

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	95 (2003)
Heft:	7-8
Artikel:	Neue Entsandanlagen in der Schweiz und im Ausland : Beispiele und Ausführungsarten bei kleinen und grossen Wasserfassungen
Autor:	Müller, Urs
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-939474

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: 07.02.2026

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

Neue Entsanderanlagen in der Schweiz und im Ausland. Beispiele und Ausführungsarten bei kleinen und grossen Wasserfassungen

■ Urs Müller

1. Einleitung

Der Bau von Entsanderanlagen bei Wasserfassungen von Hochdruck- und Niederdruk kraftwerken zur Vermeidung von Abrasionsschäden an den hydraulischen Maschinen (Turbinen, Pumpen, Abschlussorganen), an Druckleitungen und allen Wasserbauten wird bereits seit Beginn des Baus von Wasserkraftwerken im In- und Ausland in verschiedenen Konstruktionsformen durchgeführt. Der sichere und störungsfreie Betrieb der Wasserfassungen mit Wehranlage, Einlaufbauwerk und Entsander bei allen Betriebszuständen vom Nieder- bis zum Hochwasser ist eine der wichtigsten Fragen bei der Projektierung und Auslegung einer Wasserkraftanlage.

Allfällige Betriebsprobleme in Wasserfassungen und Entsandern infolge erhöhtem Sand- und manchmal auch Kieseintrag ins Triebwassersystem können zu grossen unliebsamen Energieausfällen sowie zu kleineren Revisionszyklen an hydraulischen Maschinen mit hohen Unterhaltskosten führen. Die sichere Funktionstüchtigkeit des Entsan ders als normalerweise letztes Absetzbecken vor dem Triebwassersystem zu den Turbinen ist also eine Grundbedingung für einen betriebsfreundlichen und wartungsarmen Betrieb einer Kraftwerk anlage. Diskussionen zur Funktionstüchtigkeit, Abrasionsprobleme bei Maschinen und neue Betriebserfahrungen mit Entsandern von Wasserkraftwerken sind nach wie vor «top aktuell» und deuten auf das echte Bedürfnis nach genaueren wissen schaftlichen Grundlagen und betriebstechni schen Verbesserungen hin.

2. Bemessungsgrundsätze von Entsandern

Um empfindliche Anlageteile der hydraulischen Maschinen vor dem Abschliff durch harte Schwebstoffteile wie Quarz zu schützen, werden die grösseren Schwebstoffkomponenten in einem Sandfang ausgeschieden. Der gebräuchlichste Typ ist der Langsandfang, ein längliches Absetzbecken.

Die Grösse des abzusetzenden Grenzkorns wird durch den Typ oder das Material der eingesetzten hydraulischen Maschine oder des Laufrades, der Fallhöhe der Kraftwerksanlage, der Härte der Sandkörner



Bild 1. Wasserfassung und Entsanderanlage des Kraftwerkes Camlica I in der Türkei.

und weiterer Randbedingungen bestimmt. Für Hochdruckanlagen mit Fassungen in quarzreichen Einzugsgebieten wird üblicherweise eine Grösse des Grenzkorns von $d_{Gr} = 0,20$ bis $0,30$ mm gewählt. Bei weichen Sedimentgesteinen und kleineren Fallhöhen werden auch grössere Grenzkorndurchmesser gewählt.

2.1 Hydraulische Bemessung

Das in den Sandfang strömende Wasser wird so weit verzögert, dass die grösseren Schwebstoffkörner (Sand) nicht mehr schwaben, sondern sich absetzen. Der Entsander wird dabei so bemessen, dass sich ein schwebendes Grenzkorn ($d_{Gr} \sim 0,2$ mm) über die Länge des Absetzbeckens gerade noch absetzt. Wie Bild 2 zeigt, setzt sich das Korn K offenbar dann ab, wenn seine Sinkzeit t_s kleiner ist als seine Translationszeit t_T durch den Entsander.

$$t_s = h/w \quad \text{und} \quad t_T = L/v$$

wobei:

L wirksame Entsanderlänge

h wirksame Entsandertiefe

v mittlere Strömungsgeschwindigkeit

w Sinkgeschwindigkeit des Sandkorns

Q Wassermenge

B Entsanderbreite

Der Grenzfall ist durch $t_s = t_T$ oder $h/w = L/v$ gekennzeichnet und führt zur minimalen Entsandergrösse.

Zusammen mit der mittleren Strömungsgeschwindigkeit $v = Q / (B \times h)$ ist die Sinkgeschwindigkeit w des Korns für diesen Grenzfall folgendermassen definiert:

$$w_{Gr} = Q / (B \times L)$$

Die mittlere Sinkgeschwindigkeit w ist von den Eigenschaften des betrachteten Korns (Form, Dichte) und des Wassers (Dichte, Zähigkeit) abhängig. Sie nimmt bei Sand grundsätzlich mit dem Korndurchmesser zu.

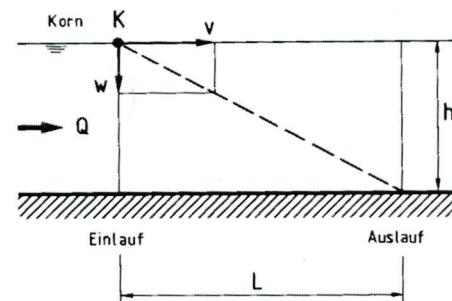


Bild 2. Längsschnitt durch einen Entsander. Schematische Bahnkurve eines sich absetzenden Sandkornes K (Quelle: Wasserbau – Vischer/Huber).

Für die Bemessung des Entsanders ist für ein auszuscheidendes Grenzkorn d_{Gr} die zugehörige Sinkgeschwindigkeit w_{Gr} zu bestimmen. Ist die von der Turbulenz und der Geschwindigkeit des bewegten Wassers abhängige Grenzsinkgeschwindigkeit w_{Gr} be-

rechnet, lassen sich die Abmessungen des Absetzbeckens einfach bestimmen. Für die experimentell ermittelten Sinkgeschwindigkeiten (nach Stokes für laminare Strömungen, resp. nach Prandtl für turbulente Verhältnisse) wird auf die Fachliteratur verwiesen.

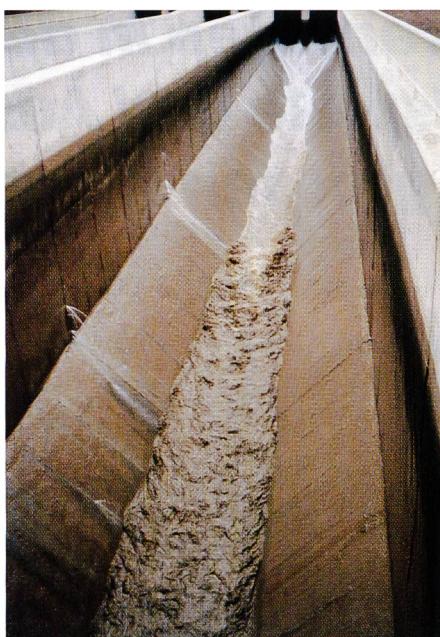
Die Turbulenzen am Ein- und Auslauf des Entsanders führen vielfach zu einem dynamischen Auftrieb auf das Sandkorn, das den Absetzvorgang hemmt und die wirksame Entsanderlänge reduziert.

2.2 Konstruktive Gestaltung von Entsanderbecken

Der Entsander soll gut durchströmt werden und gut räumbar sein. Eine gute Durchströmung erhöht die Wirksamkeit des Absetzbeckens.

Ein ungestörter Absetzvorgang bedingt das Einhalten einiger konstruktiver Regeln:

- Zur Vermeidung von Randwirbeln und einer zu starken Mittelströmung sollte die Breite B des Entsanderbeckens nicht mehr als $\frac{1}{8}$ der Länge betragen.
- Zur Berücksichtigung der Turbulenzen der Zuströmung und des Ausflusses ist die theoretisch berechnete Entsanderlänge mit einem Zuschlag entsprechend der doppelten Beckenbreite zu vergrößern. $L_{\text{tot}} = L_{\text{erf}} + 2B$
- Um Krümmungswirbel vom Becken fernzuhalten, sind die Zulaufkanäle möglichst gestreckt auszubilden.
- Zur Sicherstellung einer wirksamen Räumung des Entsanders ist die Spülrinne mit einer Längsneigung von 2 bis 5% auszuführen.
- Die Neigung der Seitenwände des Entsanders zur Spülrinne sollte in der Regel 5:4



Bilder 3 und 4. Beispiele von zwei Entsanderkammern mit horizontaler Spülung.

zur Vermeidung von Ablagerungen nicht unterschreiten.

- Für die Spülung der Entsander gibt es verschiedene Spülsysteme, die zu verschiedenen Typen von Entsanderanlagen führen.
- Vermeidung von seitlichen Überläufen bei Entsanderbecken, da bei Überfall die Belastung des Beckens erhöht und die Absetzwirkung reduziert wird.

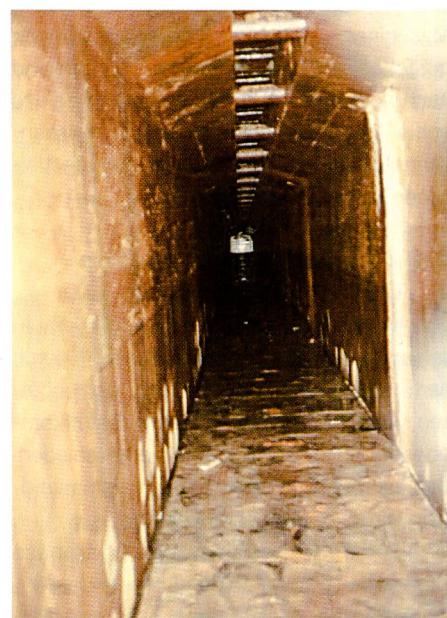
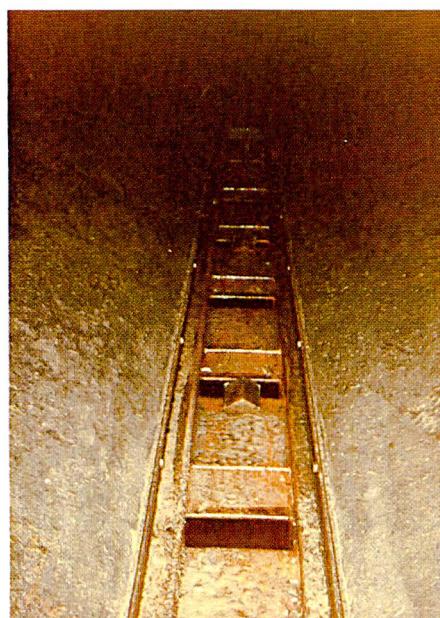
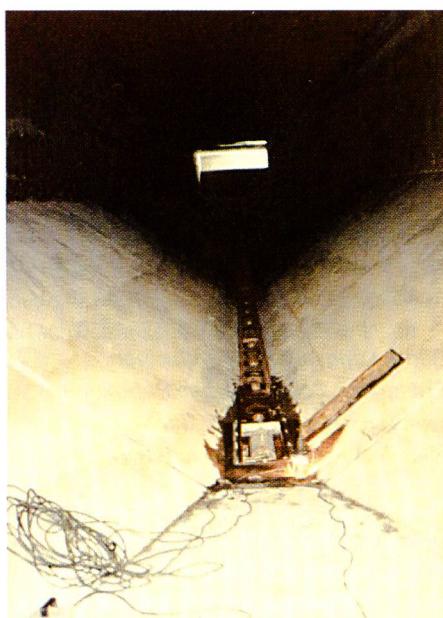
3. Anordnung und Typen von Entsandern

3.1 Anordnung

Die Entsander werden meist in unmittelbarer Nähe der Wasserfassung angeordnet. Damit lassen sich die Steuerungs- und Bedienungs-

elemente der Fassung und des Entsanders am gleichen Ort kombinieren. Bei dieser Bauform kann durch die unmittelbare Flussnähe meist auf lange Spülkanäle verzichtet werden, was sich auf Bau- und Betriebskosten günstig auswirkt.

Alternative Anordnungsmöglichkeiten bestehen mit dem Bau des Entsanders in der Nähe der Schwallkammer beim Übergang vom Freispiegelabfluss zum Abfluss unter Druck am oberen Ende des Drucksystems des Kraftwerkes. Schwallkammer/-becken und Entsander lassen sich relativ einfach kombinieren, da das für die Regulierung der Turbinen notwendige Beckenvolumen automatisch zu einem Absetzen von Sand oder feinerem Material führt. Bei einer Kombination von Schwallkammer/-becken



Bilder 5, 6 und 7. Beispiele einer Entsanderkammer mit vertikaler Spülung – Sandabzugsvorrichtung Typ Bieri – Ansicht der Entsanderkammer, Sandabzugsvorrichtung von oben und von unten (Spülkanal).

und Entsander wird die Spülung/Räumung von allfälligen Ablagerungen vereinfacht. Nachteilig sind jedoch die meist langen Spülkanäle und die Abrasionsbelastung des Zulaufgerinnes durch das nicht entsandete Wasser zu werten.

3.2 Typen von Entsandern

Die Typisierung der Entsander erfolgt heute primär auf Grund der verschiedenen Spül-systeme für die Räumung der Absetzbecken. Die einzelnen Systeme unterscheiden sich darin, dass die Räumung des Entsanders entweder durch die Schleppkraft der Wasserströmung über den abgelagerten Sand oder durch einen Sandabzug unter Druck in einen unter der Entsanderkammer liegenden Spülkanal erfolgt.

Es werden primär folgende Entsandertypen unterschieden:

- **Entsander mit horizontaler Spülung**

Konventioneller Entsander, trapezförmig mit geneigter Spülrinne und Sandabzugsschütze am unteren Ende des Absetzbeckens. Der Sand wird bei entleertem Becken mit der natürlichen Schleppkraft des Spülwassers ins Unterwasser ausgeräumt. Dieser Typ bedingt eine Einlaufschütze zur Regulierung des Spülwassers und eine Sandabzugsschütze am Beckenende. Ein Spülzyklus bedingt eine komplette Entleerung des Beckens. Dieser Typ ist für Flüsse und Bäche mit eher geringem und konzentriert während Hochwassern beschränktem Sandaufkommen ideal.

- **Entsander mit vertikaler Spülung**

Entsanderkammer mit vertikaler Sandabzugvorrichtung am Boden des Absetzbeckens in einen Spülkanal. Der Sand wird bei normalem Betriebswasserspiegel durch ölhdraulisches Öffnen von Sohleschlitzten (z.B. Typ Bieri) unter Druck in den darunter liegenden Spülkanal abgeleitet. Dies erfolgt mit minimalstem Spülwasserverbrauch und ist deshalb bei Entsanderanlagen mit teilweise mehrmaligen täglichen bis stündlichen Spülungen vorteilhaft. Der Zufluss zum Kraftwerk bleibt auch bei Spülungen immer gewährleistet.

Ein anderes System mit vertikaler Spülung ist der Entsander nach dem älteren System Dufour mit geneigten Leitblättern und Sandabzugsschütze am Ende des Spülkanals. Dieses System bedingt aber eine permanente Öffnung der Sandabzugsschütze und hat somit einen grossen Spülwasserverbrauch.

Ein weiteres System mit vertikalem Sandabzug besteht aus einem horizontalen oder leicht geneigten Spülrohr mit Wirbel-

einläufen (Typ Gianella) und Abschlusschütze am Rohrende. Die Lösung ist sehr einfach und kostengünstig und wird zurzeit in Forschungsarbeiten an der Hochschule Rapperswil näher untersucht und weiterentwickelt.

Die nicht abschliessende Aufzählung von Entsandertypen mit vertikaler Spülung ist für Flüsse und Bäche mit grossem und häufigen Sandaufkommen ideal und führt zu geringen Betriebseinschränkungen und Wasserverlusten.

In den folgenden Abschnitten wird anhand von verschiedenen Beispielen von neuen Entsanderanlagen in der Schweiz und im Ausland auf Ausführungsarten und spezielle Fragen und Probleme eingegangen.

4. Beispiele von neuen Entsandern bei Hochdruckanlagen

4.1 Wasserfassung und Entsander des Kraftwerkes Camlica I in der Türkei

Die in der Zentraltürkei gelegene Wasserkraftanlage Camlica I mit rund 90 MW Leistung nutzt die Wassermengen des Zamanti Rivers über ein Gefälle von rund 300 m. Die



Bild 8. Wasserfassung KW Camlica I mit Stauwehr, Einlaufbauwerk, Entsander.

im Jahre 1998 fertig gestellte Anlage besteht aus der Wasserfassung mit drei Entsanderkammern für total 35 m³/s Ausbauwassermenge, dem 10,5 km langen Druckstollen von Ø 3,60 m, dem Wasserschloss, der 805 m langen Druckleitung von Ø 3,25 bis 2,75 m und der Zentrale mit drei Francisturbinen von je 30 MW Leistung. Die nach BOT-Modell von der privaten Gesellschaft Ayan Energy Inc. erstellte Kraftwerksanlage erzeugt jährlich rund 430 GWh.

Das Stauwehr der Wasserfassung besteht aus einem 30 m breiten freien Überfall, dem Hauptwehr mit drei Segmentschützen von je 5 m Breite und 8 m Höhe und der 3 m breiten und 2,50 m hohen Kiesablassschütze. Das Einlaufbauwerk zu den drei Entsanderkammern ist mit sechs Einlauföffnungen resp. -rechen versehen. Sämtliche Einläufe (zwei pro Entsanderkammer) können mit je einer Tafelschütze mit ölhdraulischem Antrieb abgesperrt werden. Eine Umlenkkuhne im Oberwasser verbessert die Spülwirkung bei grossen Geschiebe führenden Zuflüssen.

Der Entsander mit horizontaler Spülung besteht aus drei rund 95 m langen Entsanderkammern, die jeweils am Ein- und



Bild 9. Druckleitung, Zentrale und Unterwasserkanal des KW Camlica I.

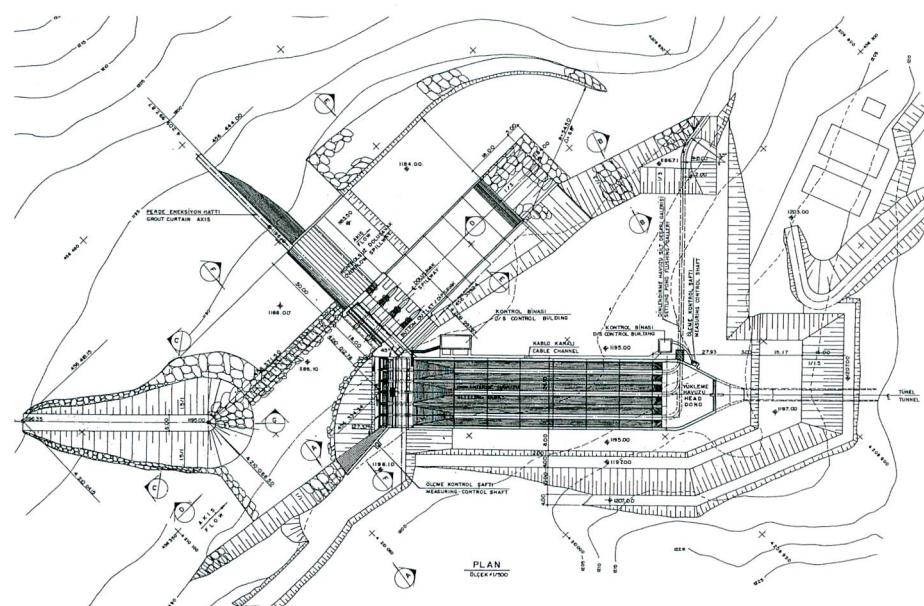


Bild 10. Wasserfassung KW Camlica I – Situation.

Auslauf mit je zwei 3,25 m breiten Tafelschützen abgeschlossen sind. Die drei Entsanderkammern sind für ein Grenzkorn von 0,20 mm ausgelegt und ermöglichen die Räumung von abgesetztem Sand durch Öffnung der am Ende des Entanders angeordneten Spül-schütze von $1,50 \times 1,50$ m lichter Durchflussöffnung.

Eine Spülung einer Entsanderkammer erfolgt in folgenden Phasen:

1. Schliessen der Ein- und Auslaufschützen der Entsanderkammer.
2. Öffnen der Entanderspülschütze und Entleerung der Entsanderkammer.
3. Öffnen der Einlaufschütze über wenige cm zur Spülung der Entsanderkammer im Freispiegelabfluss bis zur vollständigen Räumung.
4. Schliessen der Entanderspülschütze.
5. Langsames Öffnen der Einlaufschützen und vollständige Füllung der Entsanderkammer.
6. Öffnen der Auslaufschützen und Übergang in den Normalbetrieb.

Während der Spülung einer Entsanderkammer wird das Kraftwerk über die beiden anderen Kammern weiterbetrieben. Dies führt wohl zu einer grösseren Beaufschlagung der beiden übrigen Kammern, ist aber kurzzeitig zulässig.

Während der Projektierungsarbeiten wurden auch Lösungen von Entsandern mit vertikaler Spülung untersucht und vorgeschlagen. Aus Gründen der hohen Anschaffungskosten gegenüber der heute ausgeführten Lösung und der lokal lieferbaren traditionellen Ausrüstung wurde eine vertikale Sandabzugsvorrichtung schliesslich nicht ausgeführt.

Die Erfahrungen mit dem Sandabzugssystem sind durchaus positiv. Zu verbessern wäre die Ausrüstung einer automatischen Sandabtastung – die visuelle und manuelle Beurteilung der Sandablagerungen von Hand durch das dauernd vor Ort anwesende Betriebspersonal vermag nicht immer zu befriedigen.

4.2 Wasserfassung und Entsander des Kleinkraftwerkes Piumogna in Dalpe

Das Kleinkraftwerk Piumogna in Dalpe in der oberen Leventina (TI) mit 1 MW Ausbauleistung nutzt die Wassermengen des gleichnamigen Gebirgsbachs über ein Gefälle von rund 79 m. Die im Jahre 1999 fertiggestellte Anlage besteht aus der Wasserfassung am Fuss eines hohen Wasserfalls mit festem Überfallwehr, dem unterirdischen Entsander für $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$ Ausbauwassermenge, dem 150 m langen Rohr- und Zugangsstollen, der 752 m langen erdverlegten Druckleitung von

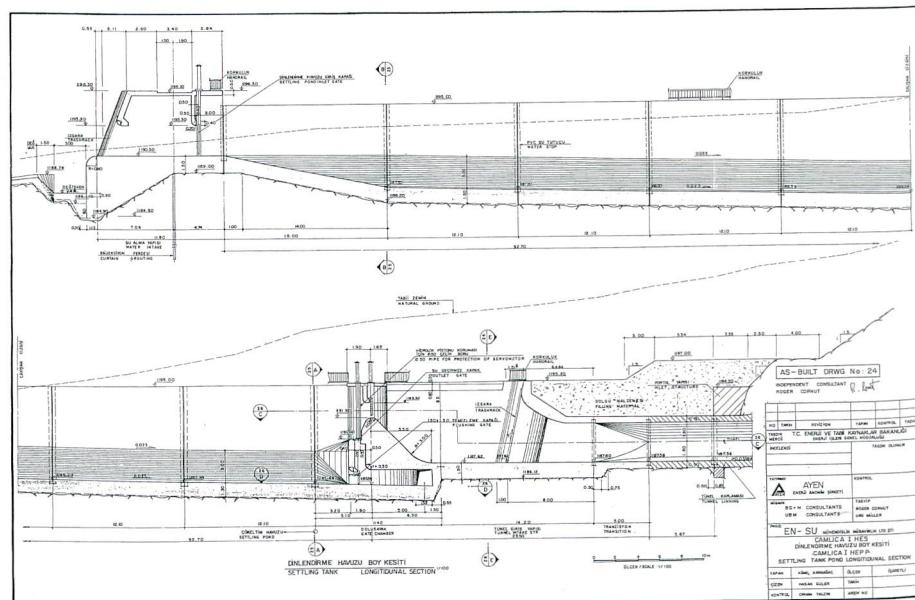


Bild 11. Wasserfassung KW Camlica I – Längsschnitt Entsander.



Bild 12. Entsander im Bau.

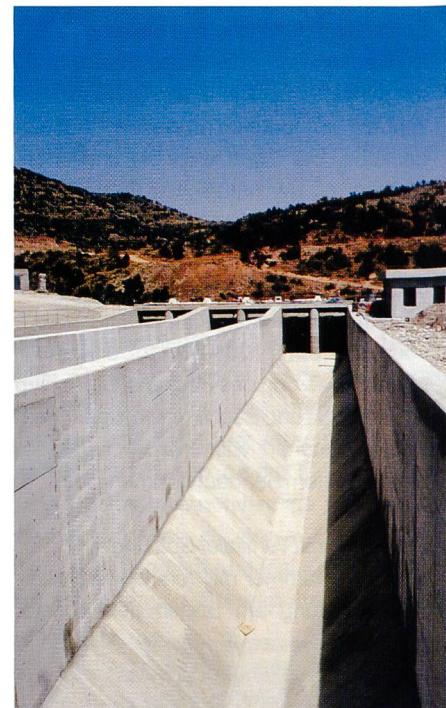


Bild 13. Fertig gestellte Entsanderkammer.



Bild 14. Spülkanal des Kiesabzugs vor dem Entsandereinlauf.

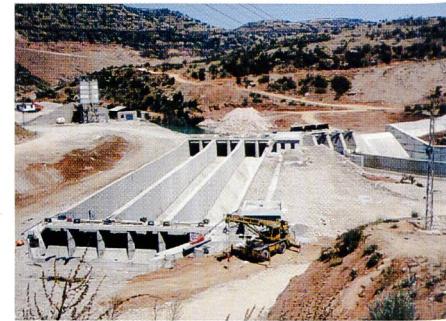


Bild 15. Übersicht über die drei Entsanderkammern im Bauzustand.

$\varnothing 80$ cm und der Zentrale mit einer vertikal-achsigen 6-düsigen Pelton-turbine von 1 MW Leistung. Das durch die mehrheitlich in Gemeindebesitz befindliche Kraftwerkgesell-

schaft erstellte Kleinkraftwerk erzeugt jährlich rund 5 Mio. kWh.

Das Stauwehr der Wasserfassung besteht aus dem 15 m breiten freien Überfall



Bild 16. Wasserfall der Piumogna mit Wasserfassung. Festes Überfallwehr mit Einlaufbauwerk.



Bild 17. Festes Überfallwehr mit Spül- schütze und Dotierauslass.



Bild 18. Unterwasser-Ansicht der Zentrale.

und der 1 m breiten und 0,90 m hohen im Wehrkörper integrierten Kiesablassschüttze. Das Einlaufbauwerk zur unterirdischen Ent- sanderkammer mit Tauchwand kann mit einer Einlaufschüttze von 2,50 m Breite und 1 m Höhe abgeschlossen werden. Das bei Hoch- wasser in den Fassungsbereich gespülte Ge- schiebe wird durch die grosse Turbulenz am Fusse des hohen Wasserfalls über das Stau- wehr oder durch die Kiesablassschüttze weg- gespült. Die Wasserfassung hat eine Ausbau- wassermenge von $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$.

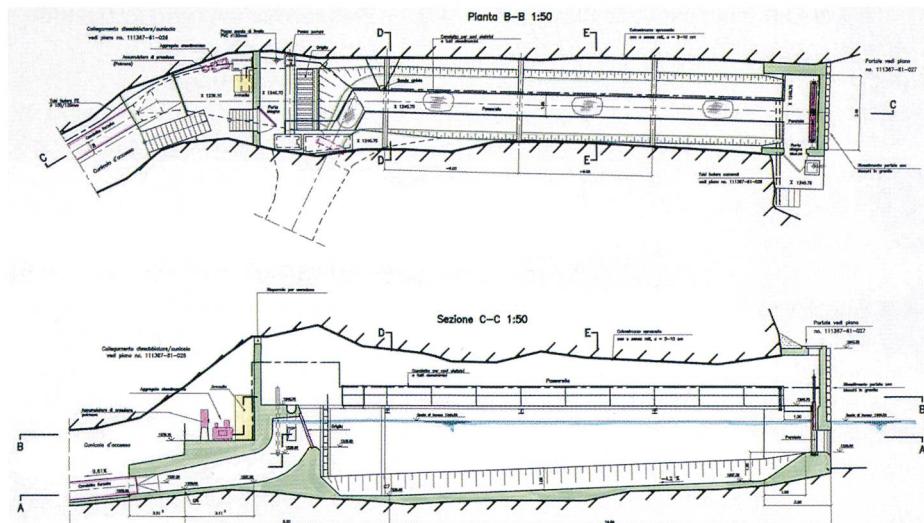
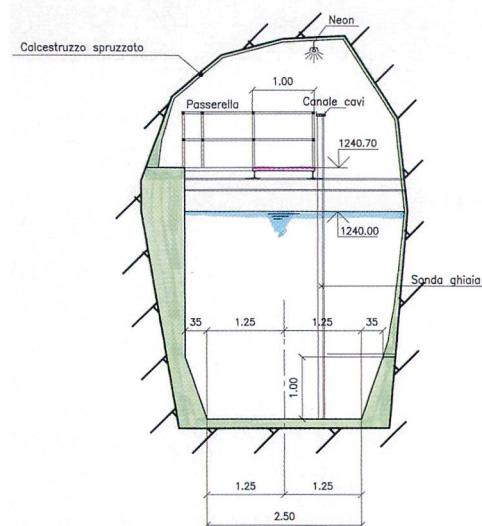


Bild 19. Grundriss und Längsschnitt der Entsanderkammer des KW Piumogna in Dalpe.

Sezione D – D



Sezione E – E

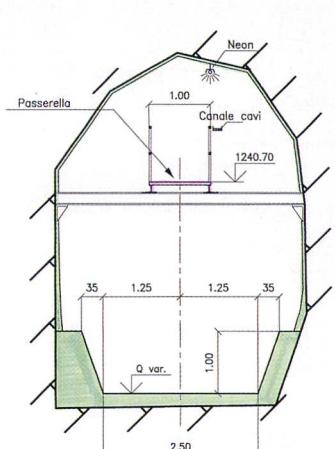


Bild 20. Querschnitte der Entsanderkammer mit Zugangssteg zur Wasserfassung.

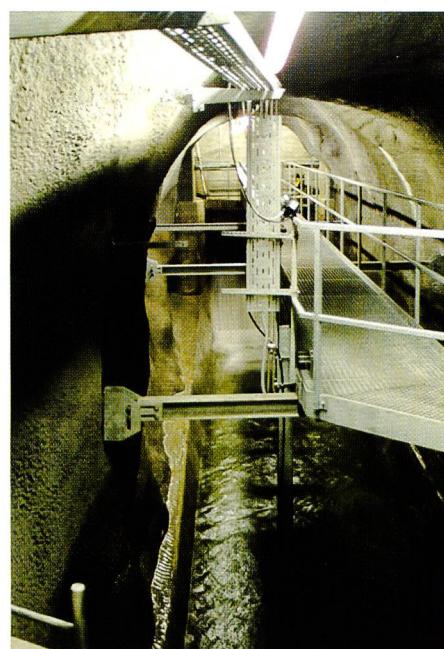


Bild 21. Entleerte Entsanderkammer mit Sand-Abtastsonde (Typ Schwingergabel).



Bild 22. Innenansicht des Entsanders während der Spülung.

Der Entsander mit horizontaler Spülung besteht aus einer 22 m langen und rund 3 m breiten unterirdischen Absetzkammer mit Einlaufschütze und seitlicher Spülschütze von 1 m² lichter Durchflussöffnung mit Spülstollen an deren Ende. Für den Zugang zur Wasserfassung und zum Stauwehr wurde oberhalb des normalen Betriebswasserspiegels ein Laufsteg eingebaut. Der Entsander wird normalerweise mit voll geöffneter Einlaufschütze betrieben. Erst bei grossen Hochwassern wird diese gedrosselt, um keine unzulässig hohen Wasserstände im Entsander und damit eine Überflutung des Zugangssteiges zu erhalten. Die Wasserfassung und der Entsander sind mit einer modernen speicherprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet, die einen vollautomatischen Betrieb der Anlage garantieren. Allfällige Sandablagerungen werden im Entsander mit einer Kiessonde festgestellt und die Spülung anschliessend automatisch ausgelöst.

Eine Spülung der Entsanderkammer erfolgt in folgenden Phasen:

1. Kiessonde stellt Sandablagerungen fest – Auslösung eines Spülzyklus – Schliessen der Einlaufschütze der Entsanderkammer.
2. Durch den Turbinenbetrieb wird der Wasserspiegel im Entsanderbecken abgesenkt, bei Erreichen des minimalen Betriebswasserspiegels stellt die Turbine automatisch ab.
3. Öffnen der Entanderspülschütze und vollständige Entleerung der Kammer.
4. Öffnen der Einlaufschütze über wenige cm zur Spülung der Entsanderkammer bis zur vollständigen Räumung.
5. Schliessen der Entanderspülschütze.
6. Langsames Öffnen der Einlaufschützen und vollständige Füllung der Entsanderkammer.
7. Der Wasserspiegel erreicht den normalen Betriebswasserspiegel, die Turbine startet automatisch und übernimmt die Wasserstandsregulierung.

Während der Spülung der Entsanderkammer wird das Kraftwerk automatisch abgestellt. Ein Spülzyklus dauert rund 15 Minuten. Die durch die sehr gute Wasserqualität der Piumogna eher selten erfolgenden Spülungen erlauben diesen Kraftwerksbetrieb. Die Energieverluste sind bescheiden.

Die Betriebserfahrungen mit dem Sandabzugssystem sind sehr positiv und haben bisher auch bei grossen Hochwassern zu keinen Problemen geführt. Zu beachten ist jedoch, dass sich der Winter- und Sommerbetrieb stark unterscheiden und im Winter auf die automatische Spülauslösung verzichtet wird.

4.3 Wasserfassung und Entsander des Kraftwerkes Campo Vallemaggia

Das Kleinkraftwerk Campo Vallemaggia im Val Rovana, einem Seitental des Maggiatals (TI) mit 1,3 MW Ausbauleistung nutzt die Wassermengen der Rovana über ein Gefälle von rund 170 m. Das Kraftwerk nutzt das künstlich durch den Bau des rund 2 km langen Umleitstollens entstandene Gefälle zwischen dem Stollenauslauf und dem bestehenden Flussbett. Der Umleitstollen mit einem grossen Einlaufbauwerk und einer Ableitkapazität von über 250 m³/s soll den Fluss vom Fuss der grossflächigen Rutschung von Campo Vallemaggia fernhalten und damit die Tiefenerosion verhindern.

Die vor kurzem fertig gestellte Anlage besteht aus der Wasserfassung im Umleitstollen der Rovana, dem unterirdischen Ent-

sander für 0,86 m³/s Ausbauwassermenge, der 260 m langen erdverlegten Druckleitung von Ø 60 cm und der Zentrale mit einer vertikalachsigen 5-düsigen Pelztonturbine von 1,3 MW Leistung. Das Kleinkraftwerk erzeugt jährlich rund 7,1 Mio. kWh. Die Kraftwerksgesellschaft befindet sich mehrheitlich in Gemeindebesitz.

Die Wasserfassung besteht aus einer Tirolerfassung mit flachem, nur wenig ins Lichtraumprofil vorstehendem Schrägrecken im bestehenden Umleitstollen. Der Zufluss der Betriebswassermenge von 0,86 m³/s zum seitlich angeordneten unterirdischen Entsander wird mit einer Einlaufschütze während Hochwassern reguliert und bei abgestelltem Kraftwerk abgeschlossen.

Der Entsander mit horizontaler Spülung besteht aus einer 32 m langen und rund 3,20 m breiten unterirdischen Absetzkammer

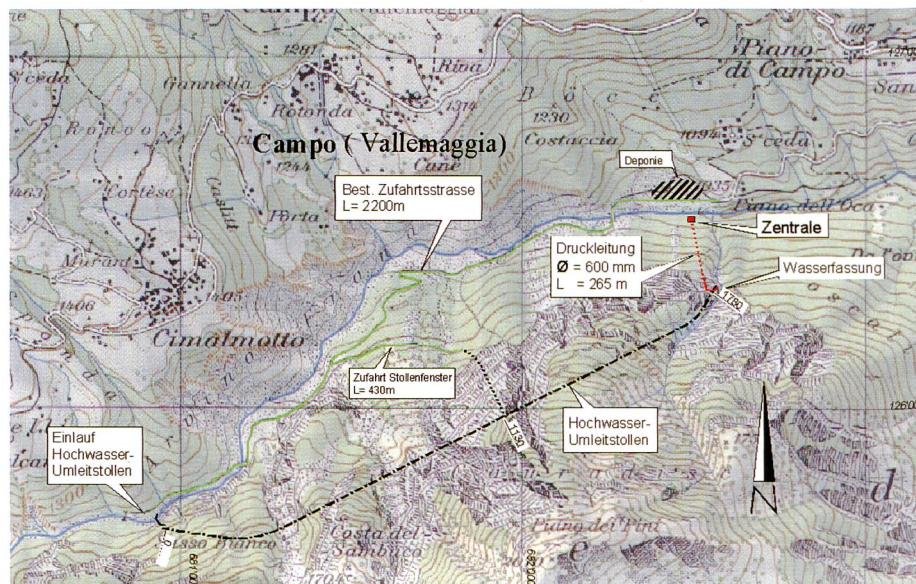


Bild 23. Gesamtsituation des Umleitstollens und des Kraftwerkes Campo Vallemaggia.

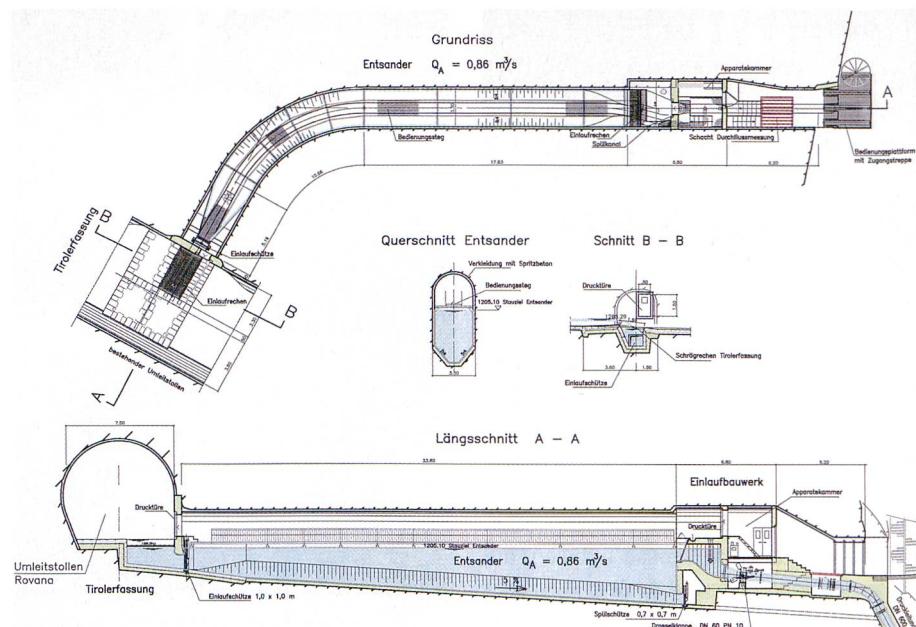


Bild 24. Grundriss, Querschnitte und Längsschnitt der Entsanderkammer des KW Campo Vallemaggia.

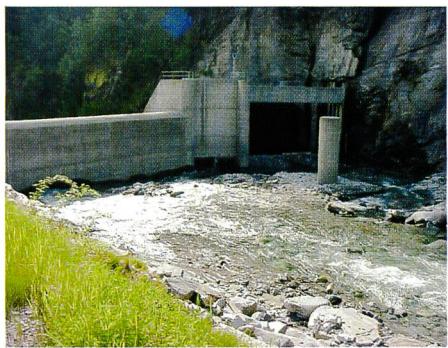


Bild 25. Fassung und Stolleneinlauf zum Umleitstollen der Rovana.



Bild 29. Bauplattform mit Bohrjumbo für den Ausbruch der unterirdischen Entsanderkammer.



Bild 26. Tirolerfassung im Umleitstollen der Rovana. Einlauffrechen und Panzertüre in Richtung Entsanderkammer.

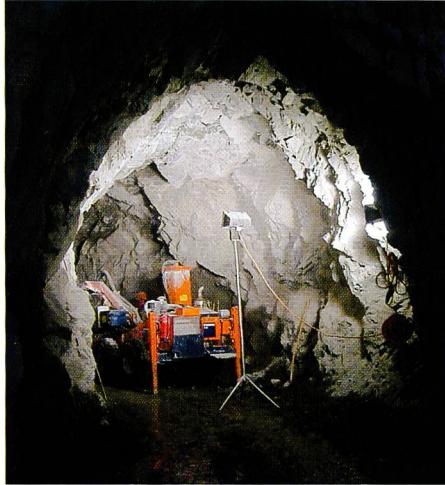


Bild 30. Ausbruchsarbeiten des Entsanders.



Bild 27. Auslauf des Umleitstollens, Bergstation Seilbahn, Zugang Entsander, Druckleitungstrasse und Zentrale mit Wasserrückgabe.



Bild 31. Spülkanal des Entsanders im Rohbau.



Bild 28. Talstation der Personen- und Materialseilbahn zur Erschliessung der Wasserfassung.



Bild 32. Entsanderkammer mit Bedienungssteg.

mit Einlaufschütze und Spülshütze von je 1 m^2 lichter Durchflussoffnung und einem Spülkanal am unteren Ende. Durch die gekrümmte Ausführung des Absetzbeckens und die damit auftretenden Turbulenzen wurde die Länge des Entsanders vergrössert, um eine sichere Entsandung des Betriebswassers zu erreichen. Für den Zugang zur Tirolerfassung und zur Einlaufschütze wird oberhalb des Betriebswasserspiegels ein Laufsteg eingebaut. Die Tirolerfassung und der Entsander wurden analog der Anlage in Dalpe mit einer modernen speicherprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet, die einen vollautomatischen Betrieb der Anlage ermöglicht. Allfällige Sandablagerungen werden im Entsander mit einer Sandabtastsonde festgestellt und die Spülung anschliessend automatisch ausgelöst. Am unteren Ende der Entsanderkammer befinden sich in einer Apparatekammer die Steuerschränke und das Ölhydraulikaggregat für die Einlauf- und Spülshütze sowie die Sicherheitsdrosselklappe. Die Spülsequenz des Entsanders erfolgt gleich wie beim Entsander des KW Piumogna in Dalpe.

Der Bau der in einer exponierten Felswand angeordneten Wasserfassung mit unterirdischer Entsanderkammer und der anschliessenden sehr steilen Druckleitung stellte eine ganz spezielle Herausforderung für Projekt und Bauausführung dar. Mit einer definitiven Personen- und Materialseilbahn wurde in einer ersten Bauphase der Zugang zur Baustelle sichergestellt. Von einer an die Felswand angehängten Bauplattform wurde in der zweiten Bauphase der Ausbruch und Ausbau der Wasserfassung und des Entsanders ausgeführt. Das neue Kraftwerk ist seit Dezember 2002 in Betrieb. Die bisherigen Betriebserfahrungen mit der Wasserfassung und dem Entsander sind sehr positiv.

5. Schlussbemerkung

Die Projektierung und Auslegung von Wasserfassungen und Entsandern an geschiebeführenden Flüssen und Bächen ist komplex und bedarf einer grossen Erfahrung.

Die Betriebserfahrungen von Kraftwerkbetreibern mit neuen und bestehenden Wasserfassungen und Entsandern müssen unbedingt in neue Projekte einfließen. Dazu sind enge Kontakte des projektierenden Ingenieurs mit dem Betreiber nach Abschluss von Bau und Inbetriebsetzung sowie ein Interesse für die Betriebserfahrungen eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Planung.

Anschrift des Verfassers

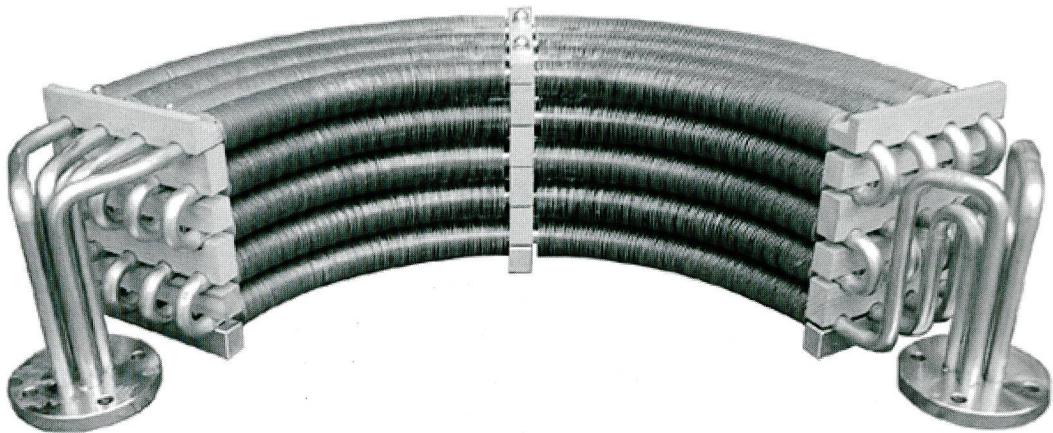
Urs Müller, IM Ingenieurbüro Maggia AG, Beratende Ingenieure, Postfach 46, CH-6601 Locarno. E-Mail: urs.mueller@im-maggia.ch



COLD+HOT engineering®

Verfahrens- und Wärmetechnologie + Wärmeaustauscherbau

Unsere Spezialitäten: Jedes Fabrikat von bestehenden Wärmeaustauschern (z.B. Generator- oder Lagerölkühler) nach Mass zu ersetzen, wobei die technischen Daten und Gesamtabmessungen der ursprünglichen Anlagen beibehalten werden.



COLD+HOT engineering AG
Ferrachstrasse 8
CH-8630 Rüti ZH

Telefon +41 (0)55 251 41 31
Telefax +41 (0)55 251 31 35
E-Mail: cold.hot@active.ch

Produktion: Werkstrasse 43
Telefon +41 (0)55 260 31 41
Telefax +41 (0)55 260 31 43

**Bieri Hydraulik Systeme:
Engineering, Kontrolle und
Montage inklusive.**
**«Wir sorgen dafür, dass Ihre
Energie nicht versendet.»**

Bieri Entsaender ermöglichen eine unterbruchslose Energieproduktion. Zudem reduziert sich mit Bieri Entsaedern die Abrasion an Druckleitungen und Turbinen auf ein Minimum.

Hydraulik hat einen Namen:

Bieri Hydraulik AG, Könizstrasse 274
CH-3097 Liebefeld · Switzerland
Phone +41 31 970 09 09 · Fax +41 31 970 09 10
E-mail: sales@bierihydraulik.com

BIERI
Hydraulik

bierihydraulik.com

Das Bieri-Entsandersystem sorgt dafür, dass die Energie nicht versendet

■ Ueli Brauen

Bieri Hydraulik

Bieri Hydraulik AG mit Sitz in der Schweiz ist weltweit tätig. Das Unternehmen entwickelt, fertigt und vertreibt Standardkomponenten bis 1000 bar, Speziallösungen in jedem Druckbereich sowie Komplettanlagen inkl. elektrischer Steuerung und Montage.

Im Bereich von Wasserkraftwerken liefert, montiert und revidiert Bieri Hydraulik zusätzlich elektrohydraulische Antriebe und Steuerungen zu Wehrschrüten, Stauklappen, Tafelschrüten und auch Schleusenanlagen.

Allgemeines

Wasserfassungen für Hochdruckwasserkraftwerke benötigen wirksame Entsandungsanlagen.

Ohne zuverlässige Entsandungssysteme würden die Kosten für die Abnützungen an Turbinen und Druckleitungen ins Unermessliche steigen.

Bereits haben erste Erfahrungen gezeigt, dass die gegenwärtige Veränderung unserer Umwelt wie z.B. die Erwärmung der Permafrostschicht dazu führt, dass der Sand- und Kiesanteil in den Zuläufen stetig zunimmt.

Somit muss den Entsandungsanlagen in Zukunft ein noch grösserer Stellenwert eingeräumt werden.

Effiziente und zuverlässige Entsandungsanlagen sind für den Betrieb von ausserordentlicher Wichtigkeit und haben einen direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung.

Bieri-Entsander für Hochdruck-Wasserkraftwerke lassen Probleme durch sandhaltiges Wasser gar nicht erst auftreten. Der im Entsanderbecken abgesetzte Sand wird durch Spülöffnungen vertikal in den Spülkanal und zurück ins Flussbett gespült. Dank individueller Einstellung der Spülöffnungen, Spüldauer und Spülinntervalle kann die Anlage den jeweiligen Betriebsverhältnissen angepasst werden. Somit kann die Spülwassermenge auf ein Minimum reduziert werden. Der Produktionsausfall für den Kraftwerksbetreiber ist somit kleinstmöglich.

Technische Beschreibung

Das System Bieri eignet sich für kleine

bis sehr grosse Wasserfassungen, d.h. ab ca. 1 m³/s bis 96 m³/s.

Im Gebirge werden die Entsander-Kammern wegen Steinschlags und Lawinengefahr öfters als Kavernen direkt in den Fels oder als überdeckte Betonkonstruktion gebaut. In tieferen Lagen werden die Entsander als offene Bauwerke ausgeführt.

Die Dimensionierung einer Entsanderanlage richtet sich nach Wassermenge, Anteil und Beschaffenheit der Sandpartikel, gewünschtem Ausscheidungsgrad sowie nach den baulichen Gegebenheiten.

Die mechanischen Sandabzugvorrichtungen mit ölhdraulischer Betätigung werden als Entsandereinheiten von 20, 25 oder 30 m Länge gebaut. Speziallängen sind möglich.

Pro Entsanderbecken bzw. -kammer können mehrere Einheiten hintereinander eingebaut werden. Bei grösseren Anlagen werden außerdem mehrere Becken bzw. Kammern nebeneinander angeordnet.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass an Stelle einer 30-m-Einheit zwei Einheiten à 15 m wesentlich effizienter sein können.

Dank Sandmesssonden, welche die Sandhöhe jeder Einheit überwachen, wird nur die Einheit gespült, auf welcher auch genügend Sand abgelagert ist. Somit wird der Spülwasserverbrauch merklich reduziert.

Bauliche Richtwerte

Durchschnittliche Fließgeschwindigkeit	0,2–0,3 m/s
Wasserspiegel über Sandabzugsvorrichtung	2,5–8,0 m
Beckenbreite	2,5–8,0 m
Böschung der Becken	min. 4:5
Höhe Sandabzugskanal	min. 1,0 m
Breite Sandabzugskanal	0,8 m
Neigung Sohle Sandabzugskanal	2–3%
Beckenlänge	12–100 m

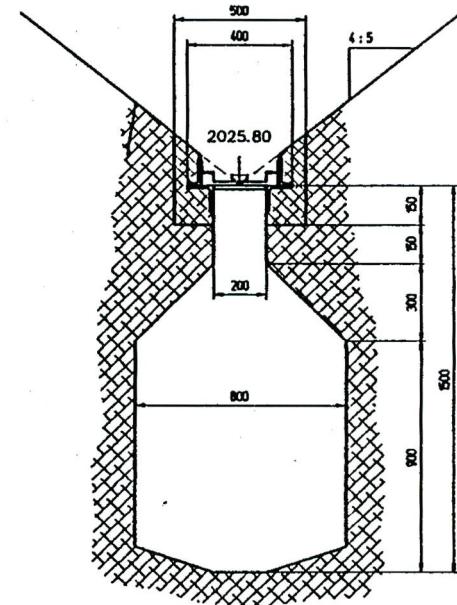


Bild 1. Querschnitt durch Sandabzugsvorrichtung und Spülrinne.

Die Beckenlänge hängt von der Wassermenge, vom Sandgehalt, der Korngrösse sowie vom verlangten Entsandungsgrad ab. In Becken über 20 m Länge werden mehrere Einheiten hintereinander installiert.

Funktionsbeschreibung der Entsandungsanlage mit Vertikal-Spülsystem Patent Bieri

Die Sandabzugsvorrichtung ist am Fuss des V-förmigen Entsanderbeckens eingebaut, welches in Längsrichtung vom Wasser durchströmt wird. Der Überfall am Ende der Kammer sichert einen genügenden Wasserstand und einen gleichmässigen Durchfluss im Becken. Ein Beruhigungsrechen dämpft die im Einlauf noch vorhandenen Wirbel. Der unter der Kammer angeordnete Sandabzugskanal führt bei geöffneter Vorrichtung den angefallenen Sand nebst Spülwasser ins Flussbett zurück.

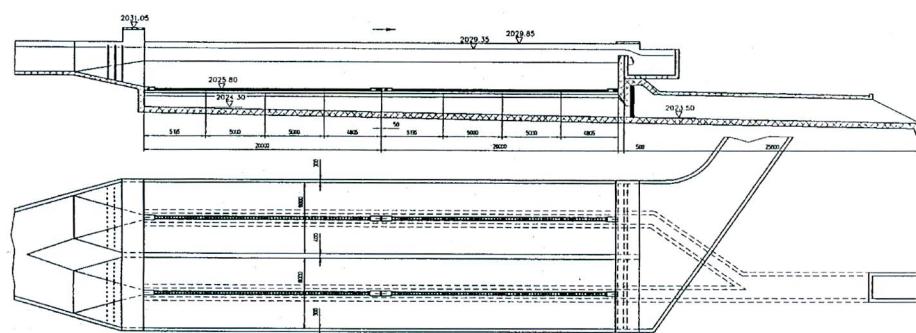


Bild 2. Längsschnitt und Grundriss eines Entsanders mit zwei Kammern.



Die Spülung erfolgt programmgesteuert je nach Sandanfall wählbar in Intervallen von $\frac{1}{2}$ bis 48 Std. Mit der automatischen, sandabhängigen Steuerung erfolgt die Spülung über eine Sandmesseinrichtung. Dadurch wird ein Minimum an Spülwasser benötigt, sodass im Kraftwerk nur geringe Leistungsschwankungen eintreten. Die Anlage kann mittels einer Handsteuerung manuell bedient werden.

Zusatzkomponenten

Für den optimalen Betrieb der Entsanderanlage sind folgende Zusatzeinrichtungen von grossem Nutzen:

- Grobreinigungsanlage mittels Einlaufrechen mit Spaltweite 25 bis max. 40 mm und evtl. Rechenreinigungsmaschine
- Einlaufschütze 1 Stück pro Kammer
- Beruhigungsrechen pro Kammer
- Sandablassschütze pro Kammer

Der Einlaufrechen ist notwendig für die Vorreinigung des Triebwassers und zum Zurückhalten des Geschwemmsels.

Die Einlaufschütze ist während des Betriebes ganz geöffnet und dient als Abschluss z.B. zur Trockenlegung des Entsanders für Revisionsarbeiten.

Die Sandablassschütze ist normalerweise geschlossen und hält das Leckwasser der Sandabzugsvorrichtungen zurück. Im Weiteren dient sie als Notschliessorgan, wenn die Abzugsvorrichtungen in offener Stellung blockiert bleiben sollten.

Sandabzugsvorrichtung

Jede Einheit der Sandabzugsvorrichtung besteht aus einer einbetonierte Basislochplatten-Einheit und einem aufliegenden, längsverschiebbaren Abschlusschieber. Letzterer wird durch zwei einfach wirkende Hydraulikzylinder geöffnet bzw. geschlossen. Die maximale Betätigungs kraft zum Öffnen bzw. Schliessen beträgt 400 kN.

Die maximale Spülöffnung pro Lochplatte beträgt 190/200 mm bei vollständiger Öffnung.

Bei normalen Verhältnissen genügt eine Öffnung von ca. 50–70×200 mm für den Spülvorgang.

In einer Einheit von z.B. 30 m Länge sind 56 Spülöffnungen vorhanden.

Die Sandabzugsvorrichtung benötigt auf der gesamten Länge des Beckens nur ein Aussparungsprofil. Die Pressenkammern am Ende jeder Einheit benötigen keine besonderen Aussparungen.

Hydraulische Antriebseinheit

Das Hydraulikaggregat ist ausschliesslich mit modernsten Bieri-Komponenten ausgerüstet. Diese gewährleisten einen störungsfreien

Betrieb der Entsanderanlage. Eine Nothandpumpe ermöglicht den Betrieb auch bei Stromausfall.

Das Hydraulikaggregat soll nach Möglichkeit im Zentrum aller Entsandereinheiten angeordnet werden, um die Länge der rostfreien Hydraulikleitungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Integration von Hydraulikantrieben für zusätzliche Schützen und Klappen im selben Aggregat ist möglich.

Elektrische Steuerung und Bedienung

Im gleichen Raum sollen auch die elektrische Steuerung und Bedienung der Entsanderanlage und eventueller Einlaufschützen und Spülkanal-Abschlusschützen untergebracht werden. Dieser Raum soll möglichst trocken sein.

Die Elektrosteuerung ist mit Vorteil in unmittelbarer Nähe des Hydraulikaggregates in einem separaten Steuerschrank einzubauen.

Entsandersteuerung

Kernstück jeder Entsanderanlage ist eine SPS-Steuerung. Dank einem optimalen Steuerungskonzept benötigt der Bieri-Entsander eine ausserordentlich geringe Spülwassermenge.

Die Spülung erfolgt erst dann, wenn sich auf einer Entsandereinheit eine volumenmässig genügende Sandmenge abgesetzt hat.

Die Sandanfall-Messung wird für jede Entsandereinheit unabhängig durchgeführt. Da in jeder Wasserfassung andere Verhältnisse herrschen, wird die Sandmesseinrichtung entsprechend eingerichtet, um den örtlichen Verhältnissen gerecht zu werden.

In Entsanderanlagen mit mehreren Entsandereinheiten spülen nur die Einheiten, auf welchen sich eine genügende Sandmenge abgelagert hat.

Die Spülung der Einheiten erfolgt zeitlich gestaffelt, damit die Betriebswassermenge nur unwesentlich beeinflusst wird.

Nebst der sandabhängigen Steuerung ist jede Anlage zusätzlich mit einer zeitabhängigen Steuerung sowie mit Handsteuerung ausgerüstet.

Die Steuerung der Bieri-Entsander ist äusserst flexibel konzipiert, damit für jede Entsanderanlage die bestmögliche Einregulierung vorgenommen werden kann.

Die folgenden Werte sind variabel einstellbar:

- Sandablagerungshöhe
- Spülintervalle
- Spülöffnung
- Spüldauer

Die Eigenüberwachung der Steuerung erfasst verschiedene Störungsmöglichkeiten, welche an Ort einzeln angezeigt werden und als Sammelalarm in die Zentrale ferngemeldet werden können.

Vorteile Entsandertyp Bieri mit Vertikal-Spülsystem

- Amortisation der Anlage innert kürzester Zeit dank minimalem Produktionsausfall.
- Etwa 50% weniger Spülwasserverbrauch als beim Entsander mit Horizontalspülung.
- Kein kontinuierlicher Spülwasserverbrauch.
- Höhere Gesamtwirtschaftlichkeit des Turbinensystems.
- Selektives Spülen nur derjenigen Einheiten, auf welchen sich die vorbestimmten Sandmengen abgesetzt haben.
- Individuelle Anpassung der Anlage an die örtlichen Betriebsbedingungen wie Sandqualität und Ablagerungskriterien.
- Kein Verstopfen des Schiebermechanismus.
- Selbsterneinigendes Sandabzugssystem.

Revidieren, Modernisieren

Bieri-Revisionen und -Modernisierungen stellen nicht nur den ursprünglichen Zustand der Anlage her, sondern führen zu weiteren Effizienzsteigerungen.

Mit dem neuen Schiebersystem «Motec» haben die Bieri-Ingenieure einen weiteren Meilenstein für vertikale Sandabzugssysteme geschaffen.

Die Kunststoffbeschichtung der «Motec»-Platte in der neuen Schieberkonstruktion reduziert den Leckwasserverlust um bis zu 90%.

Bei Abrasionsschäden, welche im Laufe der Zeit unumgänglich sind, muss nicht mehr das ganze Schieberelement ersetzt werden. Die eingelegten Dichtplatten können jederzeit einzeln überprüft und wenn nötig ersetzt werden.

Bestehende Horizontal-Spülsysteme

Bestehende Horizontal-Spülsysteme können jederzeit mit dem Bieri-Vertikal-Spülsystem umgerüstet werden. Damit wird der Spülwasserverbrauch des horizontalen Systems deutlich reduziert.

Die Spezialisten von Bieri Hydraulik beraten Sie kompetent und realisieren mit Ihnen die vorteilhafteste Lösung.

Anschrift des Verfassers

Ueli Brauen, Bieri Hydraulik AG, Künizstrasse 274, CH-3097 Liebefeld.