstelle der Projektionslänge l' der Rohrleitung die tatsächliche Länge l angesetzt werden.

3.5 Widerstandsbeiwert λ nach Colebrook (sog. Prandtl-Colebrook-Gleichung):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot 4r_{hy}} \right)$$

mit	Re	Reynoldszahl; $Re = \frac{v \cdot 4r_{hy}}{\nu}$	(dimensionslos)
	k	Rauheit der Rohrrinnenwandung in m, z. B. die Betriebsrauheit k_b nach DWA-A 110	
	ν	Kinematische Zähigkeit des Fluids in m^2/s . Diese Größe kann in PipeCalc2 beliebig vorgegeben werden, um unterschiedliche Fluide oder unterschiedliche Temperaturen	

berücksichtigen zu können (Grundeinstellung ist $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, gültig für Wasser bei 10°C).

Die *Prandtl-Colebrook*-Gleichung lässt sich nicht direkt nach λ auflösen und wird deshalb in PipeCalc2 numerisch iterativ ausgewertet. Sie gilt für turbulente Strömung bei technisch rauem Wandverhalten und beschreibt den Übergang von hydraulisch glattem Verhalten bei kleinen Reynoldszahlen, bei dem der Fließwiderstand im Verein mit den Querschnittsabmessungen hauptsächlich von der Zähigkeit ν der Flüssigkeit bestimmt wird, zu hydraulisch rauem Verhalten, bei dem die Wandrauheit k des Rohres für den Widerstand ausschlaggebend wird.

Bei Querschnitten, die sehr stark von der Kreisform abweichen, tritt ein zusätzlicher Formeinfluss im Widerstandsverhalten auf, der durch den Ansatz eines Formbeiwertes f berücksichtigt werden könnte. In der *Prandtl-Colebrook*-Gleichung würde dann $f \cdot r_{hy}$ anstelle von r_{hy} angesetzt. Dieser Formeinfluss wird in PipeCalc2 im Hinblick auf die in der Praxis vorkommenden, kompakten Querschnitte vernachlässigt; der Formbeiwert ist näherungsweise zu $f = 1$ gesetzt.

Ist die Reynoldszahl Re bei sehr zähem Fluid oder sehr kleinen Querschnitten kleiner als die kritische Grenze von $Re = 2320$, ist die Strömung nicht mehr turbulent, sondern laminar; die *Prandtl-Colebrook*-Gleichung gilt dann nicht mehr. Dieser Fall wird von PipeCalc2 abgefangen; die Berechnungsformeln lauten dann:

3.6 Sonderfall: Widerstandsbeiwert λ für laminare Strömung

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

Diese Gleichung gilt für laminare Strömung ($Re < 2320$) und strenggenommen nur für das Kreisrohr. Bei nicht-kreisförmiger Geometrie weicht der Zähler der Formel vom angegebenen Wert 64 ab. Für kompakte Querschnitte erscheint die Näherung jedoch vertretbar. (vgl. z.B. /2/)

3.7 Teilfüllung

Die Berechnung teilgefüllter Rohrleitungen geschieht nach Arbeitsblatt A 110 unter Ansatz des Normalabflusses durch Bezug der Teilfüllungswerte auf die Vollfüllung. Dies geschieht mit folgenden Formeln¹:

$$\frac{v_t}{v_v} = \left(\frac{r_{hy,t}}{r_{hy,v}} \right)^{0,625} \quad \frac{Q_t}{Q_v} = \frac{A_t}{A_v} \cdot \left(\frac{r_{hy,t}}{r_{hy,v}} \right)^{0,625}$$

Diese Formeln beschreiben eine Charakteristik der Teilfüllung, die dadurch ausgezeichnet ist, dass bei gleichem Gefälle der Abfluss Q_t bei höheren Teilfüllungsgraden (fast volles Rohr) größer ist als der Abfluss Q_v bei Vollfüllung (graphische Darstellung siehe Bild 12). PipeCalc2 kann diese erhöhte Leistungsfähigkeit berechnen; es wird jedoch nicht empfohlen, diese in der Praxis auszunutzen, da ein Vollschiessen der Rohrstrecke nicht ausgeschlossen werden kann. Ist der Teilfüllungsabfluss als gegeben anzusetzen, akzeptiert PipeCalc2 nur Werte für Q_t , die kleiner als Q_v sind.

¹ Die Teilfüllungsberechnung in der gezeigten Weise unter Bezug auf die Vollfüllung ist strenggenommen nur eine Näherung für das an sich exaktere direkte Berechnen der Teilfüllung mit der Formel von *Prandtl-Colebrook*, was jedoch eine zusätzliche Iteration für den Teilfüllungsquerschnitt erforderte. Die angeführten Formeln gelten für die in der Abwasserpraxis vorkommenden Profilformen und Wertebereiche und nur für turbulente Strömung. In PipeCalc2 werden diese Formeln auch zur Teilfüllungsberechnung in Rechteckprofilen sowie auch als erste Näherung bei laminarer Strömung herangezogen. In letzterem Fall gilt exakt ein etwas anderer Zusammenhang (vgl. /5/).

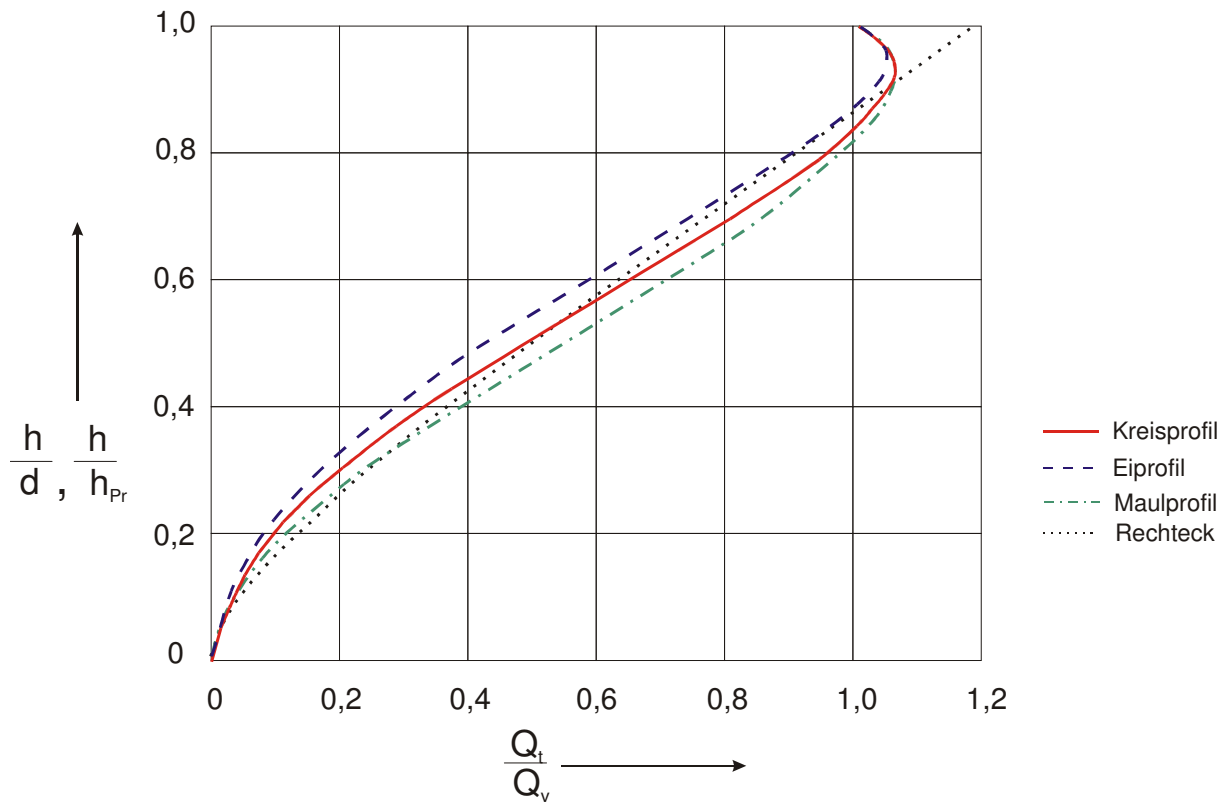


Bild 12: Teilfüllungskurven für verschiedene Querschnitte. Rechtsachse: Abfluss bei Teilfüllung bezogen auf Abfluss bei Vollfüllung; Hochachse: Wasserstand bezogen auf Querschnittshöhe bzw. Rohrrinnendurchmesser. Bei fast voll gefülltem Querschnitt ist der abführbare Durchfluss etwas größer als bei Vollfüllung.

3.8 Froude-Zahl

PipeCalc2 ermittelt für teilgefüllte Rohrleitungen die Froude-Zahl Fr in der Definition nach Arbeitsblatt A 110:

$$Fr = \sqrt{\frac{Q^2 b_W}{g A^3}}$$

mit b_W Spiegelbreite im betrachteten Querschnitt

A durchströmter Querschnitt

(vgl. auch Bild 11)

Beide Größen sind abhängig von den Querschnittsabmessungen und vom momentanen Wasserstand bei Teilfüllung und werden in PipeCalc2, wenn nötig, iterativ ermittelt. – Die Froude-Zahl gestattet die Beurteilung des Abflussverhaltens: strömend bei $Fr < 1$, schießend bei $Fr > 1$. Ist $Fr = 1$, wird die Grenztiefe (beim Übergang von strömender zu schießender Strömung) durchlaufen. An dieser Stelle ist das hydraulische System entkoppelt.

Diese Definition der Froude-Zahl gilt strenggenommen nur für flachgeneigte Gerinne. Im Fall des Rechteckprofils (und nur dort!) vereinfacht sich diese Formel zu:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

3.9 Sohlenschubspannung

Zusätzlich zu den in der A 110 genannten Berechnungen bietet PipeCalc2 die Möglichkeit, die umfangsgemittelte Schubspannung τ im betrachteten Querschnitt zu berechnen. Diese steht mit dem Energieliniengefälle in folgendem Zusammenhang:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot r_{hy} \cdot J_E$$

- mit τ Schubspannung, über dem benetzten Umfang als konstant angenommen, in N/m^2
 ρ Dichte der Flüssigkeit in kg/m^3 ; diese Größe kann beliebig vorgegeben werden
 g Erdbeschleunigung; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

3.10 Flachstrecken und Ablagerungen

Zur Beurteilung des Ablagerungsrisikos von Feststoffen in Abwasserleitungen gibt das Arbeitsblatt A 110 in Abhängigkeit von der Rohrennweite Mindestgeschwindigkeiten nach Macke an, die bei Teilfüllung nicht unterschritten werden sollen (vgl. /3/). Diese wurden in PipeCalc2 übernommen und gelten für Rauheiten im Bereich von $k_b = 0,25 \text{ mm}$ bis $k_b = 1,5 \text{ mm}$ für Halbfüllung, allerdings nur bei Kreisrohren bzw. in der unteren kreisförmigen Rinne einiger anderer Profilformen.

Zur Beurteilung der Ablagerungsgefährdung kann man aber bei allen Profilformen auf die dem Kriterium nach Macke ursprünglich zu Grunde liegenden Gleichungen zurückgreifen. Nach DWA-A 110 sollte die Sohlenschubspannung zur Vermeidung von Ablagerungen unabhängig von der Profilgestalt und -größe (also auch für Teil- wie für Vollfüllung) einen Mindestwert τ_{min} überschreiten:

$$\tau_{min} = 4,1 Q^{1/3} \text{ für Regen- und Mischwasserkanäle bzw.}$$

$$\tau_{min} = 3,4 Q^{1/3} \text{ für Schmutzwasserkanäle,}$$

wobei je nach Aufgabenstellung $Q = Q_t$ oder Q_v sein kann, jeweils in m^3/s . Außerdem muss eine generelle Mindestschubspannung von $\tau_{min} = 1,0 \text{ N/m}^2$ eingehalten sein.

4 Erläuterungen zu den einzelnen Berechnungsgrößen

Zum Zwecke des Nachschlagens sind im folgenden zusätzliche Informationen zu den in PipeCalc2 verwendeten Berechnungsgrößen zusammengestellt. Die Größen erscheinen dabei in alphabetischer Reihenfolge.

4.1 Betriebliche Rauheit k_b (Gegebene oder gesuchte Größe)

Die betriebliche Rauheit k_b in mm ist eine Rechengröße, die Verluste infolge Wandreibung und infolge lokaler Störungen (Rohrmuffen, Schächte usw.) pauschal berücksichtigt (Pauschalkonzept nach A 110). Dieses erhöhte Rauheitsmaß ergibt rechnerisch den gleichen Energiehöhenverlust, als hätte man lokale und kontinuierliche Verluste getrennt berechnet und zusammengefasst. Folgende Pauschalwerte sind nach A 110 anzusetzen:

Kanalart	Schachtausbildung		
	Regelschächte	Angeformte Schächte	Sonderschächte
Transportkanäle	0,50	0,50	0,75
Sammelkanäle ≤ DN 1000	0,75	0,75	1,50
Sammelkanäle > DN 1000	-	0,75	1,50
Mauerwerkskanäle, Ortbetonkanäle, Kanäle aus nicht genormten Rohren ohne besonderen Nachweis der Wandrauheit	1,50	1,50	1,50
Drosselstrecken (1), Druckrohrleitungen (1,2), Düker (1) und Reliningstrecken ohne Schächte	0,25		
1) Ohne Einlauf-, Auslauf- und Umlenkungsverluste 2) Nicht bei Druck- und Unterdruckentwässerung			

k_b kann auch eine gesuchte Größe sein. In diesem Fall prüft das Programm den Fließzustand (vgl. unter „Reynoldszahl“). Verhält sich die Strömung hydraulisch glatt oder gar laminar, ist die Ermittlung von k_b nicht möglich, weil dort die Rauheit keinen Einfluss auf den Widerstand des Rohres hat. PipeCalc2 bricht dann mit einer entsprechenden Meldung ab. Bei einem Rauheitsverhalten im Übergangsbereich ist die Wirkung der Rauheit nur klein und die Ermittlung von k_b deshalb sehr ungenau. Auch in diesem Fall erfolgt eine entsprechende Warnung.



Vorsicht:

Wird bei gesuchtem k_b der Rohrrinnendurchmesser nur geringfügig ungenau eingegeben, sind sehr starke Änderungen in der resultierenden Rauheit k_b zu erwarten! Dies liegt daran, dass eine beispielsweise um 10 % zu enge Nennweite den hydraulischen Widerstand einer Leitung bei weitem mehr erhöht als eine um 10 % erhöhte Rauheit. (Mit PipeCalc2 ist es ein Leichtes, dies zu bestätigen!)

4.2 Dichte ρ

(Gegebene Größe)

Die Dichte ρ der Flüssigkeit (in kg/m^3) ist temperaturabhängig und kann in PipeCalc2 beliebig vorgegeben werden. Dadurch können auch Strömungen anderer Medien als Wasser berechnet werden.

Im Berechnungsgang wird die Dichte ρ ausschließlich zur Ermittlung der Schubspannung τ als der einzigen dynamischen Größe (also als Größe, die die Einheit Kraft (N) enthält) benötigt. Für Wasser bzw. Abwasser ist es dabei in der Regel ausreichend genau, einen Wert von $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ anzusetzen.

4.3 Durchfluss Q

(Gegebene oder gesuchte Größe)

Der Durchfluss (Volumenstrom) Q wird in PipeCalc2 in l/s angegeben. Die Größe kann für Voll- wie für Teilfüllung unabhängig voneinander gegeben oder gesucht sein (Q_{teil} bzw. Q_{voll}).

4.4 Energieliniengefälle J_E (Gegebene oder gesuchte Größe)

Das Energieliniengefälle J_E ist definiert als Energieverlusthöhe h_v bezogen auf den Fließweg l und nur im Fall des Normalabflusses in einem Gerinne gleich dem Sohlengefälle J_{So} . Die Annahme $J_E = J_{So}$ liegt der Teilfüllungsberechnung in PipeCalc2 zugrunde.

Es lassen sich jedoch auch für Fälle, in denen kein Normalabfluss herrscht, Aussagen treffen. Kennt man an einer Stelle, z.B. im Rückstaubereich, Wassertiefe und Durchfluss, können diese Teilfüllungs-Größen als bekannt vorgegeben werden und J_E sowie Q_v gesucht werden. J_E ist dann das an dieser Stelle herrschende Energieliniengefälle. Hierzu passen die ermittelten Teilfüllungs-Größen; die Vollfüllungs-Größen gehören zu einem fiktiven Durchfluss, der bei Vollfüllung des Querschnitts bei herrschendem J_E abgeführt werden könnte.

Der Fließweg ist im allgemeinen gleich der Rohrlänge. Dies ist bei steilen Rohrleitungen bzw. Gerinnen zu beachten; für Neigungen $J_{So} < 200 \text{ ‰}$ kann der Energiehöhenverlust näherungsweise auf die Länge in der Draufsicht bezogen werden ($< 2 \text{ ‰}$ Fehler).

4.5 Fließgeschwindigkeit v (Abgeleitete Größe)

Die Fließgeschwindigkeit v (in m/s) wird für Vollfüllung (v_v) wie für Teilfüllung (v_t) als mittlere Fließgeschwindigkeit nach den Definitionsgleichungen

$$v_v = \frac{Q_v}{A_v} \quad \text{und} \quad v_t = \frac{Q_t}{A_t} \quad \text{berechnet.}$$

4.6 Froude-Zahl Fr (Abgeleitete Größe)

Die Froude-Zahl $Fr = \sqrt{\frac{Q^2 b_w}{g A^3}}$ (vgl. Kapitel „Hydraulische Grundlagen“) kennzeichnet den Abflusszustand:

$Fr < 1$ - Strömender Abfluss

$Fr > 1$ - Schießender Abfluss

$Fr = 1$ tritt beim Übergang zwischen strömendem und schießendem Abfluss auf, etwa an einem Gefälleknick; an dieser Stelle ist das System hydraulisch entkoppelt.

4.7 Geschwindigkeitshöhe $v^2/(2g)$ (Abgeleitete Größe)

Die Geschwindigkeitshöhe $v^2/(2g)$ (in m) wird für Teil- und Vollfüllung getrennt aus der mittleren Fließgeschwindigkeit v_t bzw. v_v berechnet.

Kennt man den Verlustbeiwert ζ (Zeta) einer lokalen Störung, z.B. an einem Schacht, so berechnet sich die örtliche Energieverlusthöhe h_v (in m), welche die Strömung durch diese Störung erfährt, zu

$$h_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Die *kontinuierliche* Energieverlusthöhe h_V längs einer Fließstrecke der Länge l bzw. das Energieliniengefälle $J_E = h_V / l$ hängt mit der Geschwindigkeitshöhe durch die sog. *Darcy-Weisbach-Gleichung* zusammen (siehe „Hydraulische Grundlagen“). Im hydraulisch voll-rauen Bereich ist der Widerstandsbeiwert λ unabhängig von der Reynoldszahl Re und damit von der Fließgeschwindigkeit v ; die Energieverluste sind dort proportional zur Geschwindigkeitshöhe $v^2/(2g)$.

4.8 Hydraulischer Radius r_{hy} (Abgeleitete Größe)

Der hydraulische Radius r_{hy} (in m) ist für Voll- wie für Teilfüllung als $r_{hy} = A / l_U$ definiert (siehe „Hydraulische Grundlagen“). Dabei ist A die durchströmte Querschnittsfläche und l_U der benetzte Umfang des Querschnitts. Beide Größen sind bei Teilfüllung vom lokalen Wasserstand im betrachteten Profil abhängig; bei Vollfüllung nur von der Profilform. In PipeCalc2 werden A und l_U bei Teilfüllung aus der Querschnittsgeometrie iterativ ermittelt und r_{hy} daraus berechnet.

Bei Vollfüllung gilt (h_{Pr} ist die Profilhöhe):

Kreisprofil: $r_{hy} = d/4$ (!)

Eiprofil nach DIN 4263 $r_{hy} = 0,193 \cdot h_{Pr}$

Maulprofil nach DIN 4263 $r_{hy} = 0,283 \cdot h_{Pr}$

Quadratprofil: $r_{hy} = b/4$

4.9 Kinematische Zähigkeit ν (Gegebene Größe)

Die kinematische Zähigkeit ν einer Flüssigkeit ist temperaturabhängig und kann in PipeCalc2 beliebig vorgegeben werden. Dadurch können auch Strömungen anderer Medien als Wasser berechnet werden (vorausgesetzt, sie sind inkompressibel, und bei Gasströmungen gibt es auch keine Teilfüllung).

Für reines Wasser gelten folgende Werte:

T in °C	5	10	15	20	25	30
$10^6 \cdot \nu$ in m^2/s	1,52	1,31	1,15	1,01	0,90	0,80

Für Abwasser wird im Regelfall nach A 110 ein Wert von $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$ angesetzt.

4.10 Reynoldszahl Re (Abgeleitete Größe)

Die Reynoldszahl Re einer Rohr- oder Gerinneströmung ist definiert als $Re = v \cdot 4 \cdot r_{hy} / \nu$; für vollgefüllte Kreisrohre ist $4 \cdot r_{hy} = d$. Mit Hilfe der Reynoldszahl beurteilt PipeCalc2 den Strömungszustand. Ist $Re < 2320$, ist die Strömung laminar. Ist $Re > 2320$, befindet sich je nach der relativen Rauheit $k_B/(4 \cdot r_{hy})$ die Strömung im Übergangs- oder vollrauen Bereich. Dementsprechend wählt das Programm die geeigneten Berechnungsalgorithmen aus (siehe "Hydraulische Grundlagen").

4.11 Rohrrinnendurchmesser d (Gegebene oder gesuchte Größe)

Der Rohrrinnendurchmesser d wird in PipeCalc2 in mm angegeben. Er ist der tatsächliche Innendurchmesser des betrachteten Kreisrohres (Lichtweite), strenggenommen sogar der

"ausgeliterte" (aus dem Volumen der Rohrleitung bestimmte) Rohrinne Durchmesser, da d eine sehr empfindliche Größe ist.

Im allgemeinen kann d gleich der Nennweite DN gesetzt werden. Bei genormten Rohren verschiedener Werkstoffe weicht jedoch der tatsächliche Innendurchmesser von der angegebenen Nennweite ab. Für genaue Berechnungen ist daher statt der Nennweite DN der tatsächliche Innendurchmesser d anzusetzen, der aus den einschlägigen Normen entnommen werden kann.

Für nicht-kreisförmige Profile treten andere Abmessungen an die Stelle von d .

Die Querschnittsabmessung kann auch gesucht sein. In diesem Fall wird das Programm in der Regel einen "krummen" Wert berechnen; nach Auswahl eines Rohrinne Durchmessers kann dann die Rechnung mit nunmehr gegebener Abmessung wiederholt werden.

Auf dem Bildschirm wird gleichzeitig auch die Querschnittshöhe h_{Pr} des betrachteten Profils angezeigt. Im Falle des Rinnenprofils ist diese um die Dicke t_{HS} der eingelegten Trockenwetter-Halbschale kleiner als der Durchmesser d des Außenrohres.

4.12 Schubspannung τ

(Abgeleitete Größe)

Die Wandschubspannung τ in $\text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$ wird von PipeCalc2 als über den benetzten Umfang gemittelte Schubspannung berechnet:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot r_{hy} \cdot J_E$$

Die Schubspannung lässt Aussagen über eine eventuelle Gefahr von Ablagerungen in Abwasserkanälen zu.

4.13 Vermeidung von Ablagerungen

In Flachstrecken werden Ablagerungen von abwasserbürtigen Sedimenten vermieden, wenn eine gewisse Mindestfließgeschwindigkeit im Trockenwetterfall überschritten bleibt. PipeCalc2 ermittelt diese Mindestgeschwindigkeit und zeigt eine Unterschreitung durch einen Warnhinweis an.

PipeCalc2 verwendet den im Arbeitsblatt A 110 angegebenen Ansatz nach Macke (vgl. /3/). Für Kreisrohre gibt A 110 in einer Tabelle abhängig von d (im Bereich von 150 bzw. 200 mm bis 4000 mm) die Mindestgeschwindigkeit v_{min} für ablagerungsfreien Betrieb an. Für Regen- und Mischwasserkanäle sowie für Schmutzwasserkanäle gibt es unterschiedliche Mindestgeschwindigkeiten. Die Tabellenwerte gelten für Werte der Betriebsrauheit $k_b = 0,25 \text{ mm}$ bis $1,5 \text{ mm}$. PipeCalc2 interpoliert die Tabelle bei Bedarf. Ist $v_t < v_{min}$ oder $v_v < v_{min}$, sind Ablagerungen nicht auszuschließen. In diesem Fall sollte das Gefälle erhöht oder die Nennweite verkleinert werden.

Bei allen Profilformen kann man jedoch zur Beurteilung der Ablagerungsgefährdung auf die dem Kriterium nach Macke ursprünglich zu Grunde liegenden Gleichungen zurückgreifen. Nach DWA-A 110 sollte die Sohlenschubspannung zur Vermeidung von Ablagerungen unabhängig von der Profilgestalt und -größe (also auch für Teil- wie für Vollfüllung) einen Mindestwert τ_{min} überschreiten:

$$\tau_{min} = 4,1 \cdot Q^{1/3} \text{ für Regen- und Mischwasserkanäle bzw.}$$

$$\tau_{min} = 3,4 \cdot Q^{1/3} \text{ für Schmutzwasserkanäle,}$$

wobei je nach Aufgabenstellung $Q = Q_t$ oder Q_v sein kann, jeweils in m^3/s . Außerdem muss eine generelle Mindestschubspannung von $\tau_{min} = 1,0 \text{ N/m}^2$ eingehalten sein.

4.14 Widerstandsbeiwert λ

(Abgeleitete Größe)

Der dimensionslose Widerstandsbeiwert λ wird von PipeCalc2 im Zuge der Ermittlung des Energieliniengefälles berechnet. λ hängt über die Prandtl-Colebrook-Gleichung (siehe „Hydraulische

Grundlagen") implizit von der relativen Rauheit $k_b/(4 r_{hy})$ und der Reynoldszahl Re ab und wird vom Programm iterativ ermittelt. Für laminare Strömung gilt eine andere Gleichung.

Die kontinuierliche Energieverlusthöhe h_V längs einer Fließstrecke der Länge l bzw. das Energieliniengefälle $J_E = h_V / l$ berechnet sich in Abhängigkeit von Q und der Geschwindigkeitshöhe $V^2/(2g)$ nach der sog. *Darcy-Weisbach-Gleichung* (siehe "Hydraulische Grundlagen"). Im hydraulisch voll-rauen Bereich ist der Widerstandsbeiwert λ unabhängig von der Reynoldszahl Re und damit von der Fließgeschwindigkeit v ; die Energieverluste sind dort proportional zur Geschwindigkeitshöhe. Umgekehrt ist bei hydraulisch glattem Verhalten der Widerstandsbeiwert λ und damit die Energieverluste unabhängig von der Rauheit k_b .

5 Gewährleistung

PipeCalc2 wurde konsequent auf die DWA-Richtlinie A 110 (2006) zugeschnitten. Wir haben zusätzliche Funktionen eingebaut, von denen wir denken, dass sie für den planenden Ingenieur nützlich sind. Den Stand der Wissenschaft, z.B. über das Zuschlagen von fast gefüllten Rohren oder über den ablagerungsfreien Sedimenttransport im Abwasser, haben wir nach bestem Wissen eingearbeitet und werden PipeCalc2 an neue Erkenntnisse und Vorschriften zu gegebener Zeit anpassen.

Das Softwarepaket PipeCalc2 wurde von uns nach bestem Wissen und Gewissen entwickelt und geprüft. Für eventuell trotzdem vorhandene Programm-, Rechen- oder Bedienfehler und daraus resultierende Schäden können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Die Verwendung des Programms geschieht in der Verantwortung des Anwenders.

Anhang 1: Literaturverzeichnis

- /1/ Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsblatt DWA-A 110, August 2006
- /2/ Preß, H., Schröder, R.: Hydromechanik im Wasserbau. Berlin: Verlag W. Ernst & Sohn, 1966
- /3/ Macke, E.: Über den Feststofftransport bei niedrigen Konzentrationen in teilgefüllten Rohrleitungen. Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Mitteilungen, Heft 76/1982, S. 1 - 154
- /4/ Unger, P.: Tabellen zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserkanälen und -leitungen DN 100-4000, DN 300/450 - 1400/2100 nach ATV - Arbeitsblatt A 110. Lich: INGWIS-Verlag, 1988
- /5/ Tiedt, W: Hydrodynamische Untersuchung der Teilfüllungsproblems. Technischer Bericht Nr. 7 aus dem Institut für Hydraulik und Hydrologie der Technischen Hochschule Darmstadt, 1971

Anhang 2: Verwendete Formelzeichen

Bezeichnung in den Formeln	Bezeichnung auf dem PipeCalc2-Bildschirm	Einheit	Beschreibung
A	A	m ²	durchströmter Fließquerschnitt
A_t, A_v	A	m ²	durchströmter Fließquerschnitt bei Teil- / Vollfüllung
b_W	---	m	Spiegelbreite bei Teilfüllung
b_{Pr}	b_Pr	m	Profilbreite
d	d	mm	Rohrinnendurchmesser, i.d.R. gleich der Nennweite DN
	d_HS	mm	bei Rinnenprofil: Nennweite Halbschale
F	---	---	Formbeiwert
J_E	J_E	---	Energieliniengefälle
J_{So}	---	---	Sohlengefälle
Fr	Fr	---	Froude-Zahl
g	---	m/s ²	Erdbeschleunigung; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
h_{Pr}	h_Pr	mm	Profilhöhe
h	h_t	mm	Wassertiefe (über Rohrsohle) bei Teilfüllung, senkrecht zur Rohrachse gemessen
h_v	---	m	Energieverlusthöhe
k	---	m	allgemein: Rauheit
k_b	k_b	mm	Betriebsrauheit
L	---	m	Länge des betrachteten Rohrabschnittes
l_U	---	m	benetzter Umfang
---	N	---	bei Rinnenprofil: Neigung der Berme (1 : N)
Q	---	m ³ /s	allgemein: Durchfluss
Q_t, Q_v	Q_t, Q_v	l/s	Durchfluss bei Teilfüllung / Vollfüllung
Re	Re	---	allgemein: Reynoldszahl
r_{hy}	r_hy	m	allgemein: Hydraulischer Radius
$r_{hy,t}, r_{hy,v}$	r_hy	m	Hydraulischer Radius bei Teil- / Vollfüllung
	t_HS	mm	bei Rinnenprofil: Materialstärke der Halbschale
v	---	m/s	allgemein: Fließgeschwindigkeit
v_{min}	v_min	m/s	Mindestgeschwindigkeit für den ablagerungsfreien Betrieb nach <i>Macke</i>
v_t, v_v	v_t, v_v	m/s	Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung / Vollfüllung
λ	λ	---	Widerstandsbeiwert
ν	ν	m ² /s	Kinematische Zähigkeit der Flüssigkeit
ρ	ρ	kg/m ³	Dichte der Flüssigkeit
τ	τ	N/m ²	Schubspannung
ζ	---	---	Verlustbeiwert eines örtlichen Verlustes