



VL 10.20250325

# Energiesysteme

6. Semester – Dr. A Fuchs, Dr. T Demiray

Autoren: Luca Loop

<https://github.com/Luca-ET/EnSys.git>

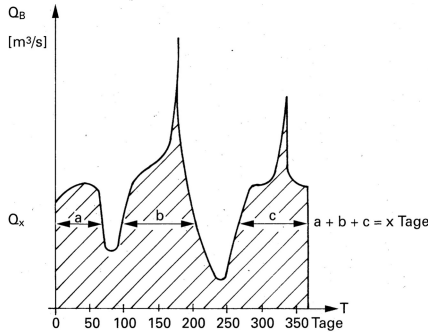
## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wasserdargebot für Wasserkraft</b>	<b>2</b>			
1.1	Abflussganglinie . . . . .	2	2.2	Bernoulli-Druck-Gleichung für Speicherwasserkraftwerke . . . . .	3
1.2	Abflussdauerkurve . . . . .	2	2.3	Bernoulli-Höhen-Gleichung für Speicherwasserkraftwerke . . . . .	3
1.3	Nutzwassermenge . . . . .	2	2.4	Örtliche Energieverluste . . . . .	3
			2.5	Reibungsverluste . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Wasserkraft</b>	<b>3</b>	2.6	Verlusthöhe durch Reibung . . . . .	4
2.1	Kontinuitätsgleichung des Durchflusses . . . . .	3	2.7	Reynolds-Zahl $Re$ . . . . .	4

1 Wasserdargebot für Wasserkraft

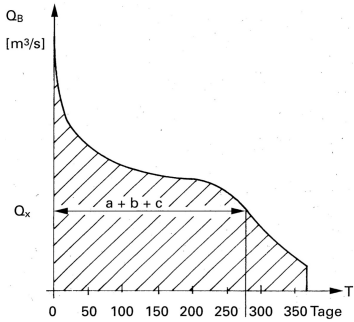
1.1 Abflussganglinie

Abfluss  $Q_b$  in  $\frac{m^3}{s}$  während eines Jahres (365 Tage)



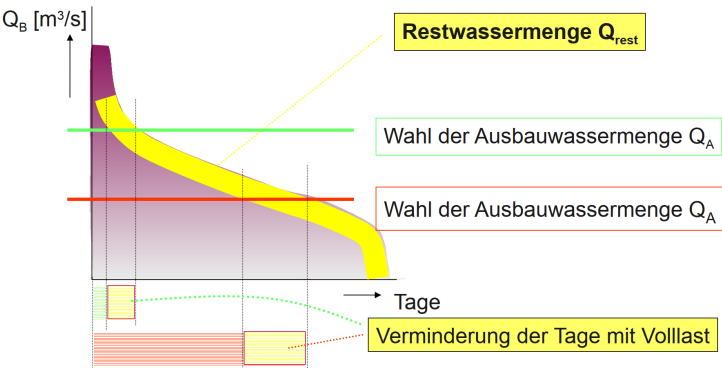
1.2 Abflussdauerkurve

Abfluss  $Q_b$  in  $\frac{m^3}{s}$  während eines Jahres (365 Tage), sortiert der Grösse nach



Abfluss ist an 275 Tagen mindestens  $Q_x$

1.3 Nutzwassermenge

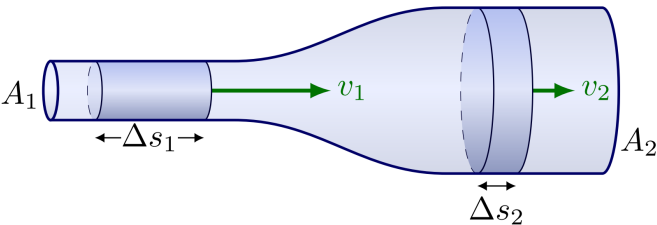


$Q_{Nutz} = Q_B - Q_{Rest}$

$[Q_{Nutz}]$	Nutzwassermenge .....	$\frac{m^3}{s}$
$[Q_B]$	Abflussmenge .....	$\frac{m^3}{s}$
$[Q_{Rest}]$	Restwassermenge .....	$\frac{m^3}{s}$

2 Wasserkraft

2.1 Kontinuitätsgleichung des Durchflusses



Die Kontinuitätsgleichung beschreibt die Erhaltung des Volumenstroms in einer strömenden Flüssigkeit:

$Q = A \cdot v$

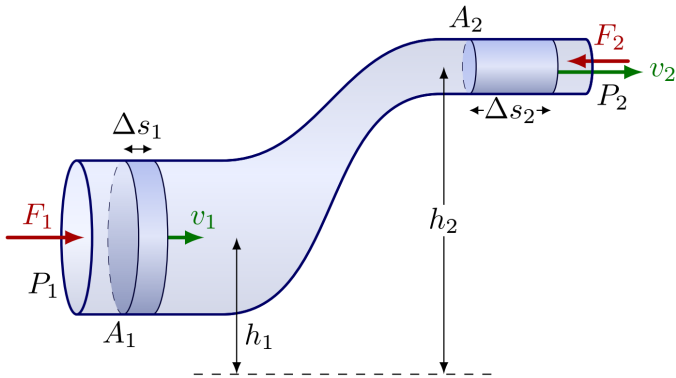
$Q_1 = Q_2$

$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

$Q = \dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{const}$

[Q <sub>x</sub> ]	Durchflussrate .....	$\frac{m^3}{s}$
[A <sub>x</sub> ]	Querschnittsfläche .....	$m^2$
[v <sub>x</sub> ]	Fließgeschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[V̇]	Volumenstrom (Volumen pro Zeit) .....	$\frac{m^3}{s}$
[ΔV]	Volumenänderung .....	$m^3$
[Δt]	Zeitänderung .....	$s$

2.2 Bernoulli-Druck-Gleichung für Speicherwasserkraftwerke



$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z + p = \text{constant}$

$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2$

[ $\frac{1}{2} \rho v^2$ ]	Kinetische Energie (je Kubikmeter) .....	$\frac{J}{m^3}$
[ρgz]	Potentielle Energie .....	$\frac{J}{m^3}$
[p]	Druckenergie .....	$\frac{J}{m^3}$

$\underbrace{p}_A + \underbrace{\rho g z}_B + \underbrace{\frac{1}{2} \rho v^2}_C = \underbrace{\text{constant}}_D$

2.3 Bernoulli-Höhen-Gleichung für Speicherwasserkraftwerke

$H = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + \sum H_v$

[H]	Bruttogefälle .....	$m$
[z]	Höhenlage (potenzielle Energie) ..	$m$
[p]	Druck .....	$Pa = \frac{N}{m^2}$
[ρ]	Dichte des Wassers .....	$\frac{kg}{m^3}$
[g]	Erdbeschleunigung .....	$\frac{m}{s^2}$
[v]	Geschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[ $\frac{p}{\rho g}$ ]	Druckhöhe .....	$m$
[ $\frac{v^2}{2g}$ ]	Geschwindigkeitshöhe .....	$m$
[Σ H <sub>v</sub> ]	Hydraulische Energieverluste ....	$m$

2.4 Örtliche Energieverluste

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

[h <sub>v</sub> ]	Örtliche Energieverlusthöhe .....	$m$
[ζ]	Verlustbeiwert (dimensionslos) ...	–
[v]	Geschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[g]	Erdbeschleunigung .....	$\frac{m}{s^2}$

2.5 Reibungsverluste

$H_{vr} = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{4/3}}$

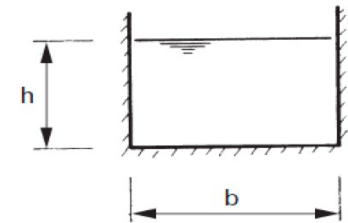
[H <sub>vr</sub> ]	Reibungsverlusthöhe .....	$m$
[v]	Strömungsgeschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[L]	Länge der Strömungsstrecke .....	$m$
[K]	Rauhigkeitsbeiwert nach Strickler .....	$m^{1/3}/s$
[R <sub>h</sub> ]	Hydraulischer Radius .....	$m$

2.5.1 Tabelle Rauhigkeitsbeiwert K

Material	Zustand	K [m <sup>1/3</sup> /s]
Stahl	neu	75
Stahl	schlechter Zustand, verrostet, verkrustet	60
Beton	glatt	85
Beton	rauh	60
PE, PVC		100

2.5.2 Hydraulischer Radius

Rechteckqueerschnitt



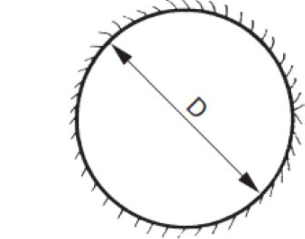
$F = b \cdot h$

$P = b + 2 \cdot h$

$R_h = \frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h}$

$R_h = \frac{F}{P}$

Kreisquerschnitt



$F = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$

$P = D \cdot \pi$

$R_h = \frac{D}{4}$

$R_h = \frac{F}{P}$

[F]	Abflussquerschnittsfläche .....	m <sup>2</sup>
[P]	Benetzter Umfang .....	m
[R <sub>h</sub> ]	Hydraulischer Radius .....	m

2.6 Verlusthöhe durch Reibung

$h_{v,r} = \lambda \cdot \frac{L}{d_{hy}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$

$h_{v,r} = \lambda \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d_i^4}$

$h_{v,r} = \frac{8 \cdot \lambda \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d_i^5}$

[h <sub>v,r</sub> ]	Verlusthöhe durch Reibung .....	m
[L]	Länge .....	m
[v <sub>m</sub> ]	Mittlere Geschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[Q]	Durchfluss .....	$\frac{m^3}{s}$
[d <sub>i</sub> ]	Innendurchmesser .....	m
[d <sub>hy</sub> ]	Hydraulischer Durchmesser .....	m
[l <sub>u</sub> ]	Benetzter Umfang .....	m
[λ]	Verlustbeiwert .....	–

Zusammenhang des hydraulischen Durchmessers:

$$d_{hy} = d_{Kreistrohr} = d_i = 4 R_{hy} = 4 \left( \frac{A}{l_u} \right)$$

2.7 Reynolds-Zahl Re

Die Reynolds-Zahl Re beschreibt das Verhältnis von Trägheitskräften zu Zähigkeitskräften in einer Strömung und wird wie folgt berechnet:

$Re = \frac{v_m \cdot d_{hy}}{\nu}$

Bemerkung: d<sub>hy</sub> = d<sub>Kreistrohr</sub> = d<sub>i</sub>

[Re]	Reynolds-Zahl (dimensionslos) .....	–
[v <sub>m</sub> ]	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit .....	$\frac{m}{s}$
[d <sub>hy</sub> ]	Hydraulischer Durchmesser .....	m
[d <sub>i</sub> ]	Innendurchmesser (für Kreistrohr gleich d <sub>hy</sub> ) .....	m
[ν]	Kinematische Viskosität .....	$\frac{m^2}{s}$