

| | |
|---------------------|--|
| Zeitschrift: | Schweizer Ingenieur und Architekt |
| Herausgeber: | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine |
| Band: | 98 (1980) |
| Heft: | 35 |
| Artikel: | Hochwasser-Entlastungsstollen Würzenbach Luzern: technischer Beschrieb und hydraulische Probleme |
| Autor: | Desserich, Marcel |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-74169 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hochwasser-Entlastungsstollen Würzenbach Luzern

Technischer Beschrieb und hydraulische Probleme

Von Marcel Desserich, Luzern

Als geeignetste Lösung zur Sanierung der ungenügenden Abflussverhältnisse des Würzenbaches erwies sich eine Direktableitung der Hochwasser von $27,2 \text{ m}^3/\text{s}$ in den See durch einen Entlastungsstollen mit 3,08 m Durchmesser, einer Länge von 1460 m und einem Gefälle von 11,75 %. Die zufließenden Büttenenbäche werden ebenfalls über Wirbelfallschächte von 15 m und 30 m Höhe gefasst. Im Auslaufbauwerk werden die kinetischen Energien in einem Tosbecken verwandelt, bevor das Wasser durch Dükerleitungen unter der Seestrasse in den Vierwaldstättersee abgeleitet wird. Der beschriebene Hochwasser-Entlastungsstollen beseitigt eine ehemals latente Bedrohung des Würzenbachquartiers in Luzern. Er verkörpert ein zeitgemäßes Beispiel des Umweltschutzes auf dem Gebiete des Wasserbaues.

Die ungenügenden Abflussverhältnisse des Würzenbaches führten in den vergangenen Jahren häufig zu Überschwemmungen und Schäden. Zur Sanierung wurden drei typische Varianten untersucht:

- Ausbau des bestehenden Gerinnes für ein 100jähriges Hochwasser,
- Rückhaltebecken zur Speicherung der Hochwasser vor dem Überschwemmungsgebiet,
- Entlastungsableitung direkt in den See.

Die erste Lösung einer *Gerinnekorrektion* verbunden mit der Forderung einer Erhöhung des Abflussvermögens von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ auf das 100jährige Hochwasser von etwa $30 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte aus Naturschutzgründen, d.h. ohne gravierende Eingriffe in die Uferpartien, nicht ausgeführt werden.

Die zweite Lösung einer *Retention der Hochwasser* hätte ein relativ grosses Speichervolumen mit kostspieligem Staumauer- oder Erddammabschluss bedingt. Zudem hätte nicht das ganze Einzugsgebiet, ohne das der noch unterhalb der Sperre zufließenden Büttenenbäche, erfasst werden können.

Als geeignetste Lösung drängte sich in diesem Fall eine *Direktableitung* der Hochwasser mittels *Entlastungsstollen* in den See auf, verbunden mit der Auflage einer *Trockenwetterableitung* durch den bestehenden Würzenbach und einer *Retentionmöglichkeit des Geschiebes* in einem als Kiesfang wirkenden Rückhaltebecken oberhalb des Verzweigungsbauwerkes.

Die Übersicht über die gegebenen Verhältnisse und das Projekt des Hochwas-

Stadt Luzern für die kooperative Zusammenarbeit, insbesondere Herrn Stadtingenieur Albert Gassmann, dem die örtliche Bauleitung oblag.

Wassermengen

Das Abflussregime des Würzenbaches musste geschätzt werden, da keine Messreihen der Pegelstände zur Verfügung standen. Für die Ermittlung des *Hochwasserabflusses* wurden zwei grundsätzliche Methoden der Flussbau-praxis angewandt. Einerseits geben empirische Formeln wie die von *Kürsteiner* [1] brauchbare Ergebnisse. Anderseits sollen diese Abflussformeln mit weiteren Bestimmungsmethoden, wie z.B. mit der in den letzten Jahren weiterentwickelten mathematischen *Niederschlag/Abflussmodell-Methode* [2,22] oder dem bisher bekanntesten *Fliesszeitverfahren* [3,4] verglichen werden.

Formel von Kürsteiner [1]:

$$Q_{\max} = HHQ = C \cdot E^{2/3}$$

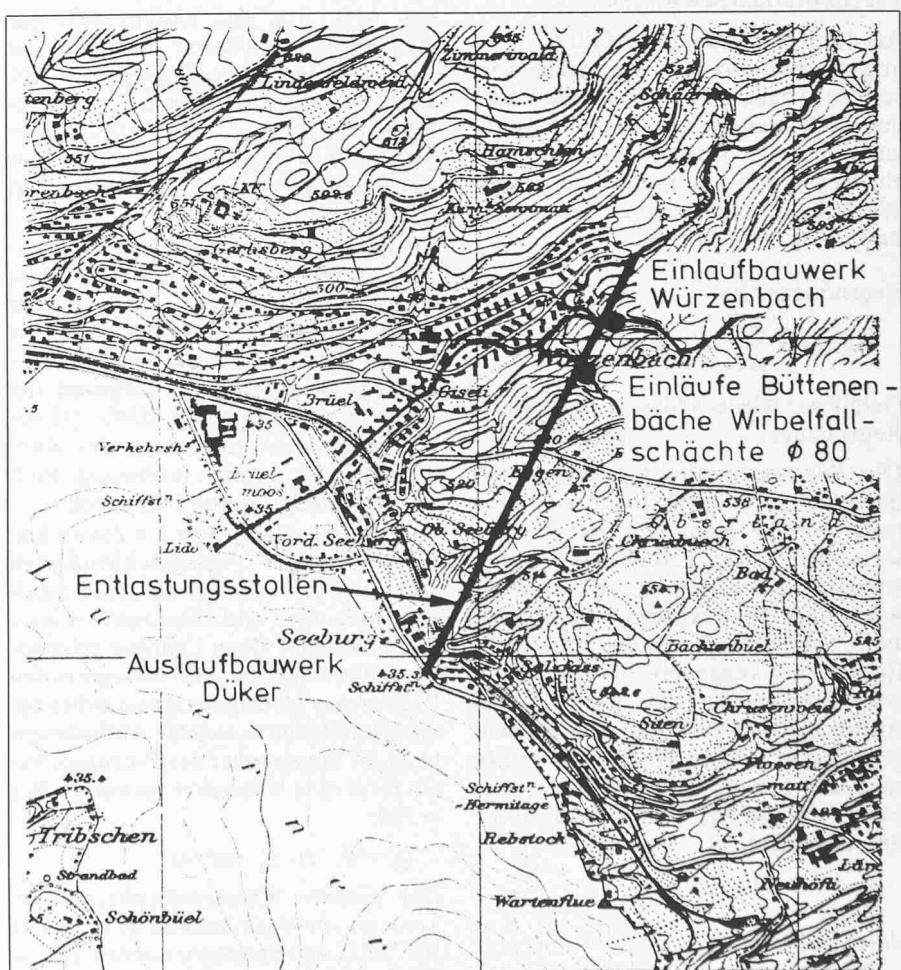


Bild 1. Situation Hochwasser-Entlastungsstollen Würzenbach Luzern

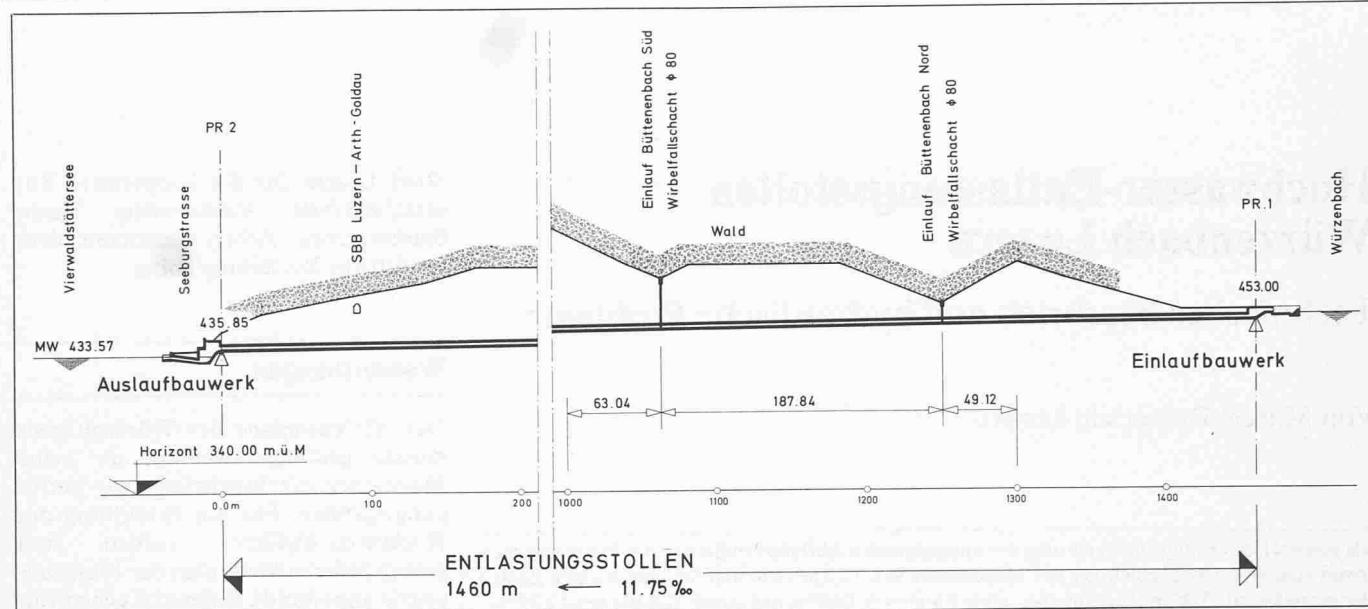


Bild 2. Längenprofil des Entlastungsstollens

Mit einer Einzugsgebietsfläche E des Würzenbaches (inkl. Büttenenbäche) von 9,4 ha und dem empirisch ermittelten Wert der Konstanten $C = 6-9$ für voralpine Gegenden, ergeben sich folgende Werte des Hochwasserabflusses:

$$Q_{\max} = 4,45 \cdot C \text{ (m}^3/\text{s)}$$

für $C = 6$: $Q_{\max} = 26,7 \text{ m}^3/\text{s}$

für $C = 9$: $Q_{\max} = 40,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Fliesszeitverfahren nach Imhof [4]:

Als Hypothese dieses Verfahrens wird angenommen, dass die maximale Wassermenge dann auftritt, wenn die Dauer des Starkregens mindestens so lang ist, wie die der Fliesszeit. Ausserdem weist ein Regen von bestimmter Dauer und Wiederkehrperiode eine zu bestimmende mittlere Intensität auf.

Regenintensität:

$$r = 166,7 \frac{\Delta N}{\Delta T} \text{ (m}^3/\text{s, ha)}$$

Gefallener Niederschlag ΔN in mm
Regendauer ΔT in Minuten

Die Regenintensität ist abhängig von der gewollten Häufigkeit der Wiederholung. Für die Ermittlung der Projektwassermenge des Hochwasser-Entlastungsstollens wurde eine Häufigkeit $z = 100$, d.h. ein durchschnittlich alle 100 Jahre einmal auftretender Spitzenabfluss HQ_{100} angenommen. Die Wahrscheinlichkeit oder das Risiko R_n des Auftretens eines die Projektwassermenge überschreitenden Hochwassers während der Lebensdauer des Bauwerkes kann nach Gumbel [7] wie folgt ausgedrückt werden:

$$R_n = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$$

dabei bedeuten:

n = Lebensdauer des Bauwerks (in Jahren)

R_n = Wahrscheinlichkeit (Risiko) des Auftretens eines die Projektwassermenge überschreitenden Hochwassers

T = Wiederkehrintervall (in Jahren) des Projektwassers HQ_{100} während der Periode z.B. $T = 100$ Jahre

Für $HQ_{\text{Projekt}} = HQ_{100}$, $T = 100$ Jahre und $n = 100$ Jahre folgt ein R_n -Wert von 0,64, d.h. das Risiko, dass das 100jährige Hochwasser während der angemessenen Lebensdauer von 100 Jahren einmal überschritten wird, beträgt 64 Prozent. Für $HQ_{\text{Projekt}} = HQ_{1000}$, $T = 1000$ Jahre und $n = 100$ Jahre beträgt hingegen das Risiko nur noch 9,5 Prozent.

Entsprechend einem in Luzern maximal gefallenen Niederschlag von 60 mm/Stunde ergibt sich in der Wiederkehrperiode $z = 100$ Jahre eine Regenintensität von $r_{100} = 170 \text{ l/s,ha}$. Analoge Werte können aufgrund der Veröffentlichungen von Hörler [3] aus den Regenintensitätskurven des Kantons Aargau, gemäss Vorlesung Prof. C. Lichtenhahn [4], ermittelt werden. Bei einer Bachlänge von $L =$ etwa 8 km, einer mittleren Fliessgeschwindigkeit von $v = 3 \text{ m/s}$, beträgt die totale Laufzeit (Anlaufzeit und Fliesszeit) $t =$ etwa 50 Minuten [6]. Beim Laufzeitverfahren wird die Fliesszeit der massgebenden Regendauer gleichgesetzt und es beträgt die sekundliche maximale Abflussmenge Q_i im Messpunkt i des Einzugsgebietes E_i für eine Wiederkehrperiode z . $B. z = 100$:

$$Q_i = \Psi_i \cdot r_i \cdot E_i \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Der mittlere Wasserverlustbeiwert Ψ_i kann im vorliegenden Fall zu rund 0,18 bis 0,25 angenommen werden [5], so dass folgende Projektwassermengen ermittelt wurden:

Jährlichkeit der Projektwassermenge: $z = 100$ jähriges Hochwasser.

Hochwasserzufluss:

Würzenbach:

$$Q_{100} = 0,18 \times 170 \text{ l/s,ha} \times 860 \text{ ha} = 25,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Büttenenbäche:

$$Q_{100} = 0,25 \times 170 \text{ l/s,ha} \times 80 \text{ ha} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Total $Q_{100} = 29,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Umgeleitete Hochwassermenge = Projektwassermenge im Entlastungsstollen

Würzenbach: $Q = 23,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Büttenenbäche: $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Total: $Q = 27,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Restwasser = Pflichtwasser im alten Gerinne:

ab Stollenumleitung ($E = 8,6 \text{ km}^2$):
 $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$

mit Zufluss bis Seemündung ($E = 10,5 \text{ km}^2$): $Q = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Mit etwa 10 km^2 Einzugsgebiet und einer Hochwassermenge Q_{100} von rund $30 \text{ m}^3/\text{s}$ zählt der Würzenbach mit seinen Nebenbächen zu den besonders kritischen Gewässern in Luzern mit ehemals häufigen Schadeneignissen.

Verzweigungsbauwerk Würzenbach

Oberhalb des Siedlungsgebietes wurde im natürlichen Bachbett des Würzenbaches das Verzweigungsbauwerk mit Geschiebe-Rückhaltebecken angeordnet.

Durch den Einbau eines oberen Staubzw. Überfallwehres wird die Zufluss-Geschwindigkeit abgebremst, die natür-

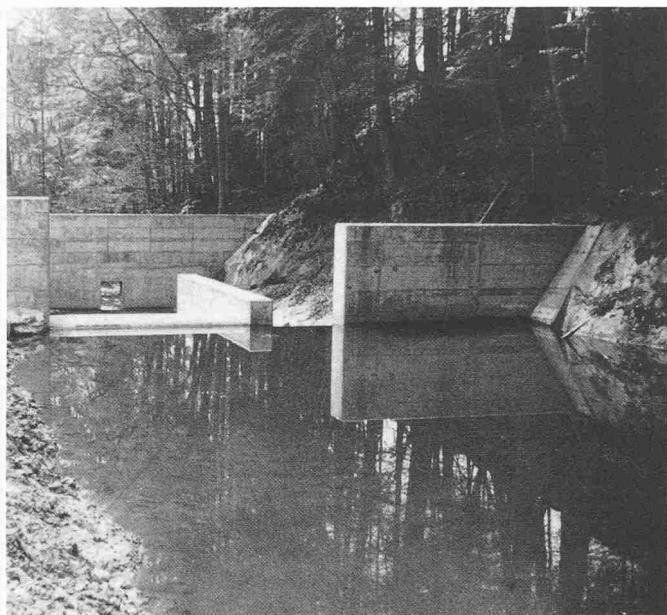


Bild 3. Blick vom Oberwasser (Kiesfang-Rückhaltebecken) auf das Verzweigungsbauwerk

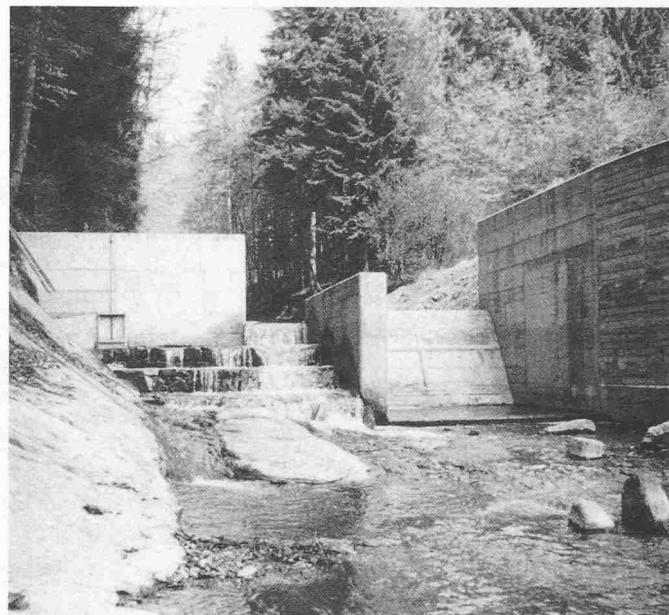


Bild 4. Überfallwehr mit Fischtreppen

liche Schleppkraft verkleinert und somit eine Auflandung vor dem Wehr erzwungen [25]. Der Inhalt des als Kiesfang wirkenden Rückhaltebeckens umfasst etwa 100 m^3 (Bild 3). Entsprechende Zufahrtswege ermöglichen die jährliche Ausbaggerung des Geschiebes aus dem Rückhaltebecken sowie die Säuberung der Geschwemmsel-Rückstände im Zwischenbecken.

Das Überfallwehr konnte, wie übrigens alle anderen Bauwerke, auf gesunden Fels abgestellt bzw. eingebunden werden. Eine parallel neben der Leitwand des Wehres geführte Fischtreppen ermöglicht die Fischpassage des Bauwerkes auch bei Niederwasser. In vier Stufen zu je 50 cm wird der Höhenunterschied von 2 m überwunden (Bild 4).

Der unterhalb des Verzweigungsseinlaufes angeordnete eigentliche Talsperrenabschluss gestattet den freien Abfluss

der Niederwasser des Würzenbachs durch eine mit einer Schütze stationär ausgerüsteten Auslauföffnung (Bild 5). Bei Hochwasser erfolgt ein Aufstau mit zunehmender Durchfluss-Wassermenge durch diese Öffnung und – mit steigendem Wasserspiegel – eine sukzessiv zunehmende Ableitung der Hochwasser über die als breiter Überlauf ausgebildete Einlaufschwelle in den Umleitungsstollen [18]. Ein massiver Stahlrechen beim Stolleneinlauf verhindert das Eindringen grober Geschwemmselteile wie Strünke und Baumstämme (Bild 6). Zu Revisionszwecken kann der Stollen mit Dammbalken temporär in der Trockenperiode abgeschlossen werden. Durch entsprechende Wahl der Grösse und Lage der Durchflussoffnung in der Talsperre und der Überlaufkote im Einlaufbauwerk wird die sogenannte Trenncharakteristik bestimmt (Bild 8)

[24]. Dadurch werden die maximal zulässigen Abflüsse im alten Gerinne des Würzenbachs limitiert sowie die Grenzwassermenge für das Anspringen des Hochwasser-Entlastungsstollens festgelegt. Im vorliegenden Fall wird bei einer Schützöffnung von 40 cm der Würzenbachabfluss bei max. Stau auf $2 \text{ m}^3/\text{s}$ limitiert (Bild 9).

Die hydraulischen Verhältnisse und Abflussvorgänge bei Hochwasser sind für das gesamte Einlauf- bzw. Verzweigungsbauwerk in Bild 7 dargestellt. Ausgehend von den fixen Fließwechselstellen der strömenden zu den schiessenden Abflusszuständen, d.h. beim Wehrüberfall und beim Stolleneinlauf kann mittels Staukurvenberechnungen der Wasserspiegelverlauf für die interessierenden Wassermengen ermittelt werden [19,20].



Bild 5. Talsperrenabschluss



Bild 6. Einlaufbauwerk mit Überlaufschwelle und Rechen

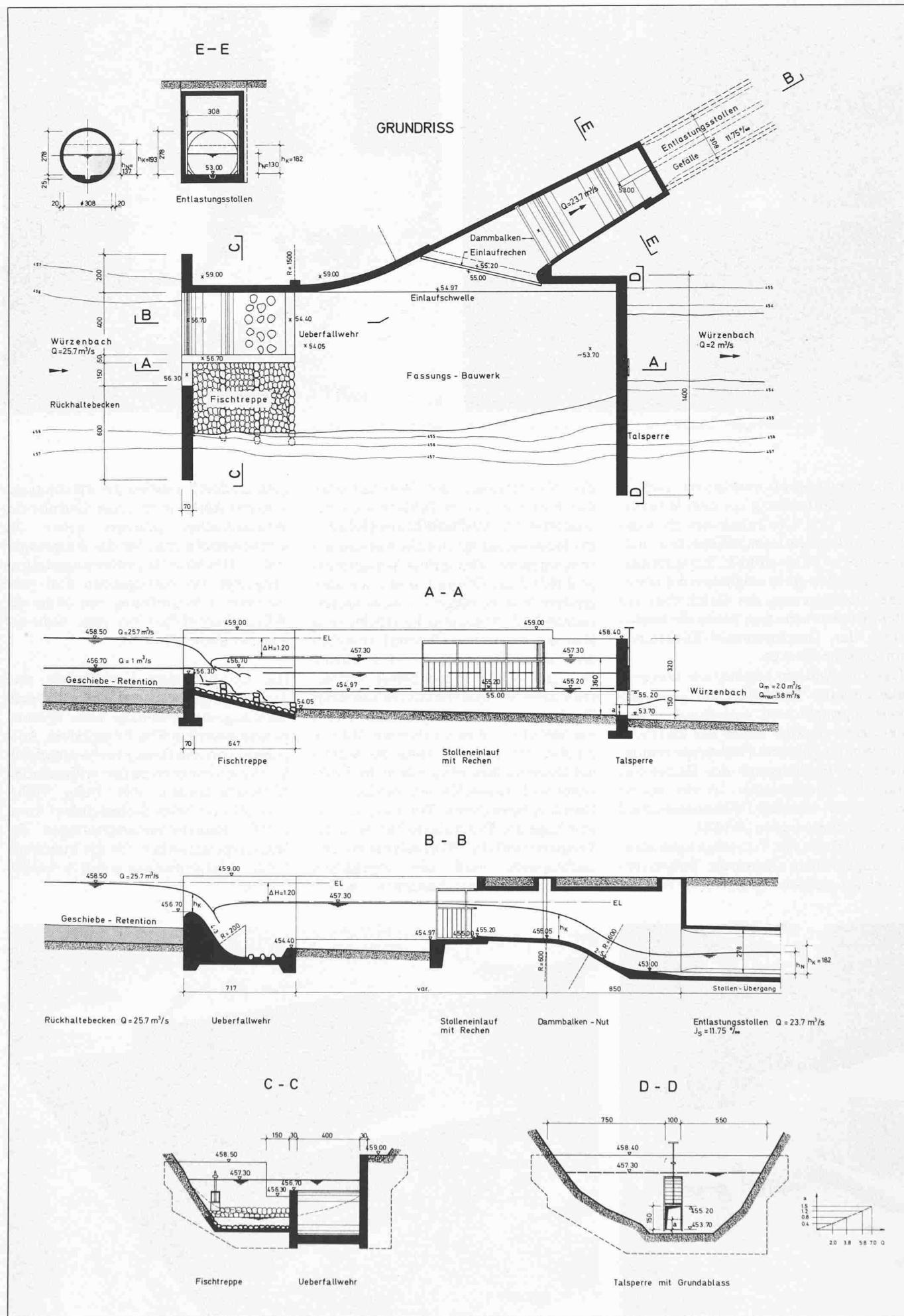


Bild 7. Verzweigungsbauwerk des Würzenbachs, bestehend aus Rückhaltebecken, Wehrüberfall und Fischtreppen, Talsperrenabschluss und Einlaufbauwerk Entlastungsstollen



Bild 12. Fassungsbauwerk Büttenenbäche

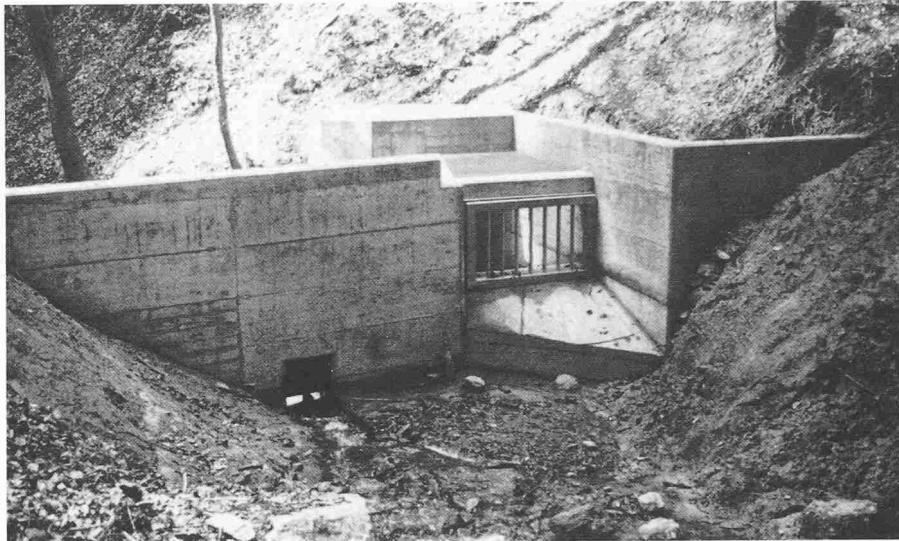


Bild 13. Talsperrenabschluss Büttenenbäche und Einlaufbauwerk Wirbelfallschacht

Fassungsbauwerke der Büttenenbäche (Wirbelfallschächte)

Die Hochwasser der in den Würzenbach mündenden Büttenenbäche werden über der Stollenaxe gefasst und durch *Wirbelfallschächte* in den Entlastungsstollen abgeleitet (Bild 14). Die Wirbelfallschächte der Büttenenbäche sind 15 m bzw. 30 m hoch und weisen einen kreisrunden Querschnitt mit einem Schachtdurchmesser von $D_s = 80$ cm auf. Die Verhältniszahlen «Höhe/Durchmesser» betragen demzufolge: $H/D_s =$ etwa 19 bzw. 38.

Die Abflüsse schwanken zwischen 0 und $2 \text{ m}^3/\text{s}$ je Schacht, wobei der Maximalwert als 100jähriger Höchstwert veranschlagt und als Ausbauwassermenge den Bachfassungen zugrunde gelegt wurde.

Mit dem *Wirbelfallschacht*, der *Drallkammer* und dem *Einlaufbauwerk* ist ebenfalls der *Talsperrenabschluss* als einheitliches Bauwerk konzipiert (Bild 12).

Die Trenncharakteristik sieht analog der des Würzenbaches aus, indem bei zunehmendem Hochwasser-Zufluss hinter der Sperre, bei ansteigendem Spiegel, das Wasser über die Einlaufschwelle in den Wirbelfallschacht und den Entlastungsstollen abgeleitet wird. Die regulierbare Ausflussöffnung von 50×60 cm gestattet einen Abfluss für das Niederwasser (Dotierwassermenge) von etwa $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ und einen Hochwasserabfluss durch die Wirbelfallschächte bis zu je $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bild 13).

Die *Wirbelfallschächte* (Bild 14) bestehen im wesentlichen aus einem spiralförmigen Einlauf, aus einem vertikalen kreisrunden Schacht und einer Toskammer am Schachtfuss. Die hydraulische Berechnung des Wirbelfallschachtes kann auf der Grundlage der physikalischen Gesetze von erzwungenen Rotationsströmungen, in Analogie zu dem «Badewannenwirbel» erfolgen. Die Wirbelfallschächte verfolgen den Zweck, eine spiralförmige, an die Schachtwand gepresste Vertikal-Ableitung zu erhalten [13].

Der im Schachtinnern vorhandene Atmosphärendruck (Luftsäule) soll den an der Wandung erfolgende Rotationsabfluss mit gleichzeitiger teilweiser Energieumwandlung garantieren. Die an der VAW an der ETH Zürich unter der Leitung von Herrn Prof. D. Vischer [8] durchgeföhrten Modellversuche derartiger Wirbelfallschächte lassen erkennen, dass der schiessende Abfluss im Einlaufgerinne deren Wirksamkeit erhöht. Schwankende und selbst kleine Abflussmengen können derart beschleunigt werden, dass der ihnen in der Einlaufspirale aufgezwungene Drall ausreicht, um sie an die Schachtwandung zu drücken (Bild 10), [14].

Für den Zufluss im schiessenden Fließzustand sorgt ein Längsgefälle der Drallkammersohle von 30 Prozent in der Einlauftrumpe mit sukzessiver Abnahme bis auf 15 Prozent. Die Einlaufbreite B der Drallkammer wurde gleich dem Schachtdurchmesser $D_s = 80$ cm gewählt ($B/D_s = 1$).

Drallkammer

In der Praxis hat sich die Konstruktion der *Spirale mit Korbbögen* nach Drioli [11] bewährt (Bild 11). Für die im vorliegenden Fall ermittelten Größen B , D_s und $S = 25$ cm ergeben sich die übrigen Abmessungen des Spiraleinlaufes aus folgenden Beziehungen:

$$\text{Einlaufbreite: } B = 80 \text{ cm}$$

$$\text{Durchmesser Wirbelfallschacht: } D_s = 80 \text{ cm}$$

$$\text{Radius Wirbelfallschacht: } R_s = D_s/2 = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Abstand Schachte zu Einlaufaxe: } A = R_s + S + B/2 = 105 \text{ cm}$$

$$\text{Exzentrizität der Korbbögen: } E = (B + S)/7 = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Spiralradien der Drallkammer: } R_1 = R_s + E = 55 \text{ cm}$$

$$(\text{Korbogen-Radien!}) \quad R_2 = R_s + 2E = 70 \text{ cm}$$

$$R_3 = R_s + 4E = 100 \text{ cm}$$

$$R_4 = R_s + 6E = 130 \text{ cm}$$

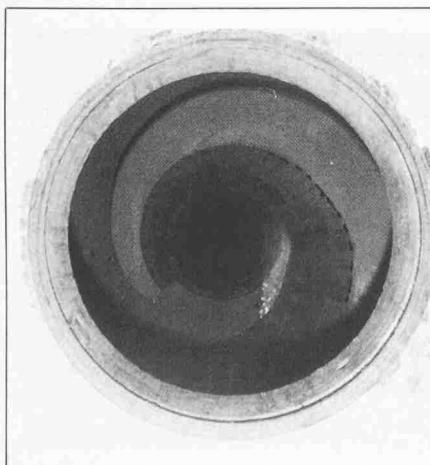


Bild 10. Spiralförmiger Einlauf des Wirbelfallschachtes

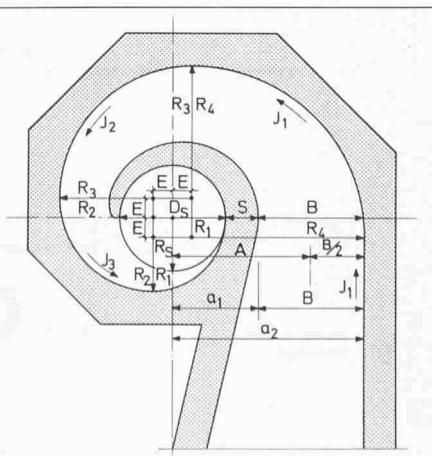


Bild 11. Spiral-Ausbildung des Wirbelfallschachtes

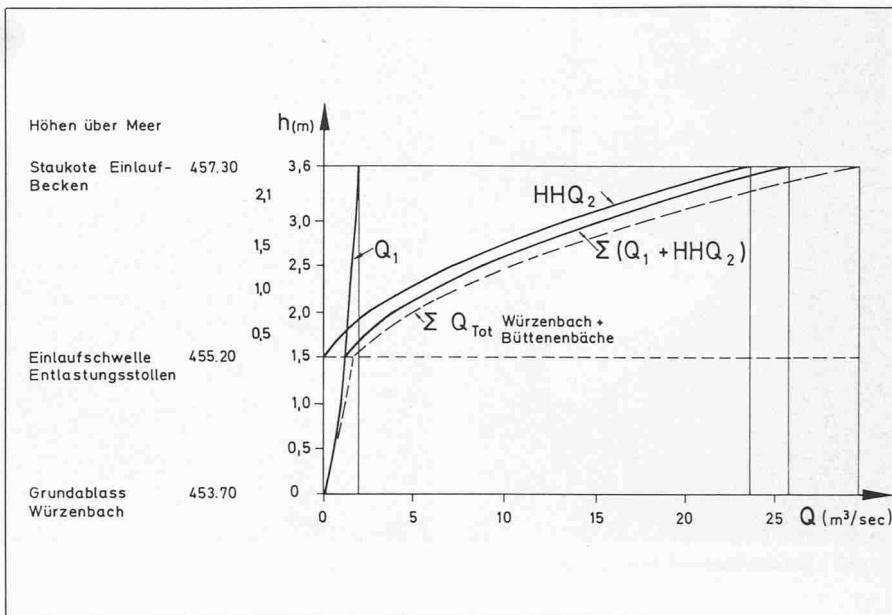
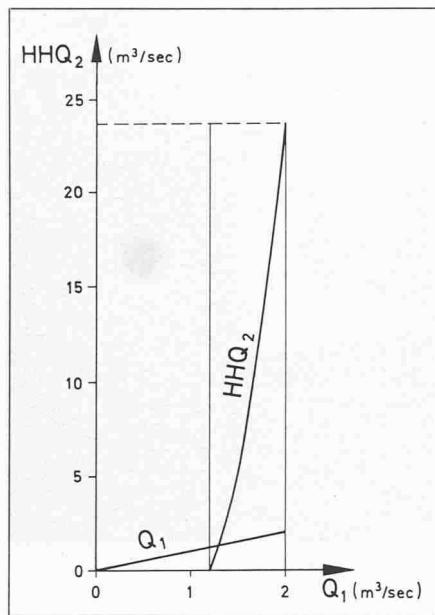


Bild 8. Trenncharakteristik des Verzweigungsbauwerkes

Bild 9. Trenncharakteristik in Funktion der Koten

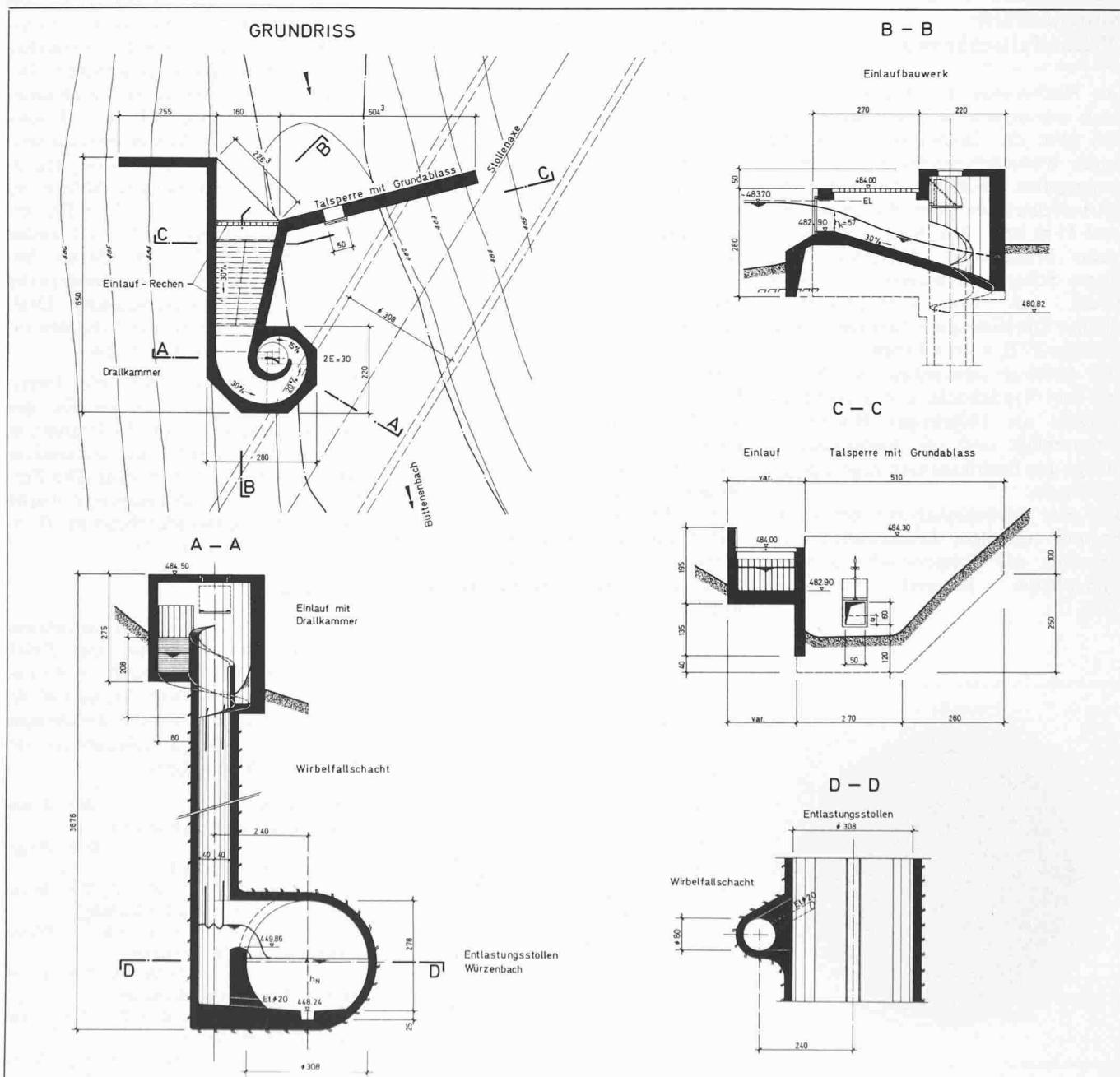


Bild 14. Verzweigungsbauwerk der Büttenebachs, bestehend aus Rückhaltebecken, Talsperrenabschluss und Einlaufbauwerk des Wirbelfallschachtes

Abstand Einlauf/Wirbelfallschacht:
 $S = 25 \text{ cm}$
 Innenradius: $a_1 = A - B/2 = 65 \text{ cm}$
 Außenradius: $a_2 = A + B/2 = 145 \text{ cm}$

Spiralströmung

Die in der Folge verwendeten Abkürzungen bedeuten:

| | |
|---------------|---|
| Q | Abflussmenge |
| R_0 | Wirbelkernradius |
| H | Hydrostatische Höhe |
| g | Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$) |
| c | Konstanter Faktor |
| ξ, δ | Verhältniszahlen |
| μ, η | Funktionsparameter |
| f | Vertikaler Wirbelkernabstand von Drallkammersohle |
| λ | Reibungswert |

a) nach Ackers und Crump [10]:
 Einlaufbedingung:

$$\text{mit } \xi = \frac{R_0}{R_s} = 0,5$$

$$\text{und } c = 0,7 \cdot R_0 \sqrt{2 g H} = 1,0$$

$$\text{wird } Q = H \cdot c \cdot \ln \frac{a_2}{a_1} - \frac{c^3}{4g}$$

$$\left(\frac{1}{a_1^2} - \frac{1}{a_2^2} \right) = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Abflussbedingung:

max. bei $\partial Q / \partial \delta = 0$:

$$\frac{H+f}{D_s} = \frac{c^2(1+\delta)}{g D_s^2 \cdot \delta^2}$$

$$\text{mit } \delta = \xi^2 = \frac{R_0^2}{R_s^2} = 0,25$$

$$\text{wird } Q = \frac{\pi D_s}{4} \cdot c \sqrt{\frac{2(1-\delta)^3}{\delta^2}} \\ = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) nach Drioli, Viparelli und Pica [9, 11, 12]:

$$Q = \mu \cdot \pi R_s^2 \sqrt{2 g H} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

mit $\mu \approx 0,6$

Fallschacht

Durchmesser:

$$D_s = \eta \sqrt[5]{\frac{Q^2}{g}} \approx 0,80 \text{ m}$$

mit $0,70 < \eta < 1,05$

Schachtwasser-Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt[3]{\frac{8 Q g}{\lambda \pi D_s}} \approx 4,6 \text{ m/s}$$

Entlastungsstollen

Die gegenüber dem Würzenbach wesentlich kürzere Ableitstrecke in den See erlaubte ein grösseres Gefälle des Stollens und somit ein relativ kleiner Abflussquerschnitt für eine erforderliche Abflussleistung von rund $28 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bild 1 und 7).

Der Entlastungsstollen als Umleitungs-kanal der Hochwasser hat eine Länge von 1460 m, ein Gefälle von 11,75% und als Kreissegmentprofil einen In-

nendurchmesser von 3,08 m. Der Stollen durchquert Sandstein- und Mergel-schichten der unteren Süsswassermo-lasse. Da besiedeltes Gebiet und die SBB-Gotthardstrecke unterfahren wurden, war ein mechanisch vorgetriebener Stollen nach bekannten Bohrsystemen wünschbar. Gewählt wurde ein kreis-runder Querschnitt von 3,50 m Bohr-Durchmesser.

Die Erfahrung beim Bau des Sonnen-bergtunnels der Nationalstrasse N2 zeigte, dass ein Schutz der Felsoberflä-che erforderlich war. Es wurde deshalb auf die ganze Länge eine Betonverklei-dung von 20 cm Stärke ausgeführt. Die dadurch verbesserte Oberflächenbe-schaffenheit gewährleistet zudem eine höhere Abflusseleistung sowie eine grössere Sicherheit gegen Abrasionseinwirkungen (Bild 15).

Der horizontale Sohleneinbau mit mittlerer Sickerwasserrinne (Niederlaufrinne) garantiert eine gute Begehbarkeit zu Kontrollzwecken. Die Einleitung der Büttendenbäche in den Stollen erfolgt über einen Überfall der seitlich der Stollenwandung angeordneten schachtför-migen Toskammern (Bild 16).

Die Abflusskapazität des als Freispie-gelabfluss-System konzipierten Entla-stungsstollens ist von der Wahl des Querschnittes, der Rauigkeit und der Stollenneigung abhängig.

Der Abfluss der Ausbauwassermenge von $Q = 27,2 \text{ m}^3/\text{s}$ im Stollen ist schies-

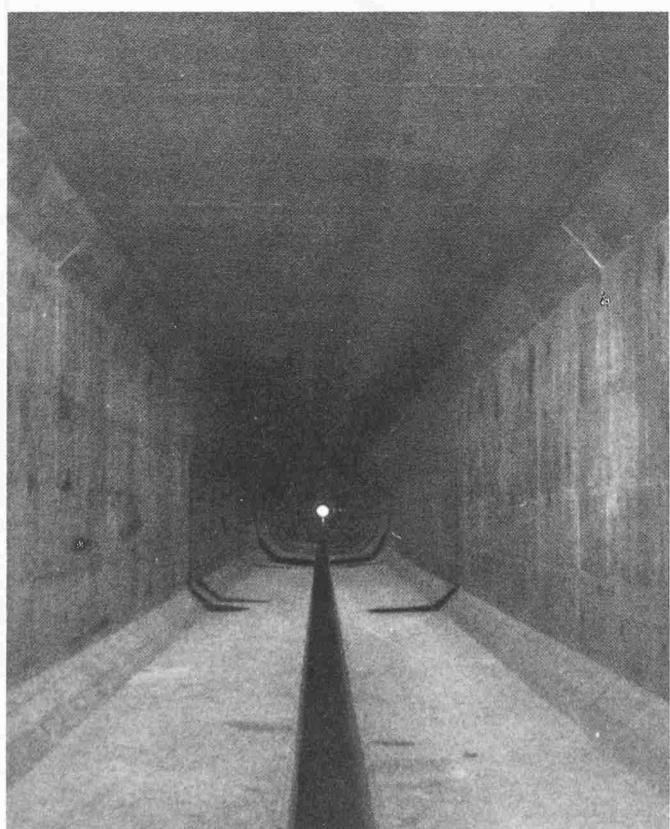


Bild 15. Hochwasser-Entlastungsstollen

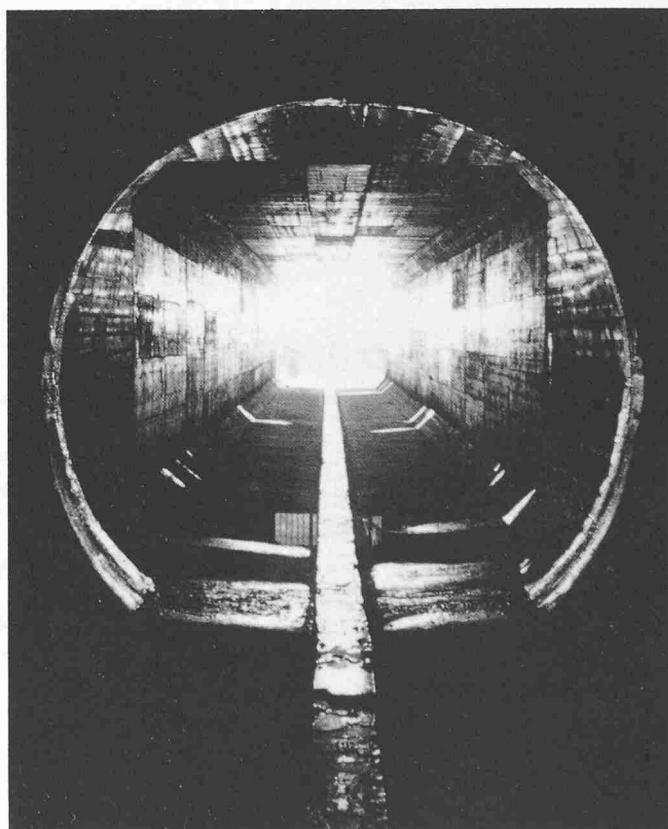


Bild 16. Stollenquerschnitt

send ($V_N = 6,5 \text{ m/s}$), wobei sich eine Normalabflusshöhe von $h_N = 1,51 \text{ m}$ einstellt, bei einem Rauhigkeitswert nach Strickler von $k_s = 70$ bzw. einer Wandrauhigkeit von $W_R = 2 \text{ mm}$ nach Prandtl-Colebrook [20].

Das Lufteintragungsverhältnis nach Douma [19, 20] beträgt:

$$\lambda = \sqrt{20 Fr_{LW} - 100} = 2,5\%$$

und die Froude'sche Zahl des Luftwasergemisches:

$$Fr_{LW} = \frac{v^2}{g R_{LW}} = 5,3 \text{ bei } k_s = 70 \\ (5,0 \text{ bei } k_s = 65)$$

Bei diesen Verhältnissen findet noch keine wesentliche Luftaufnahme statt, ebensowenig eine Gefahr des Zuschlags. Luft wird erst mitgerissen bei

grösseren Geschwindigkeiten d.h. bei k_s -Werten grösser als 65 oder falls die Froude'sche Zahl grösser als 5 ist.

Auslaufbauwerk

Die Einleitung der umgeleiteten Hochwasser in den Vierwaldstättersee erfolgt unter Wasser, indem die kinetische Energie der Abflussmenge in einem Tosbecken zunächst umgewandelt werden muss, bevor dass Wasser durch zwei rechteckförmige Düker in den See abgeleitet wird [16]. Die zu reduzierende Energiehöhe beträgt 3,5 m bei HHW und 4,9 m bei MW (Bild 17).

Es wurde darauf geachtet, dass sowohl bei NW- als auch bei HW-Stand kein Mitreissen der Wasserwalze in den See

stattfindet, um störende Pulsationen im Düker zu vermeiden. Entsprechende Berechnungen der kinetischen Energieverhältnisse (statische und dynamische Stützkräfte) erforderten eine Tieferlegung des Dükers unter der Seestrasse [20]. Die Lage des Wassersprunges im Tosbecken wurde nach dem Stützkraftsatz ($S_I = S_{II}$) bestimmt.

Die auch bei HHW-Stand des Sees sich einstellende Wasser- bzw. Energiehöhe im Tosbecken des Auslaufbauwerkes ergibt noch eine genügende Freibordhöhe. Um Kavitationssschäden zu vermeiden, wurde ein Absenkradius zum Tosbecken von 6 m gewählt, also ein grösserer Wert als der nach Rouse [15] minimal zulässige für den freifallenden Wasserstrahl von $R_{min} = 5 \text{ m}$ bei $Fr = 3,7$.

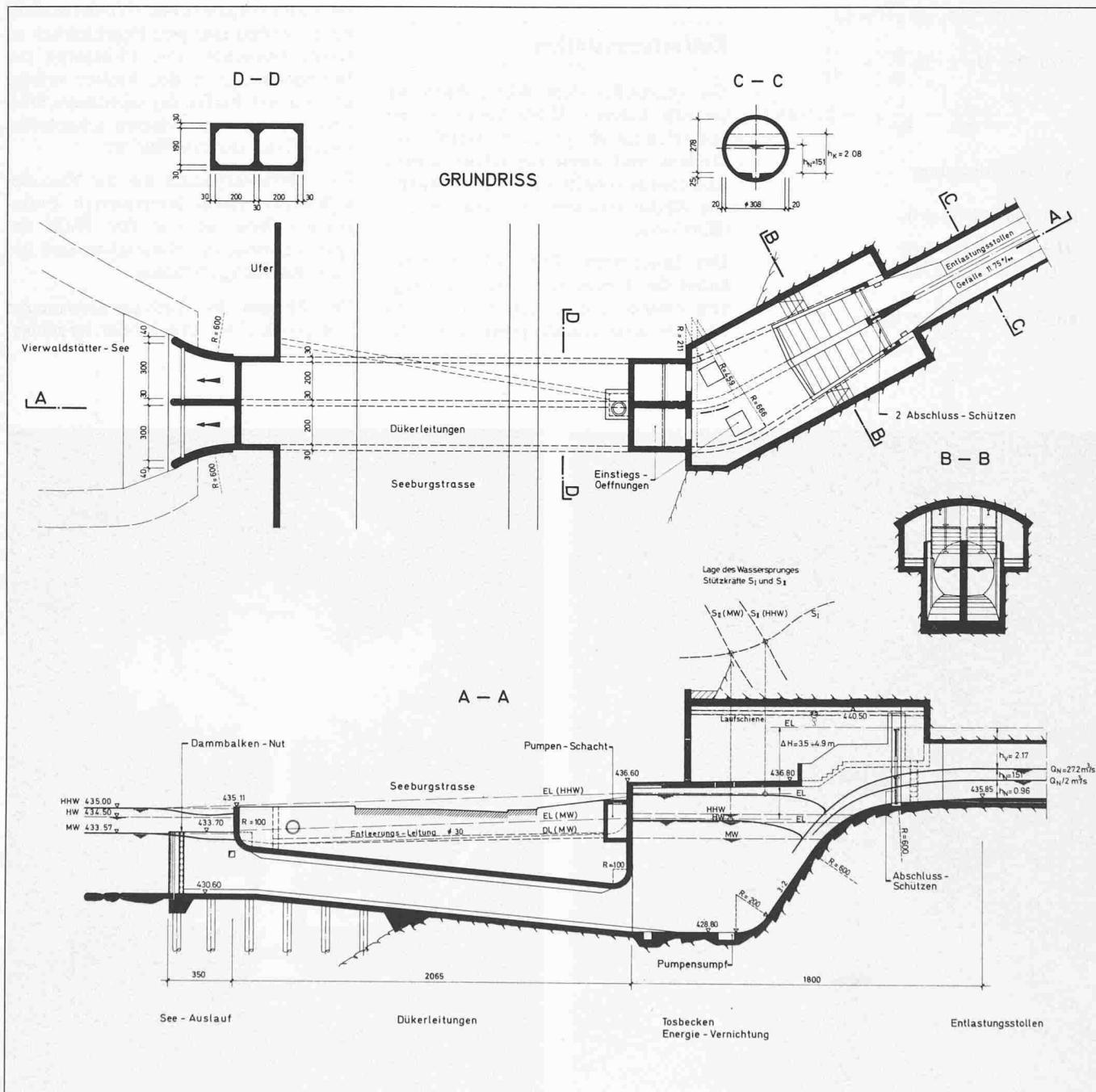


Bild 17. Auslaufbauwerk: Tosbecken, Düker, Seeauslauf (Vereinigungsbauwerk)

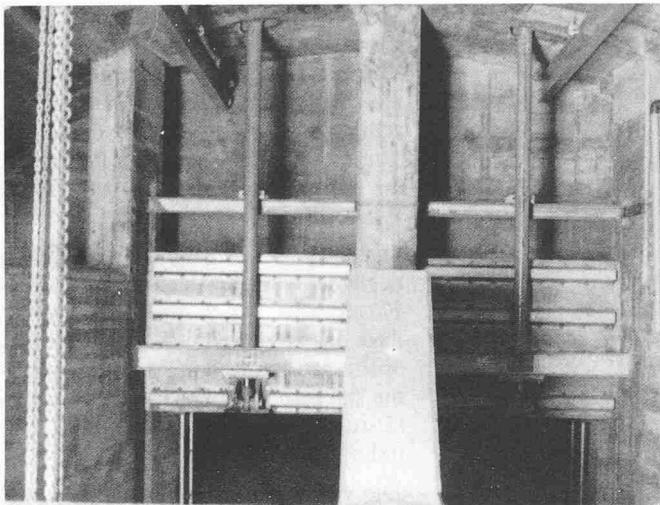


Bild 18. Blick vom Auslaufbauwerk gegen Abschlusschützen des Stollens



Bild 19. Seeauslauf

Eine Doppelrohrausbildung erlaubt die zu Kontrollzwecken wahlweise Trockenlegung der Düker mittels seeseitig einsetzbaren Dammbalken und stollenseitig angeordneten manuell bedienbaren Abschluss-Schützen (Bild 18).

Die Ausläuferweiterung beim Übergang in den Seeablauf dient zum energetischen Ausgleich der verschiedenen Fließverhältnisse im Düker und im See (Bild 19). Eine Sohlenbefestigung beim Seeauslauf verhindert eine unangenehme Auskolkung des auf Pfählen fundierten Auslaufbauwerkes.

Literatur

- [1] Kürsteiner, L.: «Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur an der Plessur bei Lüen». Schweizerische Bauzeitung, Bd. 69, Zürich (1917)
- [2] Naef, F.: «Zur Berechnung des Abflusses aus meteorologischen Grössen mittels mathematischer Modelle». Schweizerische Bauzeitung, Heft 43 (1974)
- [3] Hörlé, A. und Rhein, H. R.: «Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz». Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, (1962)
- [4] Lichtenhahn, C.: Vorlesung Flussbau, ETH Zürich (1978)
- [5] Spreafico, M.: «Anwendung von hydrologischen Verfahren zur Berechnung des Ablaufes von Hochwassereignissen in der Thur». Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETHZ, (1972)
- [6] Zeller, J.: «Starkregen und ihr Einfluss auf Hochwassereignisse». EAFV (1974)
- [7] Gumbel, E. J.: «Statistics of Extremes». Columbia University Press, (1967)
- [8] Vischer, D.: «Wirbelfallschächte in Kanalisationen - Zwei hydraulische Modellversuche der VAW Zürich». Gas Wasser Abwasser Nr. 2 (1971)
- [9] Kleinschroth, A.: «Der Abflussvorgang im Wirbelfallschacht». Der Bauingenieur 47 (1972, S. 214 bis 218)
- [10] Ackers, P. und Crump, E. S.: «The vortex drop». Proc. Institution of Civil Engineers 16 (1959/60), S. 443
- [11] Drioli, C.: Verschiedene Veröffentlichungen: L'Energia Elettrica 24 (1947), S. 447; 46 (1969) S. 81; 46 (1969) S. 339
- [12] Pica, M.: «Scaricatori a vortice». L'Energia Elettrica 47 (1970), S. 217
- [13] Jeanpierre, D. et Lachal, A.: «Dissipation d'énergie dans un puits à vortex». La Houille Blanche 21 (1966)
- [14] Schaefer, B.: «Grosskalibrige Kanalbauten am Beispiel der Stadt Bern». Schweizerische Bauzeitung 36 (1978)
- [15] Rouse, H.: «Turbulence characteristic of the hydraulic jump». J. of Hydr. Div. Proc. ASCE Vol. 84 (1958)
- [16] Tödt, H.: «Zur Beurteilung der Energie-dissipation von Tosbecken». Bauingenieur 51 (1976)
- [17] Peter, G.: «Der Wasserstollen Hardhof-Strickhof in Zürich». Schweizerische Bauzeitung 20 (1975)
- [18] Westrich, B. und Kobus, H.: «Untersuchungen am Luftmodell zur strömungstechnisch günstigen Gestaltung von Entnahmewerken an Flüssen». Gas Wasser Abwasser, Heft 7 (1976)
- [19] Hörlé, A.: «Gefällswchsel in der Kanalisationstechnik bei Kreisprofilen». Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie, Fasc. 2 (1967)
- [20] Desserich, M.: «Hydraulische Berechnungen von stationären Strömungen ausgehend auf programmierbare Elektronenrechner». STV Zürich (1977)
- [21] Franke, J. G.: «Fließzustand und Grenzverhältnisse im teilgefüllten Rohr». Gas Wasser Abwasser, Heft 2 (1971)
- [22] Kühne, A.: «Flood-Routing-Verfahren als rechnerische Hilfsmittel für Prognosen und Hochwasserschutzprojekte». Fachtagung «Hochwasserschutz», ETH Zürich (1980)
- [23] Vischer, D.: «Hochwasser in der Schweiz - Häufigkeit und Ausmass». Fachtagung «Hochwasserschutz», ETH Zürich (1980)
- [24] Schaad, F.: «Hydraulische Gestaltung in Hochwasserentlastungsgräben». Fachtagung «Hochwasserschutz» ETH Zürich (1980)
- [25] Vischer, D.: «Die Verlandung von Fluss-Stauhaltungen». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 14 (1980)
- [26] Vischer, D./Huber, A.: «Wasserbau: Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaues, Nutz- und Schutzwasserbauten». Springer-Verlag (1978)

Adresse des Verfassers: M. Desserich, dipl. Ing. ETH, Mitinhaber Ingenieurbüro Desserich + Funk, Luzern, Zürich, Kilchberg, Erstfeld, Engelberg, Langensandstr. 74, 6005 Luzern.