**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 78 (1986)
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Schwimmende Wasserfassung zur Förderung von Gletscherwasser
**Autor:** Bezinge, Albert / Aasheim, Per / Hertig, Philippe
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-940833

**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:** 23.08.2025

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

# Schwimmende Wasserfassung zur Förderung von Gletscherwasser

*Albert Bezinge, Per Aasheim, Philippe Hertig*

Pumpen, die sand- und silthaltiges Gletscherwasser fördern, werden vorzeitig abgenützt. Was kann man dagegen tun? Die Grande Dixence SA hatte dieses Problem, und da sie die Wirksamkeit ihrer Absetzbecken nicht mehr verbessern konnte, hat A. Bezinge eine neue Lösung ersonnen, die verwirklicht wurde. Mit der Herstellung des dazugehörenden Materials wurden die Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA betraut. So hat im Herbst 1983 die Grande Dixence SA in Sitten Vevey mit dem Detailentwurf, der Herstellung und dem Aufbau einer schwimmenden Wasserfassung für das Ausgleichsbecken von Z'Mutt bei Zermatt beauftragt. Die Einrichtung wurde im Herbst 1984 fertiggestellt. Sie hat inzwischen schon ihr erstes Betriebsjahr zur vollen Zufriedenheit des Kunden hinter sich. Die Grande Dixence SA haben für die sehr originelle Konstruktion einen Patentantrag gestellt.

## Allgemeines und Vorstudien

Zu der in den Walliser Alpen gelegenen Wasserkraftanlage der Grande Dixence SA gehören auch die unteren Wasserfassungen bei Zermatt. Die dort übernommenen Gletscherwasser entsprechen ungefähr 20% der gesamten gefassten und mit Pumpen in den Speichersee der Grande Dixence geförderten Wassermenge.

Das Ausgleichsbecken von Z'Mutt, mit einem Nutzvolumen von 670000 m³, erhält in einem mittleren hydrologischen Jahr während des Sommers 75 Mio m³ am Ausgang des Gornergletschers gefassten Wassers sowie 10 Mio m³ Wasser aus dem Einzugsgebiet des unterhalb der Zentrale von Stafel gelegenen Tales von Z'Mutt.

Nach Rückgabe des Dotierwassers werden ungefähr 75 Mio m³ Wasser durch die Pumpengruppen der Zentrale Z'Mutt in einen Sammelstollen gefördert, der sie vom Fuss des Matterhorns in den Dixencestausee leitet.

Das im Sommer von der Gornera gefasste Schmelzwasser führt sehr viel kieselsäurehaltiges Material. Durch Kiesfänge und Entsanderbecken kann davon rund ein Drittel ausgeschieden werden, das heisst fast alles Material mit einer Korngrösse über 0,2 mm. Noch feinere Teilchen werden, wegen der tiefen Wassertemperatur (hohe Viskosität) und wegen ihrer Plättchenform, bis zum Becken von Z'Mutt mitgenommen, wo sich jeden Sommer 20000 bis 35000 m³ davon ablagern, so dass das Becken jeden Herbst geleert und gereinigt werden muss.

Die trotz all diesen Ablagerungs- und Klärmassnahmen noch verbleibenden Festteilchen stellen noch rund einen Drittel des Gesamtvolumens dar. Sie verursachen an den Pumpen ausserordentlich grosse Abnützungen. Die beiden Hauptpumpen der Zentrale Z'Mutt müssen jeden Winter unter hohen Kosten revidiert und instand gestellt werden. Es handelt sich um zwei zweistufige Zentrifugalpumpen mit Doppeleinlauf. Die Kenndaten dieser Maschinen sind:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Förderhöhe | 470 m WS | Leistung | 30 MW |
| Fördermenge | 5,7 $m^3s^{-1}$ | Drehzahl | 1500 $min^{-1}$ |

Die Reparaturen dieser zwei Pumpen bedingen jedes Jahr Ausgaben in der Grössenordnung von 400000 Franken. Darin inbegriffen sind auch die Kosten für die Erneuerung der Laufräder, der Diffusoren und aller Nebenteile. Diese sehr aufwendige Arbeit wird in einer zu diesem Zweck ausgerüsteten Werkstätte der Grande Dixence SA ausgeführt.

Anhand von Messungen im Becken von Z'Mutt konnten Kurven aufgezeichnet werden, die über die Verbreitung und Grösse der im Wasser vorhandenen Schwebeteilchen in Abhängigkeit von der Wassertiefe Aufschluss geben. Von Wasserhöhe 1925 m ü. M. zu Wasserhöhe 1955 m ü. M. aufsteigend, kann diesen Kurven entnommen werden, dass

- die Konzentration der Schwebeteilchen auf Kote 1955 bei kleinen Durchflussmengen siebenmal und bei grossen Durchflussmengen viermal geringer ausfällt als bei Kote 1925
- dabei die grösste Abmessung von 90% der Schwebeteilchen von 150 auf 40 μm abnimmt.

Wie Professor *T. Bovet* darlegen konnte, sind die Abnützungen an hydraulischen Maschinen im grossen und ganzen proportional zum Gesamtgewicht und auch zum Einzelgewicht der mitgeführten Teilchen (das heisst in der 3. Potenz zum Durchmesser).

In unserem Fall ergibt die Auswertung der Parametermittelwerte ein «Erosionsleistungsvermögen», welches im Verhältnis von 1 zu 50 variieren kann, je nachdem, ob das Wasser bei Höhe 1955 m ü. M. oder bei Höhe 1925 m ü. M. gefasst wird. Es wurde vorgeschlagen, eine Vorrichtung zu bauen, um bei jedem Wasserstand das Wasser nahe dem Wasserspiegel zu fassen, wo es am wenigsten Schwebeteilchen führt.

## Aufbau der schwimmenden Wasserfassung

Die «schwimmende Wasserfassung» besteht aus einem zylindrischen Saugkorb, der durch ein dreiteiliges, teleskopisches Rohr mit der alten Wasserfassung verbunden ist. Ein Schwimmer überragt das Ganze. Die Konstruktion kann in gewissen Grenzen den Bewegungen des Wasserspiegels folgen. Allerdings wurde die Hubhöhe auf 15 m beschränkt. Die theoretisch mögliche Höhendifferenz beträgt 22 m, doch wäre eine weitere Verlängerung des teleskopischen Teils der Rohrleitung wirtschaftlich nicht mehr vertretbar gewesen. Die Summe aller während eines Sommers vom Schwimmer zurückgelegten Hubbewegungen wird auf ungefähr 700 m geschätzt.

Die alte Wasserfassung wurde durch das Verschliessen der Durchgangsöffnungen stillgelegt. Die vorhandenen Strukturen wurden als Verankerungsmasse für die neue Einrichtung gebraucht. Die Höhenquoten verschieben sich nun für die Wasserfassung:

- für die alte Fassung auf 1925 m ü. M.
- für die schwimmende Fassung von 1940 auf 1955 m ü. M.
- das heisst eine Erhöhung um 15 bis 30 m.

Das Nutzvolumen des Speicherbeckens bleibt mit ungefähr 625000 m³ praktisch unverändert. Im Winter wird die Fassung in ihrer unteren Stellung blockiert und überflutet; sie bleibt so vor Lawinen und Eisblöcken geschützt. Ein Flachschieber von 2,3 auf 3 m Abmessung wurde als zusätzliches Sicherheitsorgan in einer der Durchgangsöffnungen der alten Wasserfassung eingebaut. Er wird hydraulisch betätigt, wobei die Steuerung von der Zentrale Z'Mutt aus erfolgt. Ausgelegt für einen Druck von 5 m WS wird er nur bei stehendem Wasser, im Fall einer Blockierung der ausgefahrenen Fassung, betätigt. An den erhofften Rückgang der geförderten Festkörpermenge in den Pumpen ist eine entsprechende Zunahme der Ablagerungen im Becken gebunden. Diese werden aber auch bei den schon jetzt alljährlich im Herbst stattfindenden Entleerungen des Bekkens weggeschafft.

## Versuche am Modell

Um den Anteil von unbekannten Grössen möglichst klein zu halten, hat die Grande Dixence SA in Z'Mutt ein Modell im

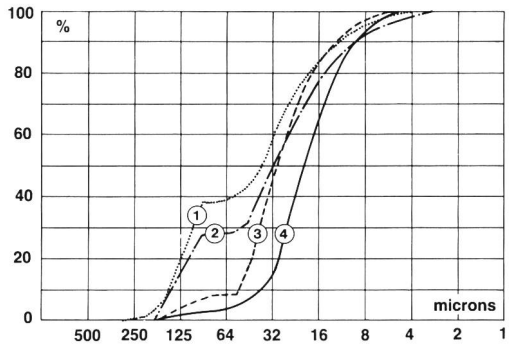
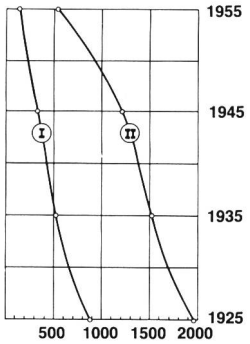



Bild 1, links. Verbreitung und Grösse der im See vorhandenen Schwebeteilchen, entnommen auf der Höhe (1) 1925, (2) 1935, (3) 1945, (4) 1955 m ü. M.

Bild 2, rechts. Änderung der Konzentrationen der im See vorhandenen Schwebeteilchen in Abhängigkeit von der Tiefe. I bei kleinen Durchflussmengen, II bei grossen Durchflussmengen.




Massstab 1:15 herstellen lassen. Es umfasst eine wie oben beschriebene schwimmende Wasserfassung, die in Aluminium ausgeführt und in ein metallisches Bassin eingebaut ist, welches das Klärbecken darstellt.

Bei diesen Modellversuchen entsprachen die Eintauchtiefen ohne Durchfluss den Erwartungen. Hingegen vurde festgestellt, dass bei Wasserentnahme die schwimmende Fassung eine Tendenz zum Auftauchen zeigte. Hervorgerufen wurde dieses Phänomen durch örtlich auftretende hohe Störungsgeschwindigkeiten auf der gebogenen Oberfläche (Intrados) des sich unter dem Saugkorb befindenden, einer Trompetenmündung ähnelnden Einlauftrichters. Der Geschwindigkeitsverlauf am Eingang zum Saugkorb ist im Vertikalschnitt gesehen sehr unsymmetrisch. Die Geschwindigkeiten nehmen von oben nach unten stark zu. Bei normalen Betriebszuständen treten keine Eintrittswirbel auf. Bei unbeabsichtigt entgegengesetzter Strömungsrichtung (zum Beispiel Fehlverhalten der Pumpenschieber) werden die Schwingungen der Wasserfassung rasch gedämpft.

Diese Versuche haben erlaubt, die Gültigkeit des Entwurfes festzustellen. Das gute Funktionieren des Modells wurde bei allen Wasserspiegelhöhen und bei allen möglichen Betriebszuständen festgestellt. Gegenüber Wellen und Querströmungen ist die Anlage sehr stabil.

Die Abmessungen verschiedener Teilstücke konnten verkleinert werden, was den Transport und das Aufstellen am Ort erheblich erleichterte. Einige Einzelteile konnten besser konstruiert werden. Die Ausführungstoleranzen wurden aufgrund dieser Modellversuche festgelegt.

## *Preisanfrage*

Bei der Preisanfrage wurde auf die Notwendigkeit einer sehr sorgfältigen und genauen Herstellung hingewiesen, und zwar um Abnützungserscheinungen und Verformungen, und damit ein unverhofftes Blockieren des Systems, so weit wie möglich ausschliessen zu können.

Die in der Preisanfrage aufgeführten Bedingungen hielten im wesentlichen fest, dass:

- der ganz ausgefahrene Turm einer gleichmässig auf die ganze Länge verteilten Querströmung von $1\,ms^{-1}$, welche an der Basis ein Biegemoment von $10^6$ Nm verursacht, standhalten muss;
- der in seiner untersten Stellung überflutete Schwimmer einem äusseren Wasserdruck standhalten muss, welcher dem maximalen Wasserstand im Becken entspricht, das heisst 28 m WS; dazu kommt noch ein Zuschlag für örtlich auftretenden Eisdruck;
- sich allfällige Vibrationen, hervorgerufen durch das im Innern der Fassung strömende Wasser, nicht verstärken dürfen;
- die Schraubverbindungen sich auch bei Vibrationen nicht lockern dürfen.

Aus den verschiedenen eingegangenen Offerten wurde die von Vevey eingereichte Lösung in rostfreiem Stahl ausgewählt, und zwar aus folgenden Gründen:

- Die Beschaffenheit des zur Hauptsache verwendeten Werkstoffes, also des rostfreien Stahls; dann die in Bronze vorgesehenen Führungsteile, was Gewähr gibt für gutes Funktionieren und lange Lebensdauer.
- Ein bis ins Detail gehender Gesamtentwurf, der einige originelle Lösungen enthält, so zum Beispiel der vorgesehene Untersatz zur Verbesserung des Ineinanderfügens der einzelnen Teile; die Lieferung einer vertikalen Führungsschiene, was das Drehen der teleskopischen Rohre zu- und untereinander verhindert; dann die leichte Austauschbarkeit der Führungsstücke und der der Abnützung unterworfenen Elemente.

## *Werkstoffe*

Die erste Idee des Projektverfassers war, eine Aluminium-Magnesium-Mangan-Legierung zu verwenden. Dieser Werkstoff ist wasserbeständig und rostfrei und würde sich auch für den Leichtbau eignen.

Vorstudien haben dann aber rasch gezeigt, dass es schwierig wäre, Führungsstücke auf Aluminium gleiten zu lassen, ohne dass die Gefahr des Anfressens bestünde. Die genannten Lösungen wurden als wenig dauerhaft beurteilt, so dass dem rostfreien Stahl mit Führungsstücken in Bronze der Vorzug gegeben wurde. Die Auswahl der Bronze war nicht leicht, musste man doch jede galvanische Korrosion vermeiden.

Der Austausch von Aluminium gegen Stahl bedingte auf dem Montageplatz einen stärkeren Kabelkran als ursprünglich vorgesehen. Auch musste das Volumen des Schwimmers vergrössert werden, da das Gewicht der eingetauchten beweglichen Teile der Struktur von 18 t auf 29 t anstieg. Beide Probleme konnten sowohl technisch wie wirtschaftlich zufriedenstellend gelöst werden.

## *Gestaltung*

### *Der ausziehbare Turm*

Da das Pflichtenheft über die Betriebsbedingungen klar Aufschluss gab, warf die statische Gestaltung der einzelnen Rohre keine besondern Fragen auf. Man wollte sicher sein, dass bei einem eventuellen Verklemmen der leeren Rohre im ausgefahrenen Zustand dieselben dem grösstmöglichen äusseren hydrostatischen Druck standhalten.

Für die Übertragung der Biege- und Scherkräfte auf der Höhe der ineinandergeschobenen, gleitenden Teile mussten die dünnwandigen Rohre, die empfindlich auf konzentriert auftretende Belastungen sind, an den Enden verstärkt werden. Unten wurden innere Abstützungen in Spinnennetzform, oben ein Aussenring angebracht. Beim Ausfahren des Turms bewirkt eine Anschlagvorrichtung, dass die Überdeckung der einzelnen Rohre noch mindestens 3 m

Bild 3. Längenprofil des Klärbeckens.

Maximale Stauhöhe: 1970,00 m ü. M.

Minimale Betriebshöhe: 1943,00 m ü. M.

1 jährlicher Zufluss Z'Muttbach: rund 10 Mio $m^3$; max. Durchflussmenge 8 $m^3s^{-1}$.
2 jährlicher Zufluss Gorner: rund 70 Mio $m^3$; max. Durchflussmenge 26 $m^3s^{-1}$.
3 jährlicher Zufluss Bodmen: 2 bis 4 Mio $m^3$; max. Durchflussmenge 8 $m^3s^{-1}$.
4 Wasserfassung ausgefahren, Schwellenhöhe Saugkorb auf 1955,63 m ü. M.
5 Alte Wasserfassung, Schwellenhöhe 1925,00 m ü. M. entspricht der max. Höhe der Ablagerungen.
6 Jährliches Volumen der Ablagerungen (bis 35 000 $m^3$ von Mai bis Oktober).
7 Sperre für Grobmaterial.
8 Grundablass.

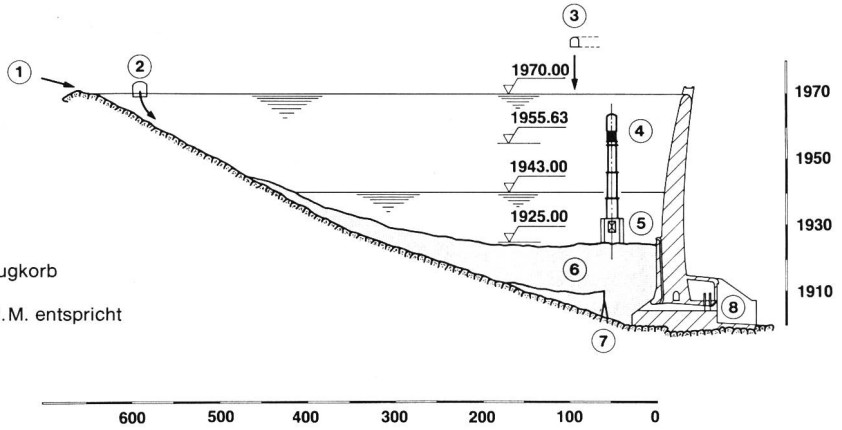
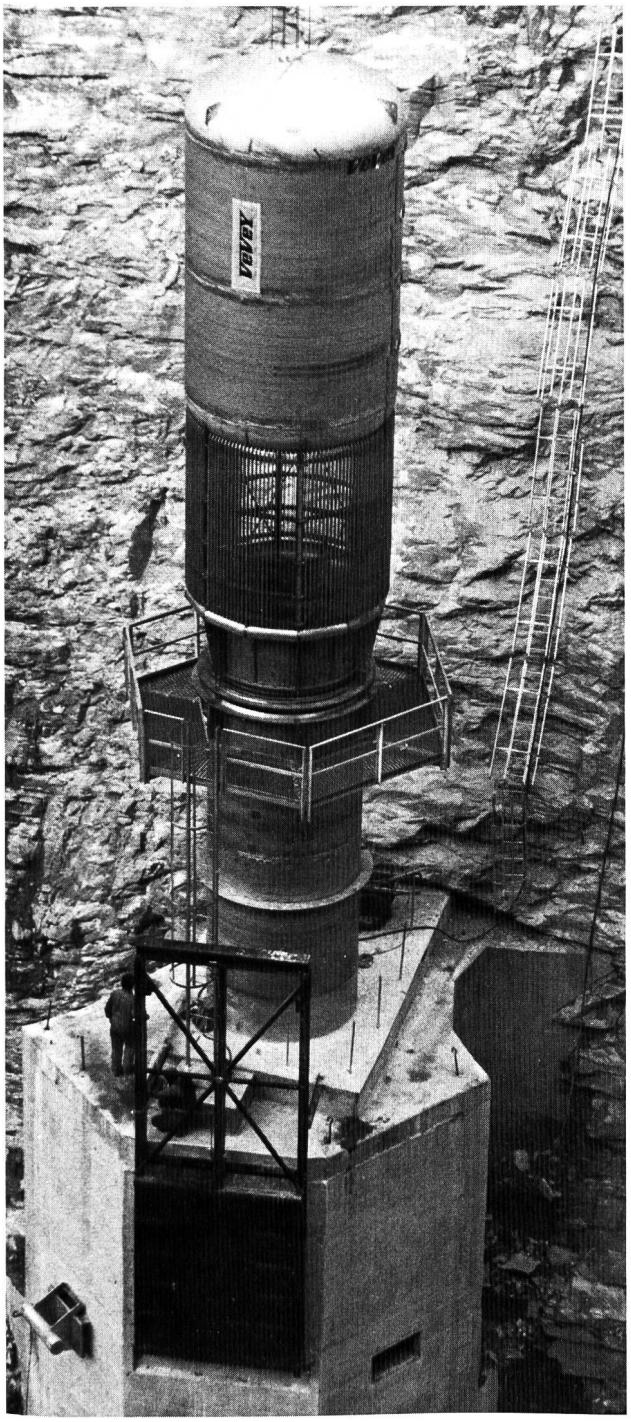



Bild 4. Die zusammengebaute Wasserfassung in eingefahrener Stellung.



ausmacht und bestimmt so das maximale Belastungsmoment, das die Verstärkungen aufzunehmen haben. Der Ausstoss oder der Einlauf des sich zwischen dem äusseren und dem inneren Rohr befindlichen Wassers auf der Höhe der jeweiligen Überdeckungen wird durch die Führungsringe gebremst, die hier die Aufgabe von Segmentringen übernommen haben. Diese Anordnung wirkt als dämpfendes Element, falls der Turm einmal unbeabsichtigt einer vertikalen Stossbewegung ausgesetzt wäre, wie zum Beispiel bei einer plötzlich auftretenden Befreiung der Teleskopteile nach einer vorangehenden Verklemmung, oder auch bei plötzlichem Umschlagen der Strömungsrichtung des Förderwassers (letzteres ist nicht sehr wahrscheinlich, aber trotzdem vorstellbar).

*Der Schwimmer*

Der hermetisch verschlossene Schwimmer hat ein Volumen von 38 $m^3$. Er ist von gerader, zylindrischer Form, beidseitig mit nach aussen gewölbten Blechböden versehen.
Seine Dichtigkeit wurde mit der Massenspektrometer-Methode geprüft. Es konnte nirgends ein Leck festgestellt werden, was auf einen tadellosen Zustand schliessen lässt. Es bleibt nur noch zu hoffen, dass kein ungeschickter Jäger den Schwimmer mit einem weissen Walfisch verwechselt. Während des Winters wird der Schwimmer in Tauchstellung mit abnehmbaren Zugankern am Untersatzrohr befestigt.

*Die der Strömung ausgesetzten Teile*

Die dem strömenden Wasser ausgesetzten Teile der Wasserfassung verursachen eine Wirbelbildung und sind somit ständig, mit einer zur Wassergeschwindigkeit proportionalen Frequenz, wechselnden Kräften unterworfen.
Um jede Verstärkung von Vibrationen und die damit verbundenen unangenehmen Folgen zu vermeiden, mussten diese Teile so ausgebildet sein, dass ihre Eigenfrequenz bedeutend höher lag als die Frequenz der auf sie einwirkenden Wechselbelastungen.
Am Eingang des Saugkorbes ist die Geschwindigkeit des strömenden Wassers ungleichmässig verteilt, sie variiert von 0,2 $ms^{-1}$ (oben) bis 2,5 $ms^{-1}$ (unten). Im teleskopischen Rohr erreicht sie 4 $ms^{-1}$.
Der Saugkorb besitzt 6 Rechentafeln, die sich auf die 6 vertikalen Rohre abstützen, welche die Verbindung zwischen Schwimmer und Turm herstellen. Diese Rechentafeln bestehen aus mit Querträgern versehenen Rechenstäben und werden durch diagonale Verstrebungen versteift, die dem Ganzen die nötige Festigkeit geben. Der Abstand zwischen den Querträgern der Stäbe musste an die auf jeder Höhe auftretende mittlere Geschwindigkeit angepasst werden und variiert zwischen 450 mm unten und 900 mm oben; auf

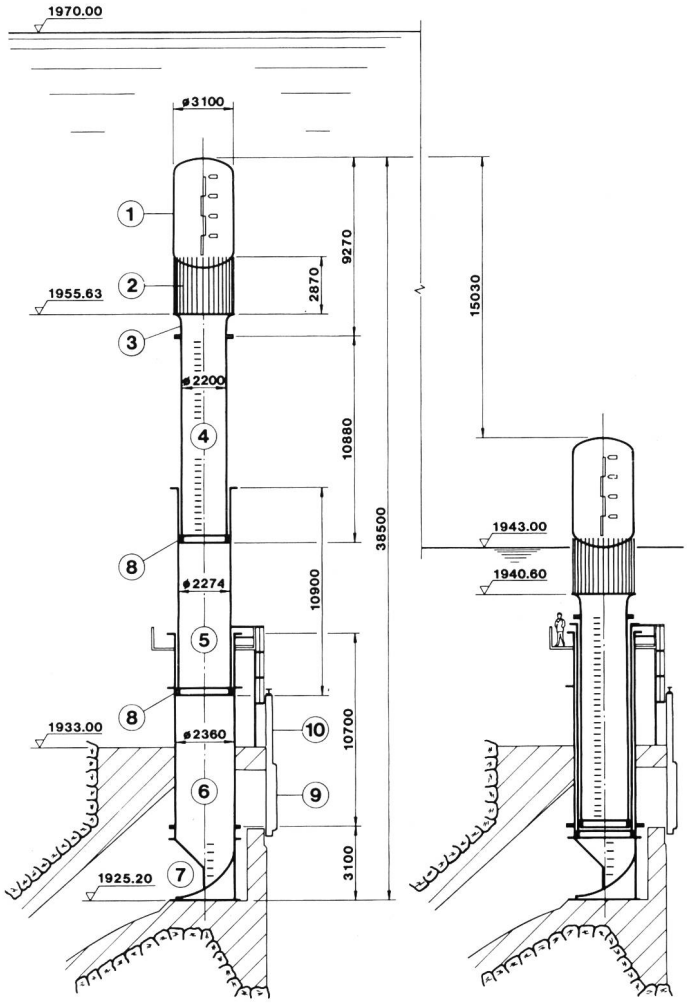



Bild 5. Wasserfassung, aus- und eingefahren.

1 Schwimmer
2 Saugkorb } Element No. V
3 Einlauftrichter
4 oberes, ausziehbares Rohr — Element Nr. IV
5 mittleres, ausziehbares Rohr — Element Nr. III
6 Untersatzrohr — Element Nr. II
7 Basis — Element Nr. I
8 innere Abstützung in Spinnennetzform
9 Sicherheits-Flachschieber
10 Sicherheits-Servomotor

diese Art weist jede freie Stablänge ungefähr die gleiche Sicherheit gegen Resonanzschwingungen auf.
Gleich unterhalb des Saugkorbes, nach dem Einlauftrichter, sind Verstrebungen zur Aufnahme einer Arbeitsbühne angebracht worden; ebenso wurden im Innern des obersten Rohres und der Turmbasis Sprossen angeschweisst. All diese oben aufgeführten Elemente sowie auch jene, welche die schon erwähnten «Spinnennetze» bilden, sind im Hinblick auf ihr Resonanzverhalten überprüft worden.
In mehreren Fällen war diese Überprüfung sogar ausschlaggebend, so zum Beispiel – wie erwähnt – beim Festlegen der unterschiedlichen Abstände der Rechenquerträger am Saugkorb.
Der Projektverfasser hat diese Prüfmethode für den ganz ausgefahrenen und dabei einer Querströmung ausgesetzten Turm ebenfalls angewandt *(Strouhal)*.

## *Versuche, Transport und Aufbau an Ort*

Mit den ineinandergeschobenen Rohren wurden Ausziehversuche in vertikaler Stellung mit Hilfe eines 60-t-Pneukrans auf dem Werksgelände von Vevey in Villeneuve unternommen. Diese Versuche verliefen erfolgreich. Transportiert wurden die verschiedenen Elemente zuerst mit den Schweizerischen Bundesbahnen, dann mit der Visp–Zermatt-Bahn (Schmalspurzahnradbahn) und anschliessend auf der Strasse (Lastwagen mit Tiefganganhänger).
Das grösste Element war 11 m lang mit einem Durchmesser von 3,1 m und einem Gewicht von 13 t.
Wegen der besonderen Betriebsbedingungen des Absetzbeckens wurde die Fassung im Spätherbst 1984 nach Entleerung des Sees montiert. Die fünf Teilelemente der Wasserfassung – der Basisteil, das Untersatzrohr, das mittlere Rohr, das obere Rohr, der ganze Einlauftrichter und der Saugkorb mit Schwimmer – wurden mit Hilfe eines 15-t-Kabelkrans, der mit 200 m Spannweite das Tal überquerte, an Ort und Stelle gebracht.
Arbeitsablauf sowie Transport- und Montagevorgang wurden bis ins einzelne vorbereitet und mit den verschiedenen daran beteiligten Instanzen auf den halben Tag genau programmiert. Alle Termine konnten eingehalten werden. Erleichtert wurde die Montagearbeit durch eine aussergewöhnliche Schönwetterperiode.
Das Einführen des ersten ausziehbaren Rohres bedingte einige Retouchen: das Untersatzrohr hatte sich wegen des auf der Höhe der alten Wasserfassungsdecke nicht genau verteilt eingebrachten Verbindungsbetons leicht verzogen.

## *Schlussfolgerungen*

Die Gesamtkosten für diese schwimmende Wasserfassung betragen 1,4 Mio Franken. Nach den Voraussagen wird eine Gesamtüberholung der Hauptpumpen von Z'Mutt nur noch alle zwei Jahre, vielleicht sogar nur noch alle drei Jahre, nötig werden. Dies bedeutet eine erhebliche Verbesserung, die auf eine rasche Amortisation der investierten Summen hoffen lässt.
Da das Funktionieren der Anlage mit den Voraussetzungen und den Versuchen übereinstimmt, kann dieses gleiche Wasserfassungsprinzip überall dort angewendet werden, wo es nötig ist, die abschleifende Wirkung von sand- und schlammhaltigem Wasser zu verringern.
Gegenwärtig werden Studien für gleichartige schwimmende Wasserfassungen, jedoch mit bedeutend höheren Durchflussmengen – Grössenordnung 50 bis 200 $m^3s^{-1}$ – ausgearbeitet.

Adressen der Verfasser: *Albert Bezinge,* Ing. SIA, Betriebschef der Grande Dixence SA, CH-1950 Sion; *Per Aasheim,* Ing. NTH, SIA, und *Philippe Hertig,* Ing. EPF, SIA, Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA, CH-1800 Vevey.

Deutsche Bearbeitung: *Ernest Wunderli,* Ing. STV, Ateliers de constructions mécaniques de Vevey SA, CH-1800 Vevey.