

Kapitel 5: Gerinneströmung

Allgemein: Mögliche Strömungszustände in einem Gerinne

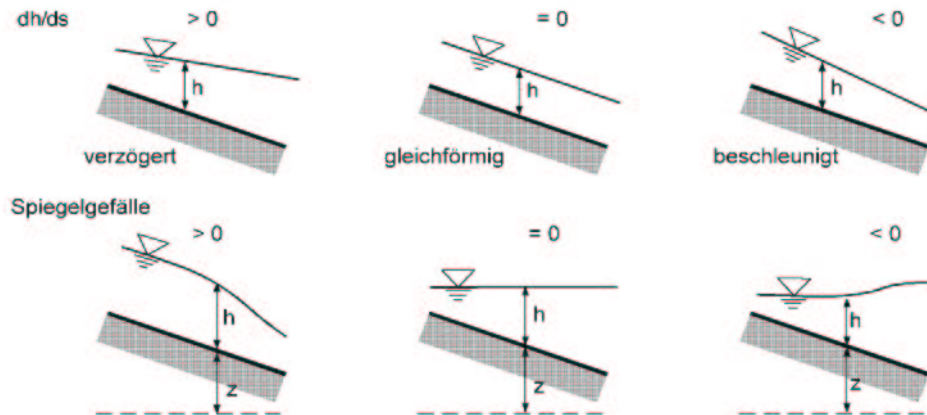


Abbildung 1: Verzögerter, Gleichförmiger und Beschleunigter Abfluss

Lokale Beschleunigung: Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit.

Stationäre Gerinneströmung: Die Geschwindigkeit abgeleitet nach der Zeit ist gleich null. ($Q = \textit{konstant}$)

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Zustand in dem sich keine veränderliche Größe des Mediums, wie z.B. der Durchfluss, Wasserstand oder die Druckhöhe, ändert.

Instationäre Gerinneströmung: Die Geschwindigkeit abgeleitet nach der Zeit ist ungleich null.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \quad (2)$$

In diesem Zustand ändern sich die oben genannten veränderlichen Größen des Mediums.

Konvektive Beschleunigung: Ableitung der Geschwindigkeit nach dem Weg.

Gleichförmige Gerinneströmung: Die Geschwindigkeit abgeleitet nach dem Weg ist gleich null.

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0 \quad (3)$$

Es tritt entlang des Weges keine Veränderung im Gerinne auf, die eine Beschleunigung, bzw. eine Verzögerung hervorrufen könnte.

Ungleichförmige Gerinneströmung: Die Geschwindigkeit abgeleitet nach dem Weg ist ungleich null.

$$\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0 \quad (4)$$

Eine unter 3 beschriebene Veränderung tritt ein. Dies kann z.B. ein sich veränderndes Sohlneigungsgefälle, eine Querschnittsverengung oder ein Wehr sein, welches einen Aufstau im Gerinne hervorruft.

Wasserbau 1 – Übung: Gerinnehydraulik

1. Manning-Strickler (oftmals gute Ergebnisse für turbulente Strömungen im rauen Bereiche)

$$v_m = k_{St,m} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I} \quad \text{in [m/s]}$$

$$\rightarrow Q = v \cdot A \quad \rightarrow Q = k_{St,m} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot A \quad \text{in [m}^3\text{/s]}$$

mit:

$k_{St,m}$ = Manning-Strickler-Beiwert (Rauhigkeit) in [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]

R = hydraulischer Radius = A/U = *durchflossene Fläche / benetzter Umfang*

I = Sohlgefälle

→ stationär-gleichförmig

Berechnung / $k_{St,m}$ -Werte:

- Trennflächen,
- Mittelung über Breite,
- Mittelung über Fläche.

Manning/Strickler-Beiwert k_{St} (siehe auch Tab. Seite 13.73)		
Werkstoff	Art, Form, Zustand	k_{St} in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$
Stahl	Rohre, sehr glatt, neu	100
	Rohre, verkrustet und verrostet, alt	60 bis 78
	Blech, geschweißt	80 bis 90
Gusseisen	Blech, genietet, nichtversenkte Köpfe	65 bis 70
	Rohre, neu	90
	Holz	gehobelte Bretter
ungehobelte Bretter		75 bis 85
ältere Holzgerinne		65 bis 70
Asphalt	neue, glatte Gerinne	90 bis 95
	Werkkanäle aus Walzgussasphalt	70 bis 75
	Kanäle aus Asphaltbeton	72 bis 77
Asphalt-Zement	Auskleidungen	100
Asbest-Zement	Rohre je nach Alter	85 bis 100
	Beton	Zementglattstrich
Beton mit Stahlschalung		90 bis 100
Beton mit Holzschalung		65 bis 70
Beton, geglättet		90
Stampfbeton		60 bis 70
grobe Betonauskleidung, alter Beton		50 bis 55
Stahlbetondruckrohre		85 bis 95
Druckstollen, sorgfältige Ausführung		85 bis 95
Druckstollen, weniger sorgfältige Ausführung		70 bis 80
Mauerwerk		Ziegelmauerwerk, gut gefugt
	Mauerwerk, normal	60 bis 70
Naturstein	Hausteinquader	70 bis 80
	sorgfältiges Bruchsteinmauerwerk	70
	normales Bruchsteinmauerwerk	60
	grobes Bruchsteinmauerwerk	50
	Bruchsteinböschungen, gepflastert, mit Sohle aus Sand oder Kies	45 bis 50
Fels	Felsausbrüche, sorgfältig bearbeitet	60
	Felsausbruch, gut bearbeitet oder gebohrt	45 bis 50
	mittelgrober Felsausbruch	25 bis 30
	grober Felsausbruch	15 bis 20*)
	roher Felsausbruch, mit Sohle aus Beton	40 bis 50*)
Erde	festes, feines Material	50
	Fein- bis Mittelkies	40 bis 45
	Grobkies	35
	grobes, scholliges Material	30
	mit groben Steinen ausgelegt	25 bis 30
	Erdkanäle und Gräben, stark bewachsen	20 bis 25*)
	natürliche Flussbetten mit fester Sohle	40 *)
	natürliche Flussbetten mit mäßigem Geschiebetrieb	33 bis 35*)
	natürliche Flussbetten, Ufer verkrautet	30 bis 35*)
	natürliche Flussbetten mit Geröll	30
	natürliche Flussbetten mit starkem Geschiebetrieb	28 *)
	unebenes, bewachsenes Vorland	15 bis 25*)
Wildbäche mit grobem Geröll	im Ruhezustand	25 bis 28*)
	in Bewegung	19 bis 22*)

2. Dimensionsechte allgemeine Fließgesetz (Darcy-Weisbach)

$$v_m = \sqrt{1/\lambda} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot r_{hy} \cdot I_E} \quad \text{in [m/s]}$$

mit:

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = 2 \cdot \lg\left(\frac{14,84 \cdot r_{hy}}{k}\right) \quad (\text{rauer Bereich})$$

r_{hy} = hydraulischer Radius = A/U

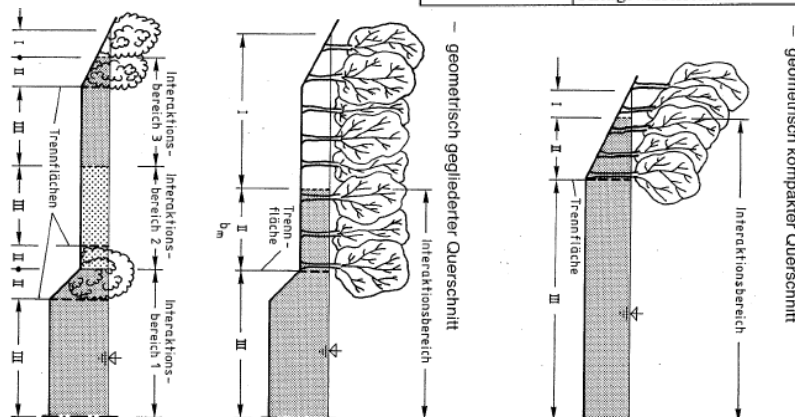
I_E = Energiehöhengefälle = Sohlgefälle (gleichförmig)

- **Wissenschaftlich bevorzugt**, weil die durch den Bewuchs vorhandene Widerstandskräfte und die infolge der Interaktion bei gegliederten Querschnitten mit und ohne Bewuchs auftretenden Scherkräfte auf physikalischer Grundlage durch den Widerstandsbeiwert ausgedrückt werden können.
- Zudem wird die Unkorrektheit beseitigt, dass der Manning-Strickler-Beiwert nicht vom hydraulischen Radius und somit nicht von der Wassertiefe abhängig ist.
- Anwendungsgrenzen:
 - Stationärer Abfluss,
 - Konvektive Beschleunigungsterme vernachlässigt (gleichförmig),
 - Einflüsse veränderter Sohlenform etc. über die Rauheit k zu berücksichtigen,
 - Nur für einfach geometrische Formen, wie Rechteck, Trapez, Parabel etc.

Absolute Rauheit k für Rohre und Gerinne (incl. Fließgewässer):

Werkstoff	Art, Form, Zustand	k in mm	
Kupfer, Messing Stahl	technisch glatte Rohre	0,00135	bis 0,00152
	aus Blech geschweißte Rohre, neu	0,04	bis 0,10
	aus Blech genietete Rohre, neu	1	bis 9
	Rohre, mäßig verrostet	0,15	bis 0,4
	Rohre, mittelstarke bis starke Verkrustung	1,5	bis 4
	Rohre, bituminiert, gebraucht	0,1	bis 1,5
	Rohre mit Zementmörtelauskleidung	0,03	
Gusseisen	Druckleitung bei Wasserkraftanlagen, gemessen	0,011	bis 0,021
	Stahlpundwand je nach Profiltiefe	20	bis 100
	Rohre, neu	0,2	bis 0,6
Kunststoff	Rohre, gebraucht	1,0	bis 1,5
	Rohre, verkrustet	1,5	bis 4
	Kanalisation (Mittelwert)	1,2	
Faser-Zement Ton	Rohre und Gerinne aus Plexiglas, neu	0,0015	
	Polyäthylen, weich und hart, neu; PVC, neu gewellte Dränrohre (Richtwert nach DIN 1185)	0,0015	bis 0,01
Steinzeug Holz	Rohre, Gerinne, neu	0,025	bis 0,1
	Dränrohre (Richtwert nach DIN 1185)	0,7	
Asphalt	Abwasserkanäle	0,25	bis 1,5
	gehobelte Bretterwand hölzerner Kanal	0,3	
	Kanäle mit Asphaltbeton oder Gussasphalt	2,3	
		1,5	bis 2,2

Beton	glatt	1	bis 6
	rau	6	bis 20
	Rohre aus Stahlbeton	0,1	bis 0,15
	Rohrleitung mit Stößen (Mittelwert)	2	
	Schleuderbetonrohre	0,1	bis 0,8
Stein	Spannbetonrohre	0,04	bis 0,25
	Druckstollen	0,5	bis 1,5
	Stahlschalung	1,0	
	Mauerwerk, Ziegel	2	bis 8
	Mauerwerk, Bruchstein	15	bis 40*
	Felswände oder Stollen, gute Bearbeitung	7,5	bis 75*
	Fels, torkretiert; Stollen, gebohrt	7	bis 30*
	raue Natursteinmauer	80	bis 100*
	Steinschlüttung	200	bis 300*
	Pflasterung	30	bis 50
Erde	Rasengittersteine	15	bis 30
	Sand oder Kies, eben	d_{90} (Korn)	
	Schotter, Grobkies	60	bis 200
	Ackerboden	20	bis 250*
	Acker mit Kulturen	250	bis 800*
	Waldboden	160	bis 320*
	Rasen	60	bis 400*
	Fließgewässersohle mit Riffeln	Riffelhöhe	
	Fließgewässersohle mit Dünen (h = Fließtiefe)	$h/6$ bis $h/3$	
	Fließgewässersohle mit mittl. Unregelmäßigk.	150*	bis 350*
Fließgewässersohle mit erhebl. Unregelmäßigk.	350*	bis 500*	



3. Darcy-Weisbach mit Bewuchs (DVWK Merkblatt 220/1991)

- Einbeziehung von Pflanzen am Ufer und deren Anordnung,
- Wirkung einzeln oder als Bestand,
- Einteilung:
 - **Kleinbewuchs:** Höhe gering, kann als Wandrauheit angesehen werden, wird überströmt,
 - **Mittelbewuchs:** Höhe etwa gleich der Wassertiefe, durchströmt als auch überströmt, gesonderter Berechnungsansatz erforderlich, aber noch wenig Erfahrungswerte,
 - **Großbewuchs:** Höhe größer als der Wasserstand, nur Durchströmung,
 - a_x = Abstand der Bewuchselemente in Fließrichtung,
 - a_y = Abstand der Bewuchselemente quer zur Fließrichtung,
 - d_p = Durchmesser der Bewuchselemente quer zur Fließrichtung,

- **Widerstandskraft auf Strömung:**
$$F_{W,P,i} = c_{W,i} \cdot \rho \cdot g \cdot A_{P,i} \cdot \frac{v_{m,P,i}^2}{2 \cdot g}$$

mit: $c_{W,i} = 1,2$ $A_{P,i} = h \cdot d_{P,i}$

- **Widerstandsbeiwert** des durchströmten Gehölzes:

$$\lambda_p = \frac{4 \cdot A_{P,i} \cdot c_{W,i}}{a_x \cdot a_y} \quad \text{bzw.} \quad \lambda_p = \frac{4 \cdot A_{P,i} \cdot \cos \alpha}{a_x \cdot a_y} \cdot c_{W,i}$$

- **Kollektiv** von vielen Pflanzen: fiktive Widerstandszahl $c_{R,W}$

$$c_{R,W} = \frac{\sum (c_{W,i} \cdot v_i^2 \cdot A_{P,i})}{v^2 \cdot \sum A_{P,i}}$$

mit: $c_{W,R} = 1,5$ (näherungsweise) $A_{P,i} = h \cdot d_{P,i}$

- **Widerstandsbeiwert** durchströmten Pflanzenkollektivs:

$$\lambda_p = \frac{4 \cdot A_p}{a_x \cdot a_y} \cdot c_{W,R} \quad \text{bzw.} \quad \lambda_p = \frac{4 \cdot A_p \cdot \cos \alpha}{a_x \cdot a_y} \cdot c_{W,R}$$

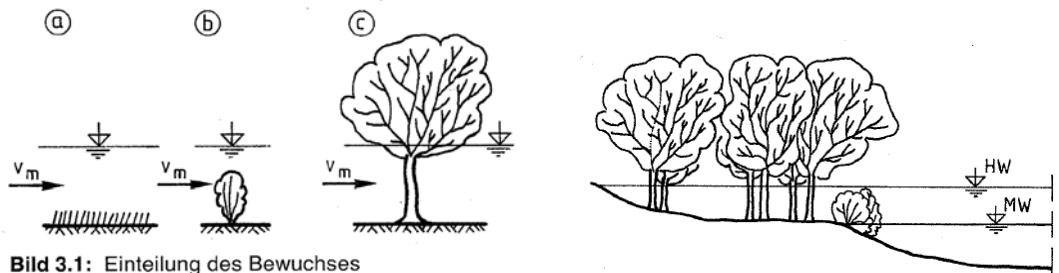


Bild 3.1: Einteilung des Bewuchses
 a) Kleinbewuchs
 b) Mittelbewuchs
 c) Großbewuchs

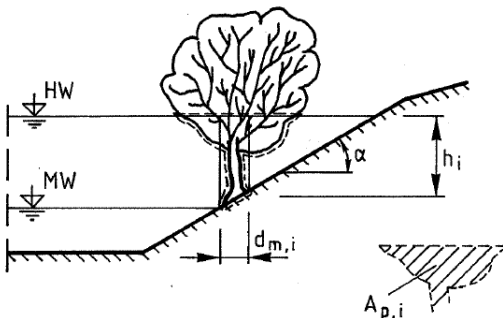


Bild 3.3: Ermittlung des äquivalenten Durchmessers

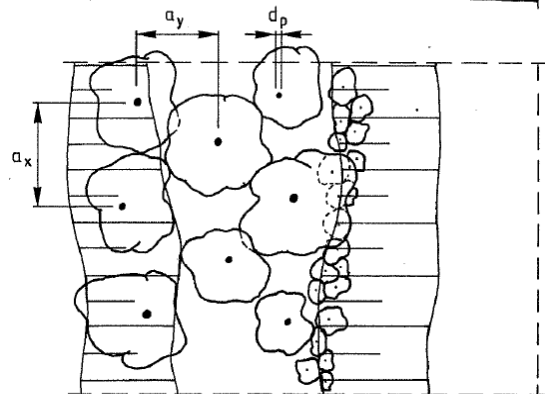


Bild 3.2: Geometrische Charakterisierung eines Baumbestandes