

Toolbox Wasserkraft

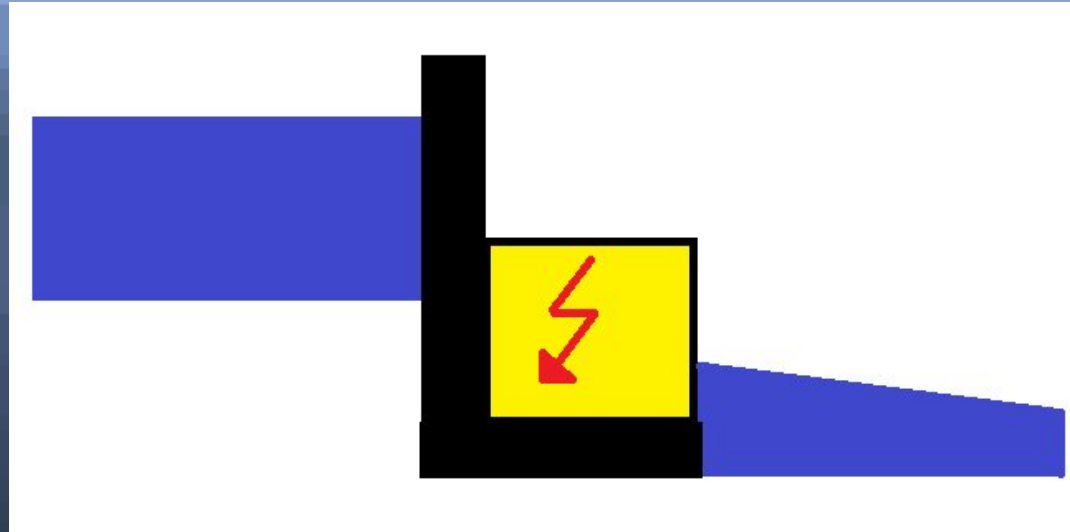
Software-Werkzeuge
zur Planung von Wasserkraftwerken

Ingenieurbüro DI. Dr. Otmar Mak

A-9074 Keutschach am See

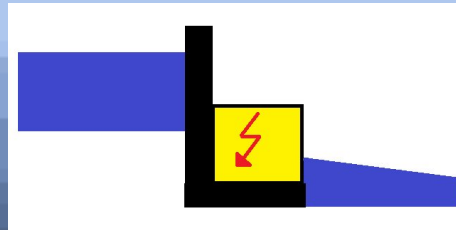
Toolbox Wasserkraft

HydroEnergy Explorer



entwickelt in Zusammenarbeit mit
ZT Dipl.Ing. Peter Schallaschek, Klagenfurt
(<http://members.chello.at/ziviling.schallaschek>)

Toolbox Wasserkraft



Potential-Analyse

Auswertung von hydrografischen Messreihen
Bestimmung von Abfluss-Dauerlinien und -Ganglinien
Energieberechnungen

Bauingenieur-Berechnungen

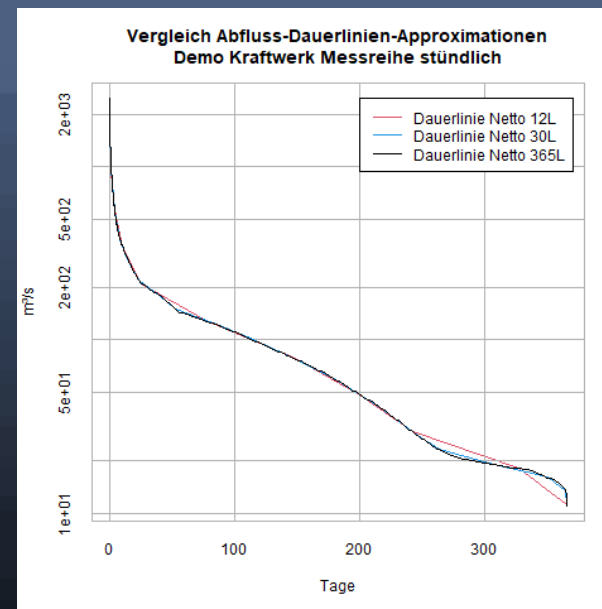
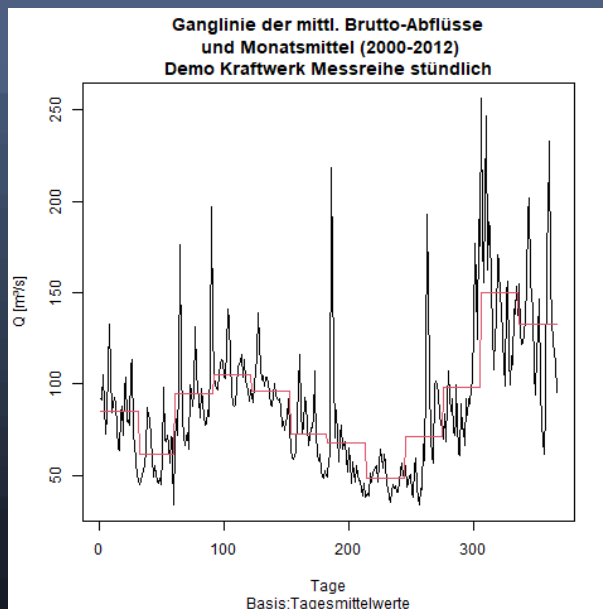
Wehr
Tosbecken
Entsander
Wasserschloss
Druckrohr-Auslegung
Druckstoß
Schwall und Sunk
Wasserspiegel-Simulationen
Hochwasser-Simulationen
Geschiebe-Simulationen

Toolbox Wasserkraft

Potential-Analyse

Auswertung von hydrografischen Messreihen
Bestimmung von Abfluss-Dauerlinien und -Ganglinien

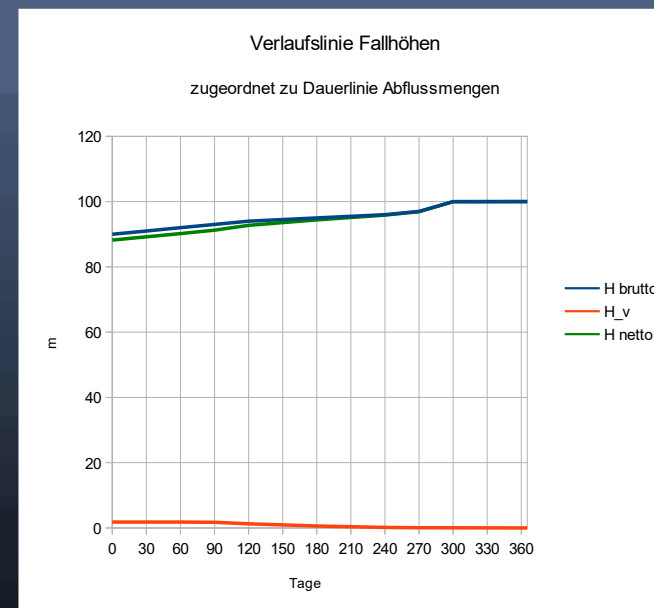
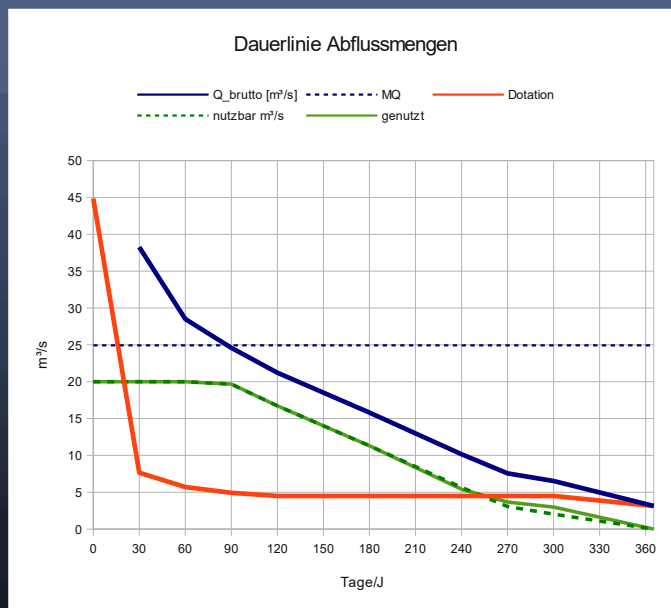
Beispiel: Messreihe mit stündlichen Abflusswerten



Toolbox Wasserkraft

Potential-Analyse Energieberechnungen

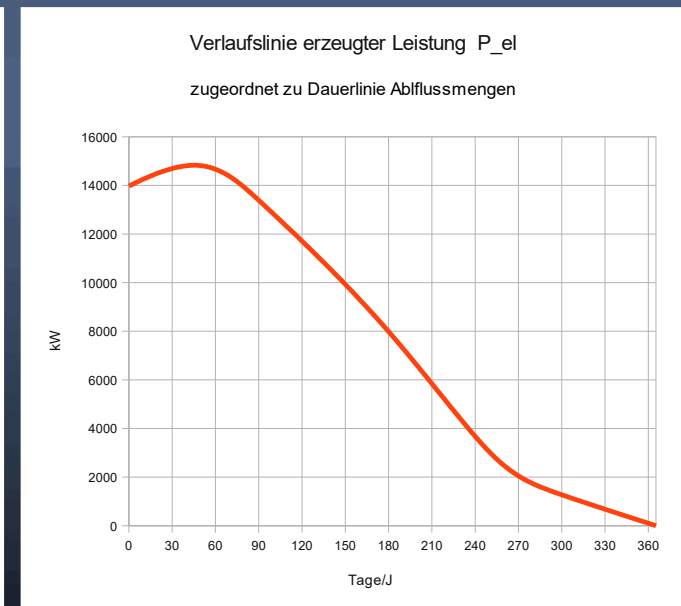
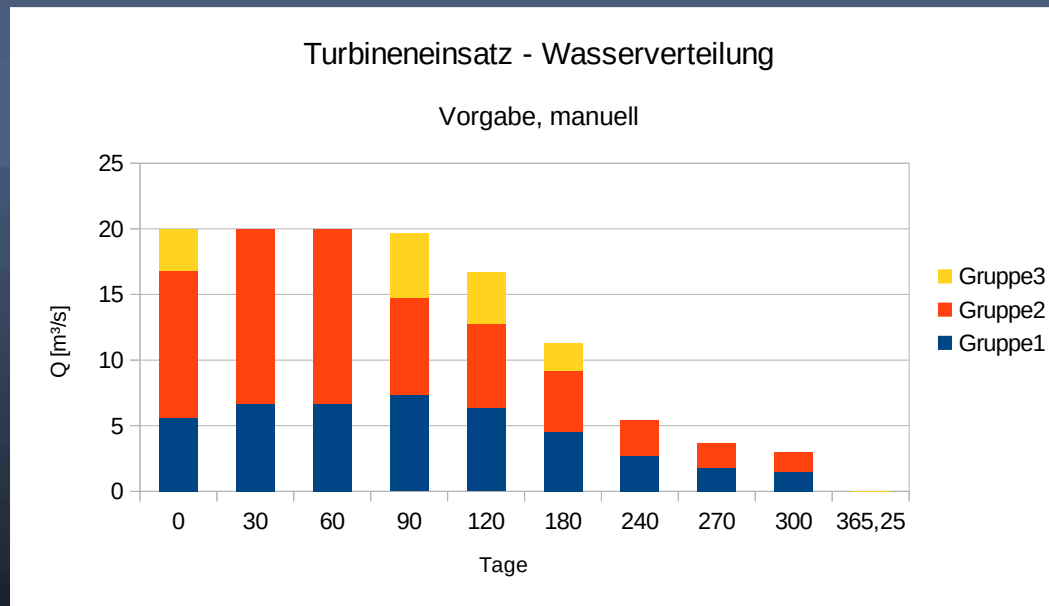
Beispiel: Mehrturbinen-Kraftwerk



Toolbox Wasserkraft

Potential-Analyse Energieberechnungen

Beispiel: Mehrturbinen-Kraftwerk



Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Wehr

Beispiel:

| WEHR-ABFLUSS-BERECHNUNG | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| Kote OW Sohlenhöhe | | | 550 m.ü.A. |
| Kote Wehrkrone | | | 550,5 m.ü.A. |
| Wehrhöhe | w | 0,5 m | |
| | g | 9,81 m/s ² | |
| Poleni -Beiwert | μ | 0,8 | |
| Wehröffnungsweite | b | 7 m | |
| Flussgeschwindigkeit OW | v ₀ | 2,2715 m/s | |
| Wassertiefe/Spiegelhöhe OW | h _{OW} | 1,7 m | 551,7 m.ü.A. |
| Überfallhöhe bezügl. Krone | h _ü | 1,2 m | |
| Energiehöhe OW | E | | 551,96 mÜA |

| | | |
|------------------------------|---|--------------------------------------|
| (vgl. Rössert) | Weisbach-Formel: | |
| Abfluss-Leistung Wehr | Q | 27,0318981464 m³/s |
| Kontrollwert | Q=v ₀ *b*(h _ü +w) | 27,03085 |
| | Differenz Q | -0,0010481464 m³/s |

| | |
|---|--|
| Überfall-Fluss | |
| bei lotrechten Seitenwänden ohne Strahlablösung: | |
| (Rössert, S. 86) | Q 33,7898726829 m³/s |

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \left[\left(h_u + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

| | | |
|------------------|------------------|--------------------------------------|
| (Rössert, S. 88) | Überfall-Beiwert | |
| | μ | 0,8 |
| | h _k | 0,2629822757 m |
| | Q | 27,0318981464 m³/s |

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b \left[(h_u + h_k)^{3/2} - h_k^{3/2} \right]$$

| | | |
|---|----------|--------------------------------------|
| bei festem Wehr mit hoher Überfallwand: | | |
| (Rössert, S. 88) | Q | 21,7379276289 m³/s |

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h_u^{3/2}$$

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Tosbecken

Beispiel:

| TOSBECKENBERECHNUNG NACH DROBIR | | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------|
| Wehrbreite | b | | 14 m |
| Abfluss | Q | | 100 m³/s |
| | q spezifisch | | 7,1428571429 (m³/s)/m |
| Fließtiefe Unterwasser | h _u | | 2 m |
| Fließgeschwindigkeit UW | v _u | | 3,5714285714 m/s |
| Froude-Zahl UW | Fr _u | | 0,806292216 |
| Eintiefung des Tosbeckens | e | | 1 m |
| Energiehöhe OW bzgl Tosbecken | w=H ₀ | | 4 m |
| Gravitation | g | | 9,81 ms ⁻² |
| Dichte Wasser | rho | | 1000 kg/m ³ |
| | | | |
| Faktor für Energieverluste | λ | | 0,1 |
| | | | |
| Fließtiefe Eingang Tosbecken | h ₁ | | 0,9719322997 m |
| konjugierte Fließtiefe | h ₂ | | 2,8213379738 m |
| | h ₂ ≤h _u +e | | WAHR |
| Fließgeschwindigkeit | v ₁ | | 7,3491303308 m/s |
| Froude-Zahl | Fr ₁ | | 2,3800355174 [-] |
| | Fr ₂ | | 0,9905203831 [-] |
| Energieverlusthöhe | | | 0,5766940048 m |
| Walzenlänge | | | m |
| Wechselsprunglänge | | | m |
| | | | |
| Mindestlänge Tosbecken | 5,5*(h ₂ -h ₁) | | 10,171731208 m |
| Einstauggrad | 1.05≤ε≤1.25 | ε | 1,0633252832 OK |

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Entsander

Beispiel:

| Quelle: Konstruktiver Wasserbau, Prof. Dr. Drobir, TU Wien | | |
|--|--------|---------------------|
| Entsander-Durchfluss | Q | 5 m ³ /s |
| Wassertiefe in der Entsanderkammer | h | 4,6 m |
| Breite der Entsanderkammer | b | 3,6956521739 m |
| h:b=1,25 ist günstiges Seitenverhältnis | h:b | 1,2447058824 |
| durchströmte Entsander-Querschnittsfläche | F | 17 m ² |
| Fließgeschwindigkeit in der Entsanderkammer | v | 0,2941176471 m/s |
| Grenzkorndurchmesser | d | 0,5 mm |
| Sinkgeschwindigkeit der Feststoffe im stehenden Wasser | w | 0,06 m/s |
| verminderte Sinkgeschwindigkeit infolge Turbulenz | v_s | 0,0418984361 m/s |
| Beiwert nach Büchi und Sokolow | a_B | 0,0615453173 |
| Beiwert zu Camp | a_C | 44 |
| Sinkzeit eines Feststoffkornes | t1 | 76,666666667 s |
| Aufenthaltszeit eines Feststoffkornes im Entsander | t2 | 76,666666667 s |
| Flotationsgeschwindigkeit nach Camp | v_c | 0,3111269837 m/s |
| Flotationsgeschwindigkeit nicht überschritten: | v<=v_c | WAHR |
| erforderliche Länge der Entsanderkammer: | L | 22,549019608 m |
| erforderliche Länge der Entsanderkammer (Büchi) | L_2 | 32,290970814 m |
| in die Entsanderkammer eingetragener Feststoff | C0 | 34 Teile |
| in der Entsanderkammer ausgeschiedener Feststoff | C | 1 Teile |
| | C/C0 | 0,0294117647 |
| Entsandungs-Wahrscheinlichkeit | W | 97,06% |
| Beiwert zu Entsandungsgrad | lambda | 1,6 |
| erforderliche Länge der Entsanderkammer (Velikanov) | L_3 | 30,97934228 m |

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Wasserschloss

Beispiel:

DIMENSIONIERUNG DES SCHACHTWASSERSCHLOSSES, nach Rössert (1999)

| | | |
|-------------------------|-----|------------|
| Stauziel | Z_s | 989,4 m+NN |
| Absenkziel | Z_a | 989 m+NN |
| Unterwasser Energiehöhe | Z_u | 953,5 m+NN |

| | | |
|--|------------|-------------------------|
| Rohfallhöhe zw. Speicher und Kraftwerk | h_g | m |
| Rohfallhöhe bei Stauziel | h_g max | 35,9 m |
| Rohfallhöhe bei Absenkziel | h_g min | 35,5 m |
| Druckstollen-Länge bis Wasserschloss | l_S | 73 m |
| Druckstollen-Querschnittsfläche | A_S | 3 m ² |
| Druckrohrleitung-Länge | l_DR | 1250 m |
| Druckstollen-Gefälle | | 0,005 [-] |
| gewählter horizontaler Wasserschlossquerschnitt | A_B | 60 m² |
| Fließgeschwindigkeit im Druckstollen bei Vollast | v_0 | 1,166666667 m/s |
| Fließgeschwindigkeit im anschl. Druckrohr | v_1 | 2,2736420442 m/s |
| Gravitation | g | 9,81 m/s ² |
| Druckhöhenverlust im Stollen bei Vollast | h_v,0_min | 0,036 m |
| für Mindestquerschnitt | h_v,0_m | 0,036 m |
| bei Druckstoß | h_v,0_max | 0,06 m |
| Eintrittsverlust Druckrohrleitung | h_v,eDR | 0,02 m |

Maximaler Spiegelanstieg über Stauziel z+ 0,69 m

bei plötzlicher vollständiger Entlastung
der vollbelasteten Turbinen

Spiegelanstieg MAX gewählt z_max 0,80 m

Extreme Spiegelabsenkung unter Absenkziel z- -0,73 m

bei plötzlicher Turbinenbelastung
von 0 auf 100%

Horizontaler Wasserschloss-Mindestquerschnitt AB_min 11,90 m²

nach Thoma

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Druckrohr-Auslegung

Beispiel:

| | | |
|----------------------|------------------|----------------------|
| DRUCKLEITUNG1 | | 1 ANZAHL |
| Höhenverlustformel | <i>Strickler</i> | |
| Länge Druckleitung | L | 400 m |
| Rohrdurchmesser | D | 3,5 m |
| Rauigkeitsbeiwert | K | 90 |
| Reihung | | 1 |
| hydraulischer Radius | R_h | 0,875 m |
| Querschnittfläche | | 9,621 m ² |

| | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| DRUCKLEITUNG2 | | 1 ANZAHL |
| Höhenverlustformel | <i>Prandtl-Colebrook</i> | |
| Länge Druckleitung | L | 400 m |
| Rohrdurchmesser | D | 2,4 m |
| äquiv. Sandrauheit | k | 3,000E-05 m 0,030 mm |
| Viskosität Wasser | ny | 1,30E-006 |
| ITERATION EIN/AUS | | 1 |
| Reihung | | 1 |
| Residuum Iteration | | 0,000E+00 |
| hydraulischer Radius | R_h | 0,6 m |
| Querschnittfläche | | 4,524 m ² |

| Triebwasserweg und Druckverluste | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|-----------|-------------|
| Komponente | Anzahl | Dm.[m] | Iteration | Gesamtlänge |
| Druckleitung (Strickler) | 1 | 3,5 | | 400 |
| Druckleitung (Colebrook) | 1 | 2,4 | JA | 400 |
| Gesamtlänge Druckleitungen | | | | 800 |

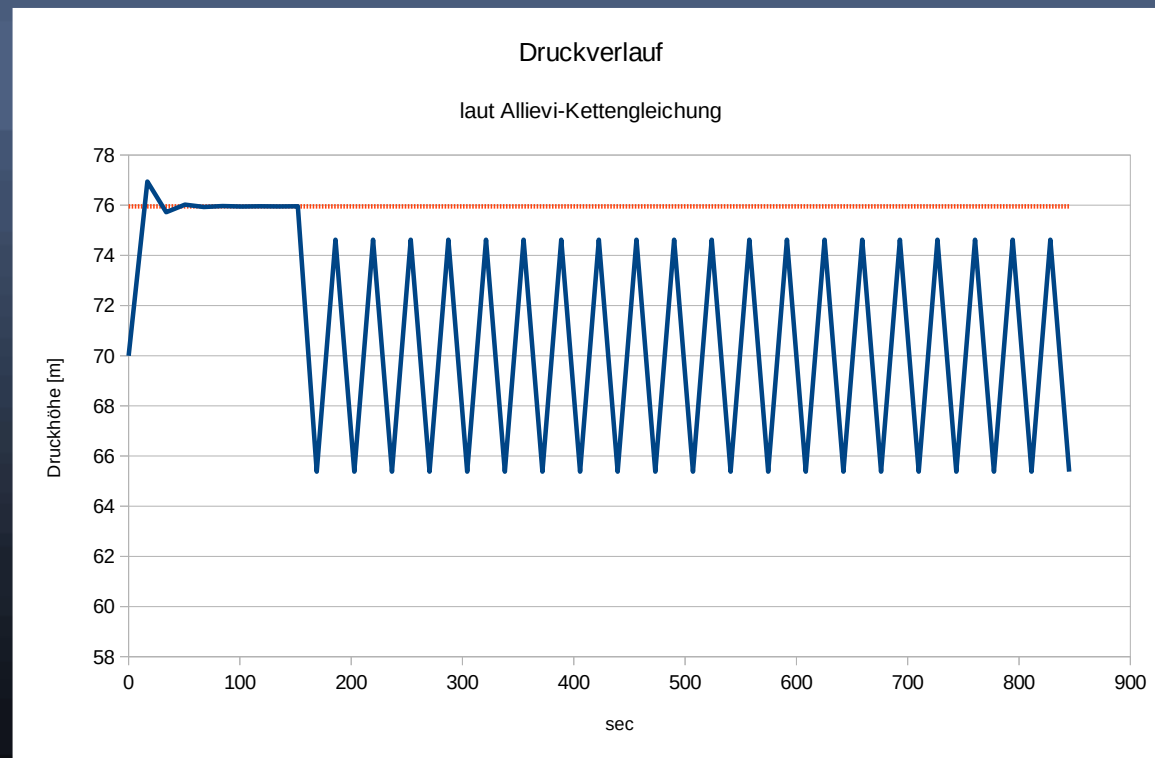
| Lokale Verlustkomponenten | Verlusthöhe*) |
|---------------------------|---------------|
| *) bei Ausbaudurchfluss | 0,00 |

| | | | | |
|----------------------------|-----|-------------|-----|--------------|
| Netto-Fallhöhen [m] | min | 88,2 | max | 100,0 |
|----------------------------|-----|-------------|-----|--------------|

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Druckstoß

Beispiel:



Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Schwall und Sunk

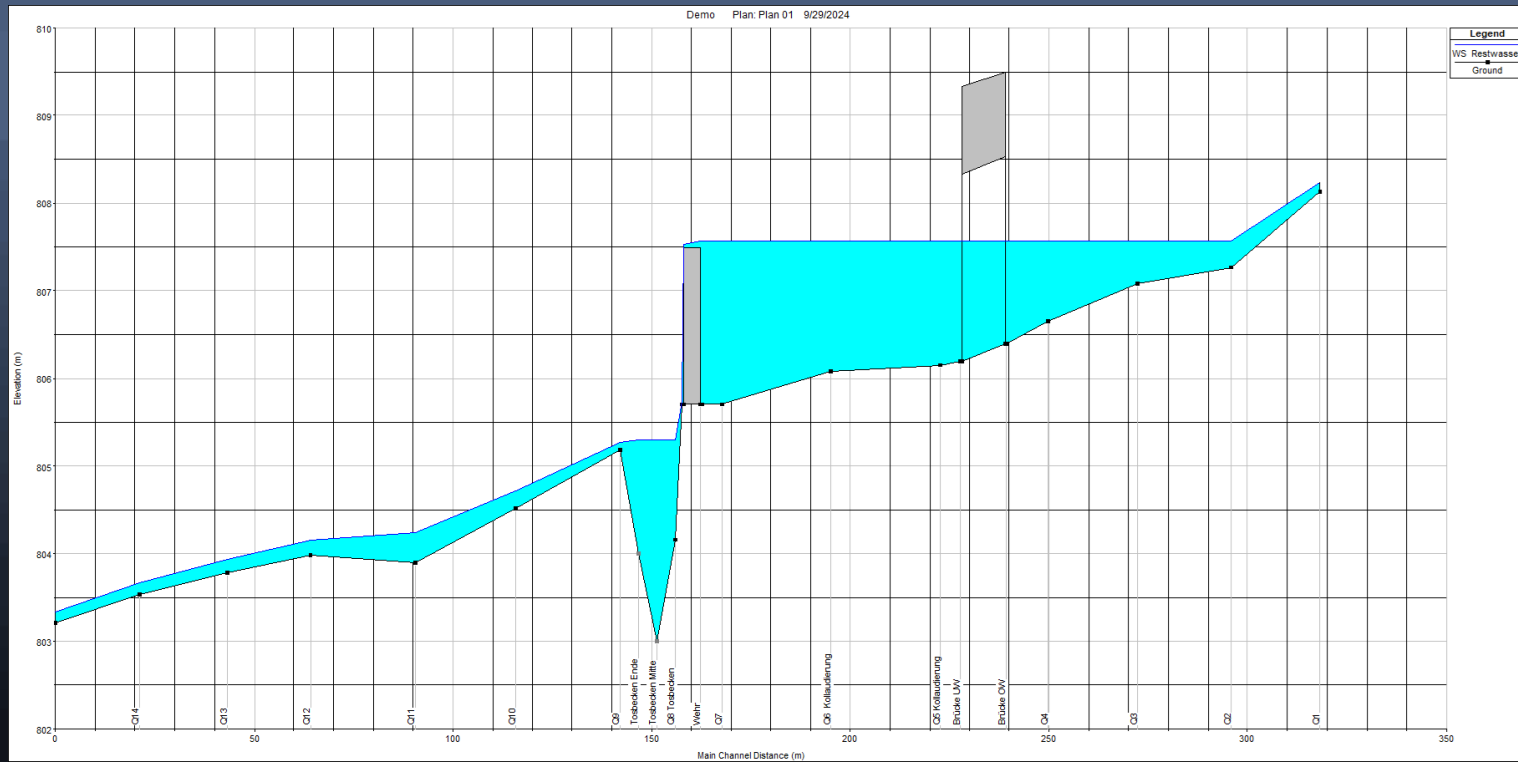
Beispiel:

| Quelle: Prof. Minor, ETH Zürich | | Füllschwall | Stauschwall | Absperrersunk | Entnahmesunk | |
|--|--------|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|
| normaler Abfluss | Q | 120 m ³ /s | 120 | 120 | 120 m ³ /s | |
| Querschnittsfläche | F | 60,001122 m ² | 60,001122 | 60,001122 | 60,001122 m ² | |
| Anfangs-Spiegelbreite | B0 | 23,324 m | 23,324 | 23,324 | 23,324 m | |
| Kanal-Böschung ΔB/ Δh | c | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| Schwallabfluss | ΔQ | 40 m ³ /s | 40 | -40 | 40 m ³ /s | |
| Geschwindigkeit des Flusses | v | 1,9999626007 m/s | 1,9999626007 | 1,9999626007 | 1,9999626007 m/s | |
| mittlere Wassertiefe F/B0 | h | 2,5725056594 m | | | | |
| Froude-Zahl | Fr | 0,3981156053 | | | | |
| Startwert Wasserspiegelanstieg | Δh0 | m | 0,2441750033 | 0,5671934437 | -0,2441750033 | -0,5671934437 m |
| Iterationswert Δhi | Δh_i | m | 0,2299559346 | 0,4575780161 | -0,2618436932 | -1,1567767954 m |
| Iterationswert Δhj | Δh_j | m | 0,2299559346 | 0,4575780161 | -0,2618436932 | -1,1567767954 m |
| Iterationswert Bi | B_i | m | 23,7839118691 | 24,2391560321 | 22,8003126136 | 21,0104473116 m |
| Iterationswert B1i | B1_i | m | 24,2438237383 | 25,1543120642 | 22,2766252271 | 18,6968928184 m |
| Querschnittsflächendifferenz Schwall | ΔF | m ² | 5,4692516817 | 11,0913049281 | -5,9701180612 | -24,3043979112 m ² |
| Kontrollterm | | | | | 13,2915266682 | |
| Startwert Schwallgeschwindigkeit | a0 | m/s | 7,0235350864 | -3,023609885 | 7,0235350864 | -3,023609885 m/s |
| Iterationswert | ai | m/s | 7,313614792 | -3,6064286627 | 6,700035006 | -1,6457926728 m/s |
| | aj | m/s | 7,313614792 | -3,6064286627 | 6,700035006 | -1,6457926728 m/s |
| Startwert rel. Schwallgeschwindigkeit | ω0 | m/s | 5,0235724857 | -5,0235724857 | 5,0235724857 | -5,0235724857 m/s |
| Iterationswert | ωi | m/s | 5,3136521913 | -5,6063912634 | 4,7000724053 | -3,645752735 m/s |
| Kontrollwert | ωj | m/s | 5,3136521913 | -5,6063912634 | 4,7000724053 | -3,645752735 m/s |
| mittlere Geschwindigkeit Fluss+Schwall | v_m | m/s | 2,4438534715 | 1,1252956673 | 1,4806313814 | 4,4822040141 m/s |
| Froude-Zahl unter Schwall/Sunk | Fr | | 1,29455774 | 0,6152973803 | 0,7277187484 | 1,8653212956 |
| Spiegelbreite Schwall | B1 | m | 24,2438237383 | 25,1543120642 | 22,2766252271 | 18,6968928184 m |
| mittlere Breite des Schwalls | B | m | 23,7839118691 | 24,2391560321 | 22,8003126136 | 21,0104473116 m |
| Schwallhöhe, Wasserspiegelanstieg | Δh | m | 0,2299559346 | 0,4575780161 | -0,2618436932 | -1,1567767954 m |
| Relativgeschwindigkeit Schwall | ω, w | m/s | 5,3136521913 | -5,6063912634 | 4,7000724053 | -3,645752735 m/s |
| Schwallgeschwindigkeit absolut | a | m/s | 7,313614792 | -3,6064286627 | 6,700035006 | -1,6457926728 m/s |
| Näherung Kozeny: plötzlich | Δh | m | | 0,486898457 | -0,2521962861 | |
| (strömender Abfluss) kurzzeitig | Δh | m | | 0,4674019676 | -0,2590695 | |
| bei völligem Abschluss | max Δh | m | | 1,056617446 | 0,502217446 | |
| ITERATION EIN/AUS | 1 | Residuum a_i-a_j | 0,00E+000 | 0,00E+000 | 0,00E+000 | 0,00E+000 m/s |
| | | Residuum ω | 0 3,2057912E-011 | 6,03961325E-014 | -7,087819505E-007 | m/s |
| Entfernung | L | 1500 m | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 m |
| Wasserspiegeländerung in Entfernung L | T | Verzögerung s | 205,10 | 415,92 | 223,88 | 911,41 s |

Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Wasserspiegel-Simulationen (mit Fremdsoftware)

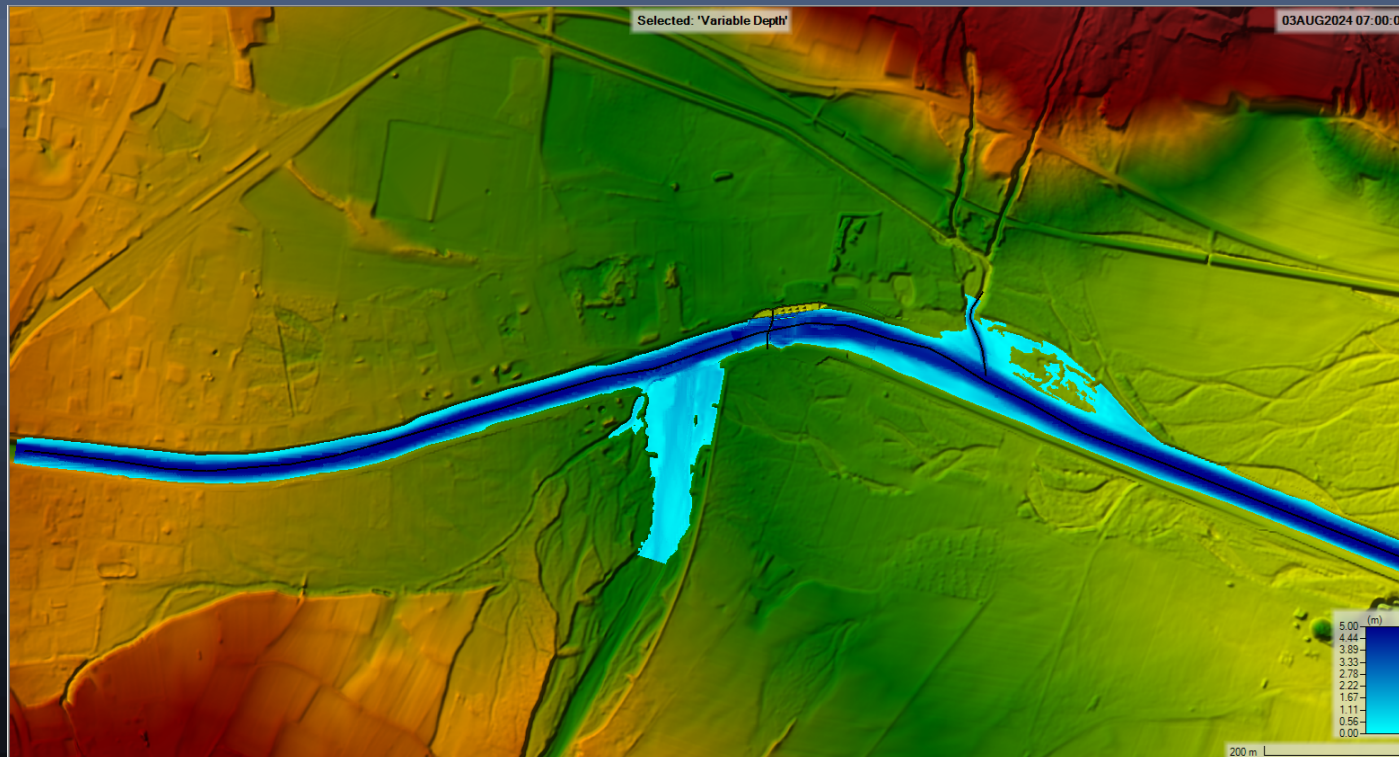
Beispiel:



Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen
Hochwasser-Simulationen (mit Fremdsoftware)

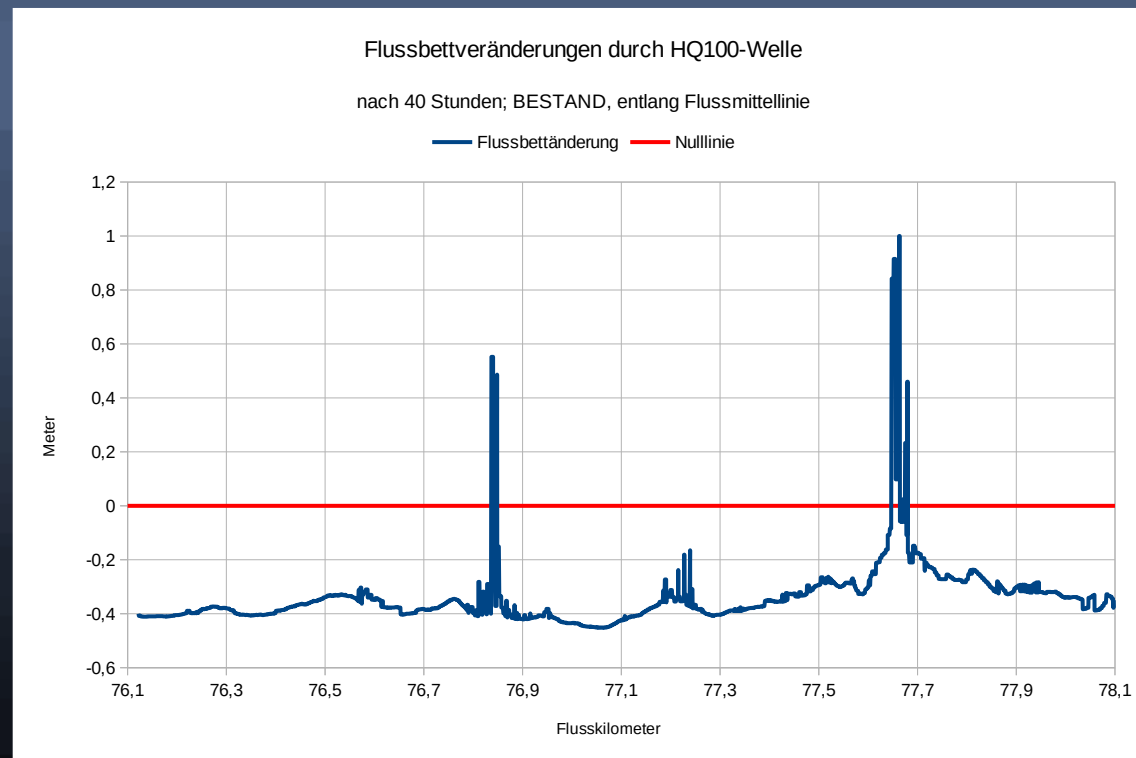
Beispiel:



Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Geschiebe-Simulationen (mit Fremdsoftware)

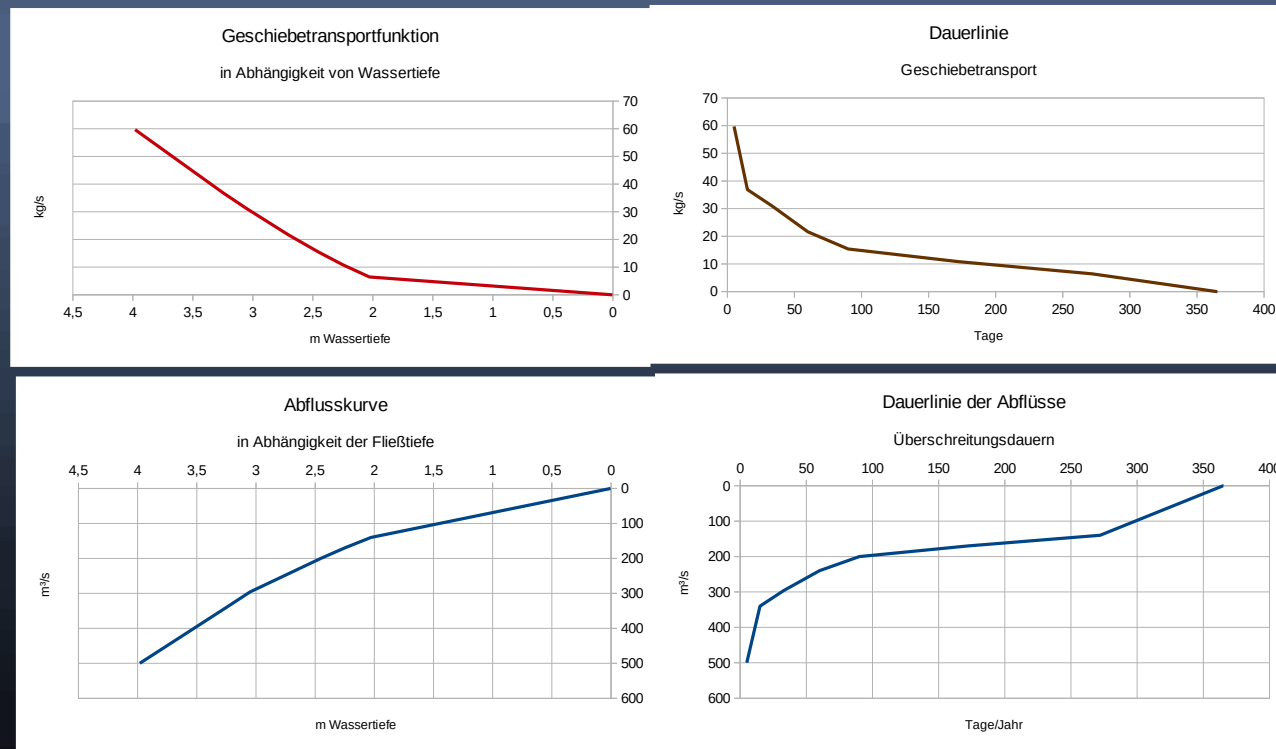
Beispiel:



Toolbox Wasserkraft

Bauingenieur-Berechnungen Geschiebe-Schätzungen

Beispiel:



Toolbox Wasserkraft

Copyright (C) 2013 Otmar Mak, Keutschach am See,
Austria. All rights reserved.

Konvertierungen in andere Datenformate,
Integration in neue Dokumente,
Zerlegung des Dokuments oder
Extraktion von Teilen, z.B. von Grafiken,
ist nicht gestattet.
Siehe [Nutzungsbedingungen](#) online.