

Neuartige Wehrverschlüsse : die Sektor-Hakenschilden des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein

Autor(en): **Kollbrunner, C.F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **37 (1945)**

Heft 7-9

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-920788>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

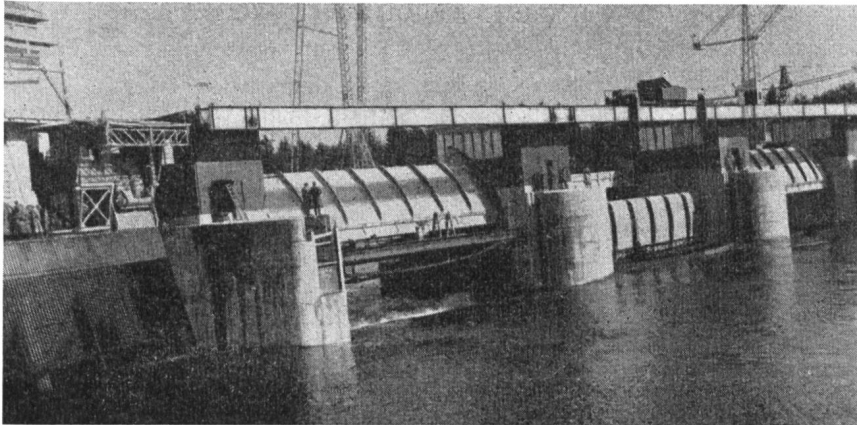


Abb. 1
Kraftwerk Rapperswil-Auenstein
 Oberwasserseitige Ansicht des Wehres im Bau.
 Öffnung rechts: Beide Schützen hochgezogen.
 Mittelöffnung: Schützen in Verschlussstellung. Vor den Schützen Damm-balken, über den Schützen Damm-balkenversetzkran.
 Öffnung links: Schützen fertig montiert auf der Montagebühne.

Neuartige Wehrverschlüsse: die Sektor-Hakenschilden des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein

Von Ing. Dr. C. F. Kollbrunner, Direktor der AG. Conrad Zschokke, Stahlbau, Döttingen.

Heute verlangt man von den Flussregulierwehren, wie sie für grössere Kraftwerke bei unseren schweizerischen Verhältnissen in Betracht kommen, neben der Einhaltung des vorgeschriebenen Staus bei jeder Wasserführung, der Betriebssicherheit durch einfache und zuverlässige Bedienung und kleinen Unterhaltskosten auch ein unauffälliges und formschönes Einfügen in die Landschaft. Die Stauwehrverschlüsse, d. h. die Schützen dürfen dabei nicht für sich allein beurteilt werden; die gesamte Wehranlage, angefangen von den Fundamenten bis zu den mechanischen Teilen und zum Maschinenhaus, muss ein organisches Ganzes bilden.

Während um die Jahrhundertwende meist einfache Stoneyschilden gebaut wurden, konstruierte man später Doppelschilden in den verschiedensten Ausführungen¹. Für das Kraftwerk Rapperswil-Auenstein hat die AG. Conrad Zschokke, Stahlbau, Döttingen, aufbauend auf den Erfahrungen zweier eigener Ausführungen von Sektorschilden für Verbois-Genf (1940) und Lima-Peru (1942), eine neue Schild, die Sektor-Hakenschild, entwickelt und jetzt fertigerstellt². Diese ist gegenüber den gewöhnlichen Doppelschilden und den Rollhakenschilden sowohl technisch wie wirtschaftlich im Vorteil. Wie ihr Name sagt, vereinigt sie die Vorzüge der Sektor-

schild mit denjenigen der Hakenschild; ausserdem werden die Herstellungs- und Unterhaltskosten bedeutend herabgesetzt.

Das Stauwehr von Rapperswil-Auenstein besitzt drei Öffnungen von je 22,0 m Lichtweite; der Stauspiegel liegt auf Kote 359,60 m ü. M. und 8,00 m über der Wehrschwelle (Abb. 2). Jede Wehröffnung wird durch eine Sektor-Hakenschild abgeschlossen; eine Doppelschild, bestehend aus einer unteren, normalen Sektorschild und einer oberen Schild mit hakenförmigem Querschnitt, die so gelagert sind, dass sich die untere Schild auf zwei Drehlager mit gemeinsamer Achse stützt, während die obere, die vor der unteren abgesenkt werden kann, sich auf die

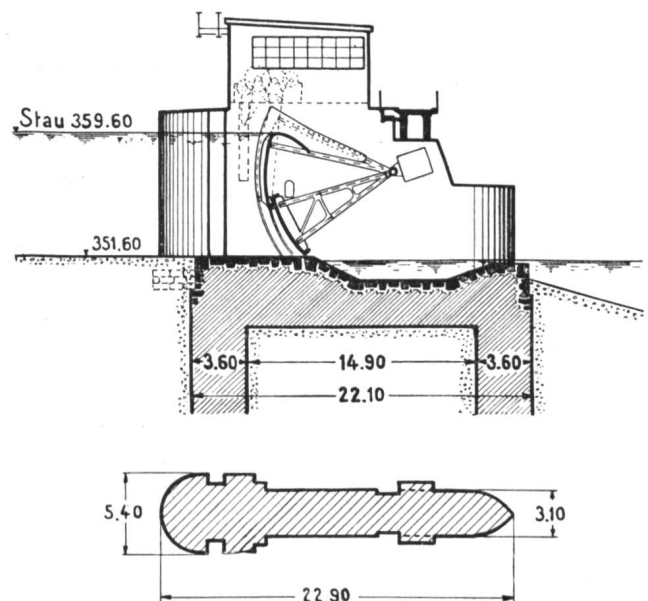


Abb. 2 Querschnitt durch die Sektor-Hakenschilden mit Ansicht des Pfeilers und des Windenhäuschens. Unten Querschnitt durch den Pfeiler

¹ C. F. Kollbrunner und J. L. Perrenoud, Die Entwicklung im Bau von Wehrverschlüssen, Hoch- und Tiefbau, 1944, Hefte 11, 12, 13, 17.

² C. F. Kollbrunner und J. L. Perrenoud, Die Sektor-Hakenschilden des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein, Schweiz. Bauzeitung, Bd. 123, Nr. 23, 1944.

C. F. Kollbrunner, Die Sektor-Hakenschilden des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 5/6, 1944.
 C. F. Kollbrunner, Stauwehrverschlüsse in der Aare gestern und heute, Der Bund, Beilage Technik, 10. 10. 1944.

C. F. Kollbrunner, Die Sektor-Hakenschilden, Neue Zürcher Zeitung, Beilage Technik, 29. 8. 1945.

Drehlager und mittels Rollen auf die untere Schütze abstützt. Die untere Schütze ist nach Unterstrom mit Längs- und Queraussteifung versehen und besitzt nach Oberstrom eine glatte Blechhaut mit vertikalen Schienen. Rückhaltehaken der oberen Schütze greifen in diese Schienen und verhüten ein Abheben der oberen von der untern Schütze. Die Blechhaut der oberen Schütze ist nur vertikal, und zwar nach Oberstrom ausgesteift, im unteren Teil zu einem Kastenträger, in dem die Rollen laufen, und oben zum Ueberfallblech gebogen. Dieses ist so geformt, dass bei Ueberströmung keine Teile der Schützen durch den Wasserstrahl getroffen werden können, und die Wasserauflast, ohne dass dabei unerwünschte Unterdrücke entstehen, ein Minimum ist. Die Ueberfallform ergibt infolge der Drehung der Schütze in jeder Stellung nur eine minimale Wasserauflast, so dass die Aufzugskräfte entsprechend klein ausfallen. Seitlich wird der Ueberfallstrahl durch Blechschilder geführt. Da alle tragenden Teile der unteren Schütze, wie Hauptträger, Spanten und Aussteifungen gegen Unterwasser gekehrt sind, die Vertikalspanten der oberen Schütze jedoch gegen Oberwasser, kann die obere Schütze vor der unteren abgesenkt werden.

Die Spanten sind vollwandig und zum Teil geschweisst. Die untere Schütze besitzt zwei, die obere einen einwandigen, parallelgurtigen, genieteten Fachwerkhauptträger. Diese bilden mit den Jochstielen zusammen zweistielige Rahmen mit sehr steifen Riegeln. Die Jochstiele der unteren Schütze laufen im Drehpunkt der Schütze zusammen und stützen sich dort gemeinsam mit dem Doppelstiel der oberen Schütze auf ein kräftiges Drehlager aus Stahlguss, das auf einer Eisenbetonkonsole des Pfeilers, die von der Wasserströmung nicht getroffen werden kann, verankert ist. Durch diese Anordnung wird der gesamte Wasserdruck einer Oeffnung durch nur zwei bewegliche, gut zugängliche Lager auf die Pfeiler übertragen. Die oberste Längsaussteifung der unteren Schütze trägt die horizontale Zwischendichtung, die unterste, ein kräftiges Flacheisen, bildet zugleich die Schwellendichtung. Die Vertikaldichtungen bestehen aus «Federblech». Alle verschieblichen Teile, wie Dichtungen und Drehlager, sind mit elektrischen Heizelementen versehen, wodurch ihre Beweglichkeit zu jeder Jahreszeit gesichert ist.

Alle Schützenkonstruktionen bestehen aus einfachen, gut zugänglichen Profilen, wodurch ein leichter und billiger Unterhalt gewährleistet ist. Die Hubketten, die sich, durch besondere Schienen geführt, den Schützen anschmiegen, sind an tiefliegenden Aufhängungen befestigt. Sie sind in geschützten Nischen hinter den Vertikaldichtungen so angeordnet, dass sie nicht mit dem Wasser in Berührung kommen. Nur in

den seltensten Fällen kann es vorkommen, dass der untere Hauptträger der unteren Schütze ins Wasser zu liegen kommt; auch dann befindet er sich bei Ueberströmen der Schütze noch ausserhalb des Deckwalzenbereiches, so dass die bei anderen Schützen oft auftretenden unangenehmen Erscheinungen, wie Schwingen, Flattern und Tanzen ausgeschaltet oder auf alle Fälle auf ein tragbares Minimum herabgesetzt werden. Zur Vermeidung der gefährlichen Kolkbildung im Unterwasser sind die bisher bekannten wirksamen Mittel angewendet worden, wie tiefe Lage der Wehrschwelle über Boden, Ausbildung des Sturzbodens als Trog. Möglichkeit der Kombination von Ueber- und Unterströmen des Staukörpers. Da jede Schütze durch ihr eigenes Windwerk (Gesellschaft der Ludwig v. Roll'schen Eisenwerke AG., Giesserei Bern) unabhängig von der andern bewegt wird, sind die oben angegebenen Variationen und Kombinationen zwischen Ueber- und Unterströmen auszuführen. Die Mechanismen sind dabei so gegeneinander verriegelt, dass die Höchstlage, bei welcher die untere Kante der unteren Schütze 7,50 m über der Schwelle liegt, nicht überfahren werden kann.

Die neuartigen Pfeiler mit breiterem Vorder- und schmalerem Hinterteil (Abb. 1) bedingen hydraulisch günstige Durchflussquerschnitte und ergeben vorteilhafte Durchflussverhältnisse sowie eine für ihre Standsicherheit gute Massenverteilung. Zur Berechnung der Armierung der Pfeiler werden diese als Scheibe betrachtet, wobei für einseitige Schützenreaktionen die daraus entstehenden Exzentrizitäten zu berücksichtigen sind³. Die baupraktische Lösung der Differentialgleichung vierter Ordnung geschieht mit Hilfe der Differenzgleichungen. Durch einfache Kombinationen erhält man für jede beliebige und beliebig gerichtete Schützenreaktion die Spannungen und durch Superposition mit den Spannungen infolge des Eigengewichtes die totalen Spannungen. Aus diesen Werten können die Hauptspannungen einfach berechnet werden, deren Werte die Eisenmenge der Bewehrung und deren Richtung die Form der Bewehrung bestimmen. Da hinter der Konsole, auf der das Drehlager verankert ist, noch Beton vorhanden ist, muss Sorge getragen werden, dass die Armierungseisen diesen Lastangriffspunkt teilweise umschlingen.

Die Pfeiler besitzen nur noch Nischen für die Dammbalken, jedoch keine Schütznischen mehr. Dadurch sind die erheblichen Nachteile, die die Nischen der mehrteiligen Rollenschützen für die Was-

³ C. F. Kollbrunner und Ch. Dubas, Anwendung von Differenzgleichungen zur Berechnung von Eisenbeton-Wehrpfeilern, Schweiz. Bauzeitung, Bd. 124, Nr. 15, 17. 10. 1944.

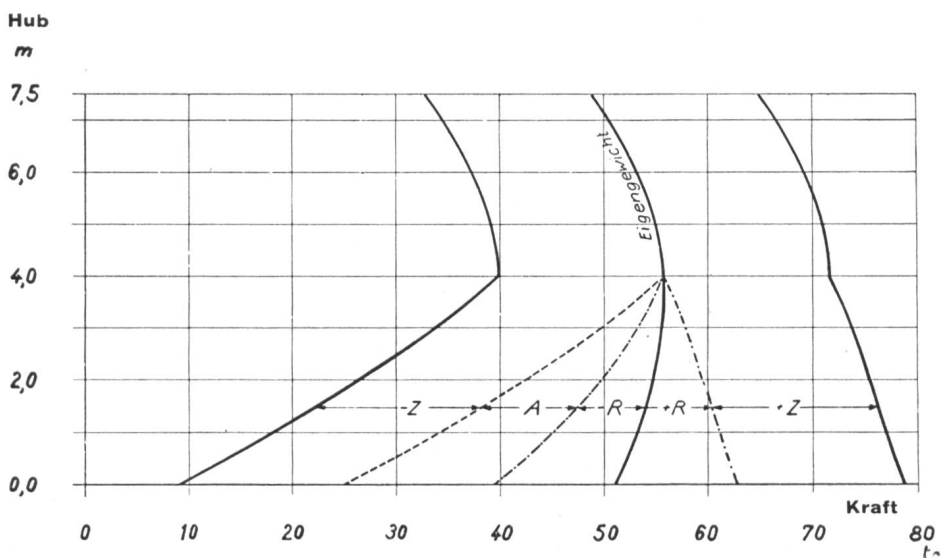
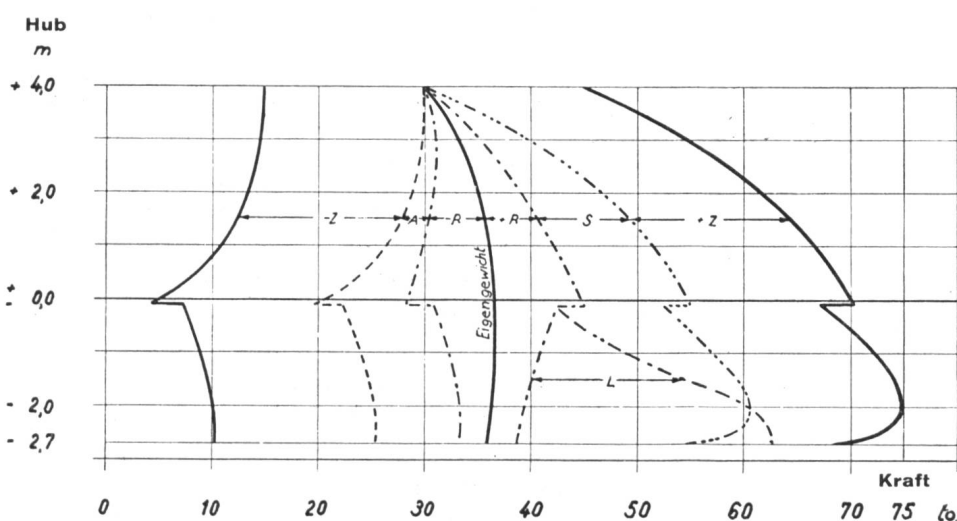


Abb. 3
Untere Schütze. Aufzugskraft
an den Kettenaufhängungen
 $2 \cdot 40 \text{ t} = 80 \text{ t}$.



- R : Reibung
- A : Auftrieb
- S : Sog
- L : Auflast
- Z : Zusatzlast

Abb. 4
Obere Schütze. Aufzugskraft
an den Kettenaufhängungen
 $2 \cdot 37,5 \text{ t} = 75 \text{ t}$

serströmung längs der Pfeiler sowie für Konstruktion, Betrieb, Unterhalt und Baukosten bedingen, ausgeschaltet. Der Wegfall der teuren Lagerung, der kostspieligen Rollenwagen, Laufrollen und Laufbahnen ergibt erhebliche Kostenersparnisse. Zudem werden die Reibungs- und Abnutzungskräfte durch die Verwendung eines Drehlagers bedeutend herabgesetzt. Die gemeinsamen Drehlager aus Stahlguss für obere und untere Schütze laufen auf Bronzeschalen und werden mittels Hochdruck-Fettpressen geschmiert.

Bei der Ermittlung der Aufzugskräfte hat sich die Sektor-Hakenschtütze ebenfalls wirtschaftlicher als die Rollenschütze erwiesen. Da sich die Resultierende der vertikalen Lasten zwischen Kettenaufhängepunkt und Drehlager befindet, werden die vertikalen Lasten teilweise durch das Lager aufgenommen. Zudem sind, dank dem grossen Hebelarm, die Reibungskräfte viel kleiner als bei den Rollenschützen. Aus diesem Grunde konnten die Windwerke für eine kleinere Aufzugskraft dimensioniert werden, als dies für eine gleich grosse und gleichartige Hubschütze zu geschehen hätte (Abb. 3 und 4). Es wur-

den weitgehende elektrische und mechanische Sicherungen, wie automatische Endabstellung, Rutschkupplungen zum Schutze gegen Ueberlastungen, Differentialmechanismen zur Verhütung des Zusammen- und Auseinanderfahrens beider Schützen, Indikatoren, Not-Handantrieb etc. vorgesehen.

Die Windwerksbrücke ist nicht mehr vorhanden; die Mechanismen sind tief auf die Pfeiler gelagert und in kleinen Häuschen untergebracht. Die Zugänglichkeit der Pfeiler und Windwerkshäuschen erfolgt durch eine Eisenbetonbrücke auf Höhe der Dammkrone. In dieser verlaufen gleichzeitig die Kabelkanäle und die Kraftübertragungswellen der Windwerke. Der Wegfall der Windwerksbrücke bedeutet für die Anlage nicht nur eine bedeutende Kostenersparnis, sondern verleiht ihr überdies ein leichtes, aufgelöstes und gefälliges Aussehen, das den Eindruck des brutal versperrten Tales vermeidet.

Als Hauptvorteile der neuen Schütze sollen erwähnt werden:

1. Wegfall der Windwerksbrücke. Da an Stelle der üblichen schweren Windwerksbrücke eine leichte

stählerne Laufbahn für den Dammbalkenversetzkran tritt, wird die ganze Anlage bedeutend billiger; zudem gewinnt dadurch das Aussehen der Wehranlage bedeutend. (Der allfällige Ein- und Ausbau der Mechanismen kann mit einfachen transportablen Unterflanschkatzen geschehen.)

2. *Auflagerung der Schützen.* Da die störenden Schütznischen wegfallen, wird die seitliche Strömung am Pfeiler einfacher; die Wirbel gegen die Nischen entfallen, und ein Verklemmen von Gegenständen an den Pfeilern ist nicht mehr möglich. Der Umfang der Reibungs- und Abnutzungskräfte ist durch die Wahl eines Drehlagers mit dichter Schmierung erheblich reduziert. Die Konstruktion und der Betrieb werden erheblich billiger. Die Auflagerkonsole in Eisenbeton sowie die Verankerung des Auflagerdruckes in den flussauf gelegenen Teil des Pfeilers ist nicht wesentlich teurer als die Armierung der Nischen; ausserdem wird an Pfeilermasse gespart, und zwar dort, wo diese wegfallende Masse für die Stabilität des Pfeilers keine Rolle spielt, ja sich sogar günstig auswirkt.

3. *Form der Schützen.* Die günstige hydrostatische und hydrodynamische Form reduzieren die Schwingungen auf ein erträgliches Mass oder schalten sie ganz aus.

4. *Hydraulische Verhältnisse.* Infolge der Drehung ergibt die Form des Ueberfallbleches nach Escande in jeder Stellung minimale Wasserlasten, so dass die Aufzugskräfte entsprechend klein ausfallen. Die Unterströmung erfolgt praktisch wirbelfrei, infolge des abgelenkten unteren Endes der unteren Schütze.

5. *Schützenschwelle.* Da der breite Dichtungsbalken der Rollhakenschütze durch eine Metallschneidendichtung ersetzt ist, kann die eigentliche Schützenschwelle sehr schmal gehalten werden.

6. *Dammbalkenversetzkran.* Der einfache Versetzwagen ergibt gegenüber dem grossen Dammbalkenversetzkran bei einer Windwerksbrücke wirtschaftliche Vorteile.

7. *Windwerke.* Da die Wasserauflast sehr klein ist, ein Teil des Gewichtes von den Drehlagern aufgenommen wird und zudem die Reibungskräfte günstiger sind als bei den Rollenschützen, können die Windwerke für bedeutend kleinere Aufzugskräfte dimensioniert werden.

8. *Pfeiler.* Die Pfeiler haben keine Schütznischen.

9. *Drehlager.* Bei den gut zugänglichen Drehlagern sind die Schmierstellen wesentlich einfacher als bei den Laufrädern und Laufwagen der Rollenschützen zu bedienen.

10. *Bauzeit.* Durch den Wegfall der Windwerksbrücke wird die Bauzeit erheblich verkleinert.

Die *Montage* erfolgte auf Bühnen, beginnend bei der rechtsseitigen Oeffnung nach links fortschreitend. Zum Antransport der Konstruktionsteile wurden die Dienstbrücken des Tiefbaues benützt. Die Konstruktionselemente wurden mit einem Derrick von den Dienstbrücken auf die Montagebühne transportiert. Abb. 5 und 6 zeigen zwei Stadien der Montage einer oberen Schütze, Abb. 1 eine oberwasserseitige Ansicht des Wehres. Bei der Oeffnung rechts sind beide Schützen hochgezogen, bei der Mittelöffnung beide Schützen abgesenkt (vor den Schützen sind die Dammbalken eingesetzt und über den Schützen der Dammbalkenversetzkran sichtbar) und bei der Oeffnung links die Schützen fertig montiert auf der Montagebühne. Alle Schützen wurden mit einem spritzverzinkten Ueberzug von 1000 g/m^2 vor Rost geschützt.

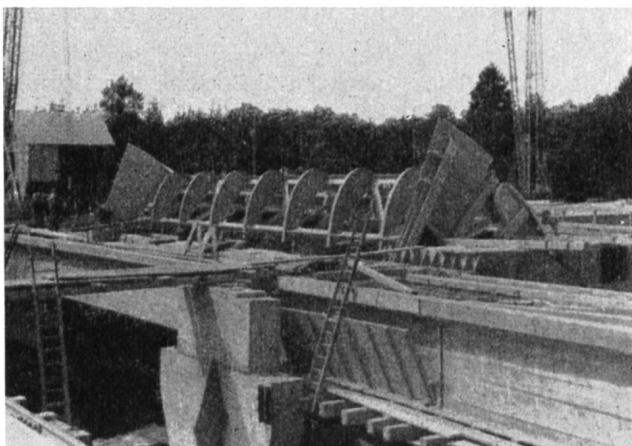


Abb. 5 Obere Schütze. Aussteifungen des Ueberfallbleches und Blechschilde zur seitlichen Führung des Ueberfallstrahles (in Montage).



Abb. 6 Obere Schütze. Ueberfallblech und Blechschilde zur seitlichen Führung des Ueberfallstrahles (in Montage).

Durch die Verwertung jahrzehntelanger Erfahrungen und Erkenntnisse ist es gelungen, einen Staukörper zu entwickeln, der das gesteckte Ziel: *Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Formschönheit* erreicht hat. Obwohl damit ein bedeutender Schritt im Stahlwasserbau gemacht worden ist, darf selbstverständlich kein Schlußstrich unter die Entwicklung im Bau von Wehrverschlüssen gezogen

werden. Die Erkenntnis und Anwendung des Wahren und Besten wird auch in Zukunft nur durch Weiterforschung, Weiterentwicklung und Weiteranpassung an gegebene Verhältnisse erreicht; eine Anpassung, für welche der Weg jedoch schon weitgehend durch die oben beschriebenen Sektor-Haken schützen vorgezeichnet ist.

Der weitere Ausbau der Plessur-Wasserkräfte

Der Fluss Plessur im Kanton Graubünden lässt sich wirtschaftlich in drei Gefällstufen ausnützen, von denen bisher nur die mittlere Werkstufe durch das Elektrizitätswerk der Stadt Chur ausgebaut wurde. Da das genannte Werk nun auch die dritte, unterste Stufe zum Ausbau bringen will, beginnen wir mit einer kurzen geschichtlichen Darstellung des Elektrizitätswerkes der Stadt Chur, das in den 53 Jahren seines Bestehens einen starken Aufstieg erlebte und damit für den Weitblick der Behörden und die Einsicht der stimmberechtigten Bürger ein ehrendes Zeugnis ablegt.

Die Stadtgemeinde Chur beschloss am 28. Juni 1891 den Ankauf der abgebrannten Spinnerei Meiersboden am Zusammenfluss von Rabiusa und Plessur. Dort wurde die Wasserkraft der Rabiusa mit vier Maschinengruppen von insgesamt 475 PS ausgebaut, und bis Ende des Jahres 1892 waren bereits 63 Abonnenten mit 1300 elektrischen Lampen und drei Motoren angeschlossen; dazu kamen 14 städtische Strassenbogenlampen. Die Zahl der Abonnenten und die Anschlusswerte stiegen so rasch, dass schon im Jahre 1901 die Aufstellung einer zusätzlichen Dampfturbinengruppe von 300 PS durch die öffentliche Abstimmung bewilligt wurde. Anfänglich lag die Versuchung nahe, den bequemen Weg zu gehen und die nötige elektrische Energie auswärts zu kaufen. Es fehlte weder in den Behörden noch in der Öffentlichkeit an Stimmen, die der Stadt Chur eine derartige Lösung empfahlen. Die Gemeinde war aber gut beraten, als sie die verhältnismässig kurzfristigen Angebote privater Elektrizitätsgesellschaften ablehnte und für die Hauptstadt des Kantons Graubünden die Selbständigkeit in der Elektrizitätsversorgung wahrte.

Siebenmal wurden die Churer Stimmberechtigten im Laufe eines halben Jahrhunderts an die Urnen gerufen, um Kredite für den Ausbau des städtischen Elektrizitätswerkes zu gewähren. Die Anlagekosten stiegen auf 7,1 Millionen Franken, aber sie waren wohl angewendet. Es wurde eine gute Versorgung der Stadt Chur mit elektrischer Energie erreicht, und

dem Fiskus konnten bedeutende Ertragnisse abgeliefert werden, die auch für kulturelle Aufgaben Verwendung fanden.

Da die Zentrale Meiersboden den steigenden Anforderungen nicht mehr genügte, beschloss die Stadtgemeinde im Juli den Bau eines neuen Rabiusa-Werkes und eines Plessur-Werkes. Im Dezember 1906 wurde das neue Rabiusa-Werk dem Betrieb übergeben, das rund eine halbe Million Franken kostete. Das benützte Gefälle beträgt 83,1 m. In der Zentrale Sand wurden drei Maschinengruppen von je 250 PS aufgestellt. Die total für Licht und Kraft erzeugte Energie betrug 1912 1,3 Millionen kWh. Da sie in der Folge nicht ausreichte, wurde im September 1913 ein Anschluss an das Albula-Werk der Stadt Zürich erstellt. Trotz diesem Zukauf elektrischer Energie musste noch im Winter 1913/14 die Dampfturbine für die Spitzenkraft eingesetzt werden.

Am 12. Januar 1913 beschloss die Stadtgemeinde die Erstellung eines Kraftwerkes an der Plessur nach einem neuen Projekt. Die Baukosten dieses Werkes mit der Zentrale Lünen betragen 2,3 Millionen Franken. Die Wehranlage und der Stolleneinlauf liegen etwa 1 km unterhalb des Dörfchens Molinis. Vor dem Stolleneinlauf befindet sich eine Entsandungsanlage, ein sog. Klärbecken. Die Zuleitung zum Wasserschloss erfolgt durch einen 2,4 km langen Stollen. Anschliessend folgt die 710 m lange Rohrleitung mit einem mittleren Rohrdurchmesser von 850 mm. Insgesamt wird ein Bruttogefälle von 220 m ausgenützt. An Maschinen wurden zuerst eingebaut: zwei Gruppen zu je 1500 PS mit Drehstromgeneratoren und eine Gruppe von 750 PS für den Bahnbetrieb Chur—Arosa.

Am 12. Dezember 1914 konnte das Werk nach 20monatiger Bauzeit den Betrieb aufnehmen. Im Jahre 1927/28 erfolgte die Aufstellung einer dritten Drehstromgruppe von 3000 PS, und damit war der Vollausbau des Kraftwerkes Lünen mit total 5000 kW erreicht.