

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 81 (1989)
Heft: 11-12

Artikel: Kombinierte Ozonanwendungen in der Wasseraufbereitung
Autor: Leitzke, Ortwin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940526>

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: 10.02.2026

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

Kombinierte Ozonanwendungen in der Wasseraufbereitung

Dr. Ortwin Leitzke

1. Zusammenfassung

Die Kunst der Wasseraufbereitung für die verschiedensten Anwendungsfälle liegt in der richtigen Wahl und Kombination der Aufbereitungsverfahren.

In der Kette der Verfahrensschritte zur Wasseraufbereitung gewinnen neben der Biologie, der Flockung, der Sedimentation, dem Ionenaustausch und der Umkehrsmose die Oxidation mit Ozon und die Kombination von Ozon und UV-Bestrahlung als milde nasschemische Oxidation an Bedeutung. Speziell zu diesen beiden Anwendungen werden Beispiele aufgezeigt, die eine AOX- und CSB-Reduzierung oder gar eine CKW-Eliminierung ermöglichen.

2. Komponenten

Wir verwenden Wedeco-Ozonerzeuger und Wedeco-UV-Apparate.

Ozonerzeuger

Ozon wird aus sauerstoffhaltigen Gasen nach dem Prinzip der stillen elektrischen Entladung erzeugt. Dazu wird zwischen zwei konzentrisch angeordneten Elektroden eine Hochspannung angelegt, wobei die Elektroden durch ein Glasdielektrikum und zwei gasdurchströmte Entladungsräume voneinander getrennt sind (Bild 1).

Das Bild 2 zeigt ein Bündel herkömmlicher Ozonerzeugungselemente. Die Aussenelektroden, die ein Wärmetauscherbündel darstellen, haben einen Durchmesser von 55 mm. Die Glasrohre, die das Dielektrikum bilden, haben einen Durchmesser von 52 bis 53 mm. Sie sind innen mit Metall verspiegelt. Dieser Metallspiegel ist die Innenelektrode. Das Gas wird im Spalt zwischen Aussenelektrode und Glasrohr zur Ozonbildung ionisiert.

Die Wedeco-Röhrenozoneger sind nach DIN 19627 mit Ozonerzeugungselementen von kleinem Durchmesser und einem Dielektrikum aus unverspiegeltem Glasrohr ausgestattet. Der Aussendurchmesser eines Elementes beträgt nur 14 mm. Die Wedeco-Sechskant-Stabelektrode dient als Innen- und ein wasser- oder luftgekühlter Edelstahlzylinder als Aussenelektrode (Bild 3). Eine sichere serienmässige Elektronik dient der Funktions- und Betriebsüberwachung sowie der Steuerung und Verriegelung des Prozesses. Grössere Anlagen sind mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet. Alle Typen haben eine statische, elektrische Frequenzumformung.

Die Spannungs- und Stromformen sind nicht sinusförmig wie bei herkömmlichen Anlagen (Bild 4), sondern die Spannungskurve verläuft trapez- und die Stromkurve rechteckförmig (Bild 5).

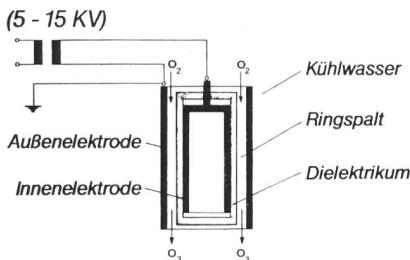


Bild 1. Prinzip eines einfach wirkenden Röhrenozonegers.

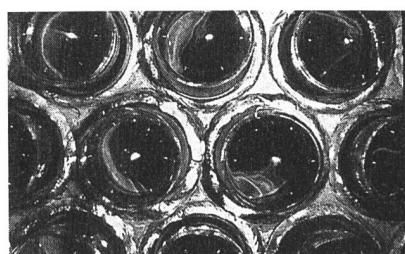


Bild 2. Bündel herkömmlicher Ozonerzeugungselemente.

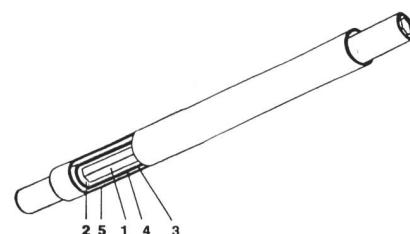


Bild 3. Ozonerzeugerelement. 1 innere Metallelektrode, 2 Gasspalt, 3 Gasrohr, 4 Gasspalt, 5 Aussenelektrode.

Sowohl die Elektrodenform mit
– ihrem kleinen Radius und hoher Feldstärke,
– verhältnismässig niedriger Sekundärspannung von
5,5 kV,
– stumpfen Winkeln an 6 Kanten
– und grosser Entladungsfläche
– als auch die elektrische Entladungsform (Spannungs- und Stromverlauf)
ermöglichen die hohe Energieausnutzung.

UV-Bestrahlungsapparate

Bei der Verfahrenskombination Ozon- und UV-Bestrahlung werden zur UV-Bestrahlung Durchflussgeräte eingesetzt, wie sie zur UV-Entkeimung von Wasser verwendet werden. Diese bestehen im grundsätzlichen aus einer oder mehreren UV-Lichtquellen, an denen das zu behandelnde Wasser in geringem Abstand vorbeigeführt wird. Als UV-Lichtquellen werden vorzugsweise Quecksilberdampf-Gasentladungsstrahler eingesetzt, je nach Anwendungsfall können dies Entkeimungsstrahler (Emission überwiegend im UVC, nämlich dem Wellenlängenbereich 200 bis 280 nm) oder auch UV-erzeugende Vakuumstrahler sein. Unterschiedliche eingesetzte Hg-Gasentladungsstrahler:

- konventioneller Hg-Niederdruckstrahler (UV-Emission ca. 0,2 W/cm)
- Hochleistungsfachstrahler (UV-Emission ca. 0,6 W/cm)
- Spekrothermstrahler (UV-Emission ca. 0,8 W/cm)
- Kühlzapfenstrahler (UV-Emission ca. 1,2 W/cm)
- Hochdruckstrahler (UV-Emission ca. 15 W/cm).

Die verschiedenen Bauarten von Hg-Niederdruckstrahlern zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad der UV-Erzeugung aus (bis zu etwa 45%). Wenn die jeweilige Anwendung hohe Leistungsdichten erfordert, kann der Einsatz von Hochdruckstrahlern geboten sein. Dieser weist mit einem Wirkungsgrad der UV-Erzeugung von 10 bis 15% eine wesentlich schlechtere Energieausnutzung auf als der Niederdruckstrahler.

Die Durchflussreaktoren für die UV-Bestrahlung sind so konstruiert, dass innerhalb des Durchflussreaktors allen Wasserteilchen möglichst die gleiche UV-Dosis appliziert wird. Das bedeutet, dass alle Wasserteilchen möglichst die gleiche Verweilzeit in der Bestrahlungskammer haben und dass die Bestrahlungsstärke über den Fliessquerschnitt möglichst gleich verteilt ist. Bei der Verfolgung dieser Zielsetzungen haben sich verschiedene Konstruktionen von UV-Reaktoren durchgesetzt.

3. Reaktionen

Traditionelle Ozonanwendung

Ozon wird verwendet zur:

- Entkeimung stark anorganisch und organisch belasteter Wässer,
- Geruchs- und Geschmacksverbesserung,

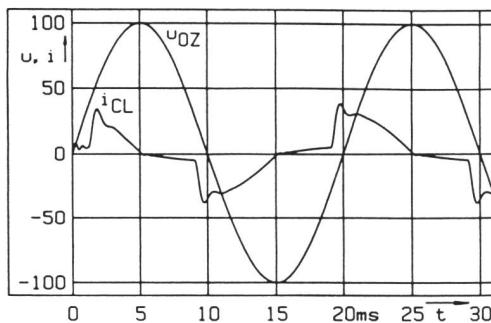


Bild 5, links. Spannungsverlauf sinusförmig.

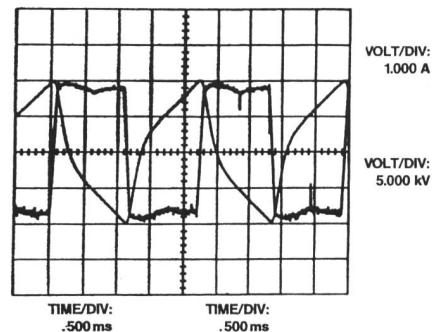
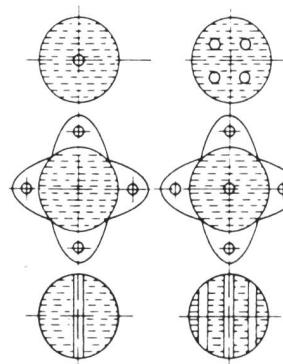


Bild 6, rechts. Spannung und Strom der Ozonerzeugung mit 7 kW und 5,5 kV und 1,8 A.

- Zerstörung von Farbstoffen,
- Eisenoxidation,
- Manganoxidation,
- Entgiftung von Abwasser,
- Veränderung von CSB und BSB,
- Steigerung der biologischen Abbaubarkeit von organischen Substanzen und
- Einsparung von Chemikalienzusätzen, z.B. Chlor und Flockungsmitteln.

Für die Erzeugung von 1 kg/h Ozon werden benötigt beim Einsatzgas: *Sauerstoff* für eine Ozongaskonzentration von 100 g/m³ bei einer Kühlwassertemperatur von 10°C: 5kWh/kg und von 15°C: 6kWh/kg. *Luft* für eine Ozonkonzentration von 20 g/m³ bei einer Kühltemperatur von 10°C: 12kWh/kg und von 15°C: 15kWh/kg.



Vor allen Dingen die externe Strahleranordnung und die Anordnung der Strahler quer zur Strömung haben sich bewährt, wenn das zu bestrahlende Wasser niedrige oder stark schwankende Transmissionen aufweist. Dieses ist gerade bei UV-O₃-Kombinationsverfahren in aller Regel der Fall. In Ergänzung zur Strahleranordnung (Bestrahlungsgeometrie) ist vor allen Dingen bei UV-O₃-Kombinationsverfahren eine geeignete Strömungsführung (Verwirbelung in der Bestrahlungskammer) von Bedeutung, um Abschirmungseffekte zu vermeiden.

Neue UV-Ozon-Kombination

Ausgangssituation

In vielen industriellen Fertigungsprozessen fallen biologisch schwer abbaubare Stoffe an, die teilweise sogar hochtoxisch sind. Hierzu gehören auch Chlorkohlenwasserstoffe. Sie werden u.a. als Treib-, Kühl-, Lösungsmittel, Pestizide oder Herbizide verwendet oder entstehen als Nebenprodukte in industriellen Prozessen. Zu diesen Stoffen gehören niedermolekulare Verbindungen, z.B. das Lösungsmittel Trichlorethylen, oder hochmolekulare Verbindungen, wie z.B. Chlorlignine oder chlorierte Huminsäuren. Sie fallen häufig in Konzentrationen an, die eine Einleitung der Abwässer in Kläranlagen oder Vorflutersysteme nicht mehr zulassen.

Herkömmliche Aufbereitungsanlagen, wie z.B. biologische Aufbereitungsstufen in Klärwerken, sind nicht mehr in der Lage, diese Stoffe entsprechend den Einleitungsverordnungen abzubauen.

Am häufigsten treten in diesem Zusammenhang typische Entsorgungsprobleme im Bereich von Altlasten, Mülldeponien und bei der Aufbereitung von industriellen Abwässern auf.

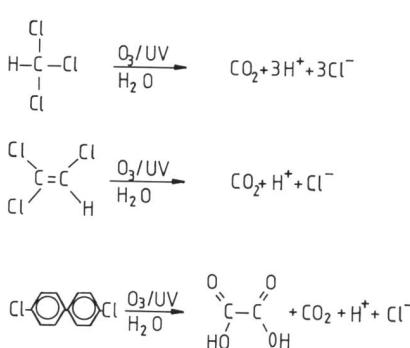
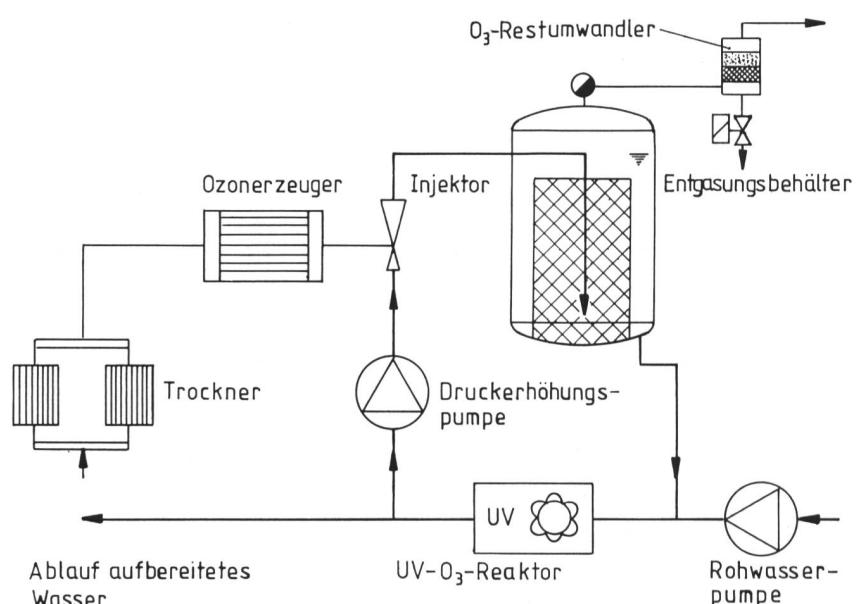


Bild 8, oben. Endprodukt von Chloroform, Trichlorethylen und 4,4-Dichlorbenzol.

Bild 9, rechts. UV-Ozon-Kombinationsverfahren zur CKW-Eliminierung.



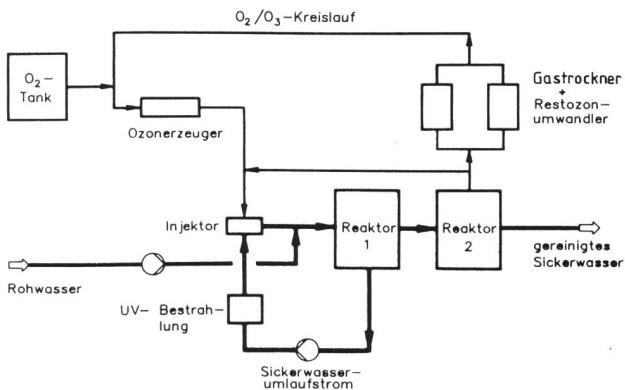


Bild 10. Verfahrensbild einer Sickerwasserozonierung.

Durch Absorption von UV-Licht bestimmter Wellenlängen werden organische Moleküle in der Weise angeregt, dass sie mit OH-Radikalen reagieren können. Diese OH-Radikale werden in grosser Menge durch UV-Bestrahlung von im Wasser gelöstem Ozon gebildet. UV-Licht wird durch Ozon absorbiert. Dadurch wird atomarer Sauerstoff von dem Ozonmolekül abgespalten, der mit Wasser zu OH-Radikalen reagiert.

So zersetzen Ozon und ultraviolettes Licht gemeinsam, jeweils alleine erreichen sie dies nicht, kurzkettige Chlorkohlenwasserstoffe, z.B. Chloroform und Trichlorethylen, zu Kohlendioxid und Salzsäure, ohne dass dabei z.B. Chloral oder Phosgen entstehen.

Langketige halogenierte Aliphäten und Aromaten werden ebenso abgebaut, dass sie zumindest biologisch abbaubar werden (Bild 8).

Verfahrenstechnik

Zur oxidativen Entfernung von Chlorkohlenwasserstoffen aus Grund- oder Oberflächenwässern wird das Rohwasser durch eine UV-Bestrahlungsapparatur gepumpt (Bild 9), hinter der ein Wasserstrom zum Ansaugen und zum Lösen von produziertem Ozon mit Hilfe einer Druckerhöhungspumpe und eines Injektors abgezweigt, zum Entweichen der nicht gelösten Luft durch einen Entgasungsbehälter geführt und vor der mit gelöstem Ozon beladene Wasserstrom wieder zugeführt wird. Im UV-Apparat reagieren UV, Ozon und die CKWs miteinander, deren Ausstripping durch diese Reaktions- und Verfahrenstechnik vermieden wird.

Zur Reduzierung von CSB- und AOX-Werten, z.B. im Sickerwasserablauf von Haushmülldeponien vor oder hinter einer biologischen Stufe, wird Ozon aus Sauerstoff gewonnen, in einen Kreislaufwasserstrom, der dem Reaktor 1 ent-

nommen wird, mit Hilfe einer Druckerhöhungspumpe und eines Injektors eingetragen und zum Reaktor geführt (Bild 10). Rohwasser wird dem Kreislaufwasser vor dem Reaktor 1 hinter dem Injektor zugegeben. Ein Wasser-Gas-Gemisch geht in den Reaktor 2 über. Gereinigtes Sickerwasser wird aus dem Reaktor 2 abgegeben. Nichtverbrauchter Sauerstoff wird über eine Trocknung der Ozonerneuerung zugeführt. In den Reaktoren 1 und 2 reagiert Ozon mit den Wasserinhaltsstoffen. In der UV-Bestrahlungskammer reagieren UV und Ozon mit den schwer abbaubaren Substanzen.

Technische Vorteile

Wedeco-UV-Ozon-Kombinationsverfahren zeichnen sich aus durch:

- kein Ausstrippen von toxischen Substanzen durch Zwangsgasführung,
- guten Ozon-Löslichkeitsfaktor durch mehrere Lösungsstufen,
- Angebot gasblasenfreier ozonbeladener Flüssigkeit zur UV-Bestrahlung,
- hohen UV-Strahlungseintrag durch eventuelle Mehrfachkreislaufführung der Flüssigkeit durch einen UV-Reaktor,
- Beherrschung selbst niedrigster UV-Transmissionsgrade durch gezielte Verdünnung unter gleichzeitiger Reaktion des Ozons mit Farbstoffen.

Ergebnisse

In 10 m³/h Wasser wurden abgebaut: Trichlorethylen von einer Konzentration von 200 µg/l auf 1 µg/l mit 50 g/h Ozon und 250 Wh UVC. Das Rohwasser war eisen- und mangelfrei und hatte einen Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff von DOC = 1,5 mg/l.

1,5 m³/h Sickerwasser wurde nach einer Biologie aufgefangen und durch die Containeranlage geschickt und mit 1 kg/h Ozon behandelt.

Hinter der Biologie wurden gemessen: CSB: 600 mg/l; AOX: 50 µg/l.

Nach der Ozonestufe wurden gemessen: CSB: 140 mg/l; AOX: 130 µg/l.

Diese Werte reichen aus, um damit in einen Vorfluter zu gehen. Sie können außerdem noch durch eine gleichzeitige O₃-UV-Behandlung um etwa 25 % gesenkt werden.

Ein Versuch, Rohsickerwasser mit Ozon und UV zu behandeln, zeigt, dass der AOX-Wert die Grenze von 200 µg/l für die erlaubte Einleitung in einen Vorfluter oder eine Biologie mit 2,4 kg/m³ h erreicht, während der CSB-Wert nur 900 mg/l erzielt. Er dürfte aber durch die Ozon-UV-Behandlung in einer nachgeschalteten Biologie jetzt besser abbaubar sein (Bild 13). Die Abbaukurve einer weiteren Rohsicker-

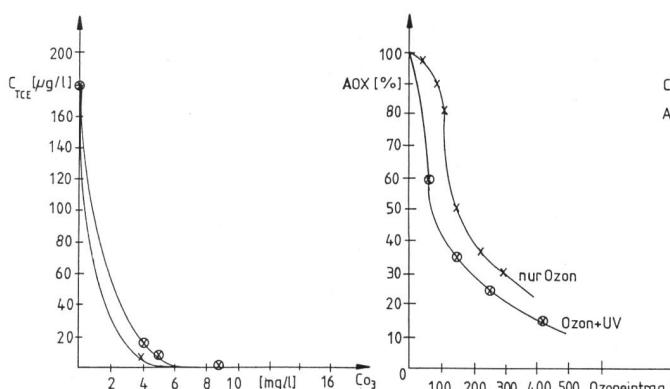


Bild 11. TCE-Konzentration in Abhängigkeit der eingesetzten O₃-Menge bei konstanter Bestrahlung.

Bild 12. Abbau des AOX-Gehalts in biologisch nicht vorgereinigtem Deponiesickerwasser durch O₃- und O₃-UV-Kombination.

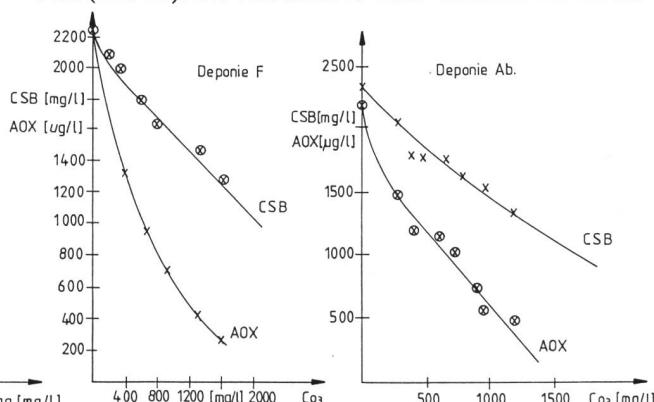


Bild 13. Behandlung von Deponiesickerwasser mit O₃ und UV (konstanter Wert).

Bild 14. Sickerrohrwasser, behandelt mit O₃ und UV.

wasserprobe von einer anderen Deponie zeigt, dass das Wasser leichter mit Ozon reagiert. Für AOX wären die 200 µg/l schon mit 1,5 kg/m³ h unterschritten (Bild 14).

Kosten

Die spezifischen Kosten der Sickerwasserozonierung mit UV-Bestrahlung hängen einmal von der Wasserbeschaffenheit, der Anlagenkapazität und der geforderten CSB-Reduzierung ab. Sie betragen 5 bis 30 DM/m³ h.

Die Kosten einer CKW-Eliminierung im Trinkwasser von 200 auf etwa 1 µg/l TCE mit Ozon und UV betragen insgesamt 0,24 DM/m³.

4. Schluss

Ozon bietet viele Kombinationsmöglichkeiten, besonders gute mit einer UV-Bestrahlung zum Abbau cancerogener Chlorkohlenwasserstoffe. Durch eine solche Anwendung eröffnen sich viele Chancen zur Lösung von Umweltproblemen.

Adresse des Verfassers: Dr. *Ortwin Leitzke*, Wedeco, c/o Hans G. Forrer AG, Forchstrasse 239, CH-8029 Zürich.

2250 m ü. M. rund 40 Mio m³ Fels und Geröll ins Addatal. Die im Maximum rund 1200 m herunterstürzende Felsmasse begrub drei Dörfer bis zu 100 m unter sich und teilte das Veltlin in zwei Teile. (Zum Vergleich sei hier angeführt, dass der Bergsturz von Goldau im Jahre 1808 etwa 35 Mio m³ umfasste.)

Ein Bergsturz war seit Tagen erwartet und entsprechende Evakuierungsmaßnahmen waren getroffen worden. Jedoch übertrafen das gewaltige Ausmass und die Geschwindigkeit des Bergsturzes jegliche Vorstellungen. Die Energie des Bergsturzes war so gross, dass der Sturzstrom am Genhang bis zu 300 m hoch aufbrandete. Die Schuttmassen unterbrachen nicht nur jede Verbindung zwischen dem oberen und dem unteren Veltlin, sondern unterbanden auch den Abfluss der Adda, so dass sich ein See, der «Lago di Val Pola», aufzustauen begann. Die anfänglich langsame Füllung des Sees wurde durch ein erneutes Hochwasser am 24. August 1987 stark beschleunigt. Das mit etwa 120 m³/s rund die Hälfte desjenigen vom 18./19. Juli 1987 umfassende Hochwasser liess den Stausee sehr rasch ansteigen und drohte den Schuttriegel zu überfluten. Ein Bruch dieses «Dammes» infolge Wasserdrucks konnte ausser Frage gestellt werden, jedoch wurde von den Geologen eine an die Nordseite des Sturzes vom 28. Juli 1987 angrenzende Felsmasse von 5 bis 10 Mio m³ als absturzgefährdet bezeichnet. Ein allfälliger Sturz dieser Felsmasse in den Stausee hätte eine gewaltige Sturzwelle zur Folge gehabt. Deshalb galt es also, den «Lago di Val Pola» möglichst rasch abzusenken. Nachdem man mit Modellversuchen ein Überströmen des Schuttriegels überprüft hatte, wurde ein Ablaufkanal in die Schuttmassen gebaggert, und am 30. August 1987 konnte durch gezielte Zugabe von maximal 40 m³/s aus dem Stau-

Der Bergsturz im Veltlin – zwei Jahre danach

Jahresexkursion des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren

Ueli Fankhauser

Die diesjährige Exkursion des Schweizerischen Nationalkomitees für grosse Talsperren vom 31. August und 1. September 1989 führte die 58 Teilnehmer bei prächtigem, spätsommerlichem Wetter zu den Engadiner Kraftwerken und ins Veltlin. Kennzeichnend für die hervorragend organisierte Exkursion waren nebst kompetenten und interessanten Vorträgen und Führungen die äusserst grosszügigen, ja fürstlichen Bewirtungen durch die jeweiligen Gastgeber.

Am ersten Tag stand ausser der langen Fahrt von Zürich nach Bormio ein Besuch bei den Engadiner Kraftwerken (EKW) auf dem Programm. Dabei wurden wir über die neue Stufe der EKW, Pradella–Martina, informiert und hatten Gelegenheit, bei einem kurzen Halt die eindrückliche Staumauer Punt dal Gall zu besichtigen. Der zweite Tag stand hingegen ganz im Zeichen der Ereignisse des Sommers 1987 im Veltlin. Mit einer Diashow stellte uns die Azienda energetica municipale Milano (Aem) zuerst den Ablauf dieser dramatischen Ereignisse vor. Bei der anschliessenden Begehung der Baustelle wurden uns die definitiven, zum Teil schon vollendeten Massnahmen zur Ableitung resp. Umleitung der Adda vorgestellt. Im folgenden seien nun die Geschehnisse und die Massnahmen zusammengefasst: Am 18./19. Juli 1987 gingen in vielen Teilen der Alpen, vor allem auf der Alpensüdseite, beachtliche Starkregen nieder. Im Einzugsgebiet der Adda übertrafen die innert 24 Stunden gefallenen Regenmengen zum Teil bis zu 35mal das langjährige monatliche Mittel. Das durch die aussergewöhnlich hoch liegende Nullgradgrenze zusätzlich anfallende Schnee- und Gletscherschmelzwasser verstärkte den Abfluss der Adda so, dass sie an vielen Stellen über die Ufer trat und weite Teile des Veltlins unter Wasser setzte. Ausgelöst durch diese schweren Regenfälle stürzten am frühen Morgen des 28. Juli 1987 vom Pizzo Coppetto aus etwa

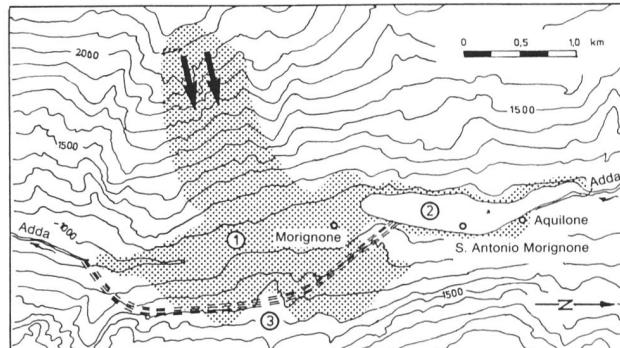


Bild 1. Situationsplan des Bergsturzes (nach einer Broschüre der Italstrade).

1 Anriiss- und Ablagerungszone des Bergsturzes, 2 Stausee «Lago di Val Pola», 3 Entlastungsstollen.

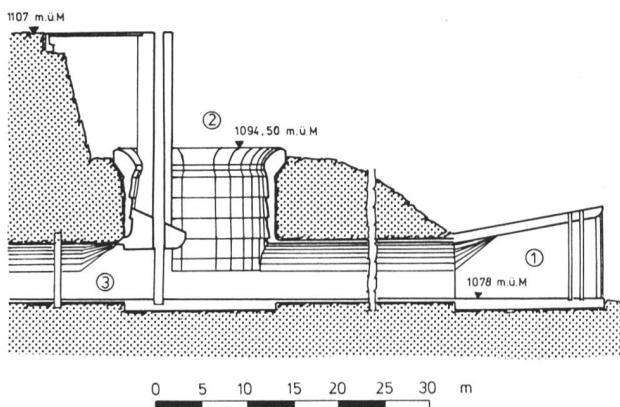


Bild 2. Schnitt durch das Einlaufbauwerk des hufeisenförmigen Entlastungsstollens (nach einer Broschüre der Italstrade).

1 Einlaufbauwerk, 2 abgeteufelter Schacht mit Regulierorgan, 3 Einlauf in Stollen.