



Stauseen wie natürliche Seen verlanden allmählich durch das von den Zuflüssen herbeibringte Material. Das Stauvolumen wird kleiner, und die Abschlussorgane funktionieren entweder nicht mehr oder nicht mehr sicher genug. Die Ablagerungen müssen deshalb von Zeit zu Zeit fortgespült oder weggebaggert werden. Im Rahmen eines internationalen Symposiums an der ETH Zürich vom 28. und 29. März 1996 sprachen 32 Referenten aus Deutschland, Österreich, den Niederlanden und der Schweiz zum Thema «Verlandung von Stauseen und Stauhaltungen». Diskutiert wurden dabei Fragen, wie die Verlandung kleingehalten werden kann, wie ohne grössere Schäden gespült und gebaggert wird und welche Wechselwirkungen dabei zwischen den Bedürfnissen der Energieproduktion, des Hochwasserschutzes und der Ökologie entstehen. Hier einige Auszüge aus der Tagung, die von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich und dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (SWV) durchgeführt wurde.

# Verlandung von Stauseen und Stauhaltungen

■ Helmut Waldschmidt

## Auch Stauseen müssen zuweilen «geputzt» werden

### Geschiebe verkleinert das Volumen und gefährdet die Funktionsfähigkeit

Ebenso wie natürliche Seen haben auch Stauseen die Tendenz, durch das von den Zuflüssen mitgeschleppte Material allmäh-

lich zu verlanden. Das verringert nicht nur das Speichervermögen und damit die Stromproduktion, sondern kann gleichzeitig die Funktion der gesamten Kraftwerk-anlage beeinträchtigen.

Es fällt schwer sich vorzustellen, dass der Bodensee einmal doppelt so gross war wie heute. Noch schwieriger dürfte die Vorstellung sein, dass er in etwa 12 000 Jahren nicht mehr bestehen wird. Denn Jahr für Jahr transportiert der Alpenrhein – im



**Bild 1** Entleertes Staubecken Ova Spin. Das aus der Seewurzel zufließende Spülwasser wurde durch das über den Freispiegelstellen eingeleitete Innwasser effizient verdünnt, so dass die Feststoffgehalts-Konzentrationen im Unterlauf des Spöls und Inn immer tief gehalten werden konnten.

#### Kontaktadressen:

Helmut Waldschmidt, Rebstrasse 5, Postfach, 8156 Oberhasli.

Bernhard Feuz,  
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG,  
Bellerivestrasse 36, Postfach, 8034 Zürich.

Dr. Markus Ammann,  
Hollinger AG, Mellingerstrasse 207, 5405 Baden.

Prof. Dr. Daniel Vischer, ETH Zürich,  
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und  
Glaziologie (VAW), 8092 Zürich.

## Verlandung von Stauseen

übrigen der grösste Wildbach Europas – eine Geschiebemenge von rund 3 Millionen Kubikmetern in den See und füllt ihn allmählich auf. Diese jährliche Fracht entspricht in etwa dem Inhalt der Cheops-Pyramide oder dem Inhalt eines Turmes von 400 m Höhe mit der Grundfläche eines Fussballfeldes!

### Unerwünschte Fracht

Was beim Bodensee und anderen natürlichen Seen wohl oder übel hingenommen wird, trachtet man bei den künstlichen Stauseen so gut als möglich zu verhindern, denn dort stört der Eintrag von Geröll, Kies, Sand und Schlamm durch die Zuflüsse ungleich mehr. Nicht nur, dass das Stauvolumen ohne Gegenmassnahmen ständig abnehmen und zu einer zusehends kleineren Stromproduktion führen würde; das unerwünschte Material führt gleichzeitig dazu, dass der Grundablass, über den jeder Speichersee schon aus Sicherheitsgründen verfügt, allmählich zugeschüttet wird und dadurch nicht mehr funktioniert.

Nicht alle Stauseen sind gleichermaßen von der Verlandung bedroht: Art und Menge des eingetragenen Materials hängen zum einen von der Beschaffenheit des Einzugsgebietes, zum anderen aber auch von seiner Grösse ab. Grobes Material, wie es von den Zuflüssen vor allem bei Hochwassern in erheblichen Mengen und in kürzester Zeit herangeschleppt wird, bleibt vorwiegend im Uferbereich liegen. Es sorgt dort für unerwünschte Deltabildungen, die direkt das Speichervolumen verkleinern.

Die Feinfracht (Sand, Schlamm), die bis an die Staumauer vordringt, schüttet allmählich den Grundablass zu und verfestigt sich dort, so dass eine rasche Absenkung des Sees in Notfällen oder eine völlige Entleerung mit der Zeit nicht mehr möglich wären.

### Vorbeugen genügt nicht

Die Verlandung von Stauseen (und auch von Stauhaltungen in Flüssen) ist so alt wie die Stauseen selbst, und auch die Massnahmen zu deren Verhinderung bzw. Beseitigung sind nicht absolut neu. Durch den technischen Fortschritt lassen sich diese Methoden inzwischen aber effizienter und gezielter einsetzen.

Am besten ist es, wenn das von den Zuflüssen mitgeführte Material erst gar nicht ins Staubecken gelangt. Tatsächlich versucht man auch, die feste Fracht schon vor dem See in Geschiebesammlern zurückzuhalten oder das Geschiebe – namentlich bei Hochwassern – durch Umleitungsstollen

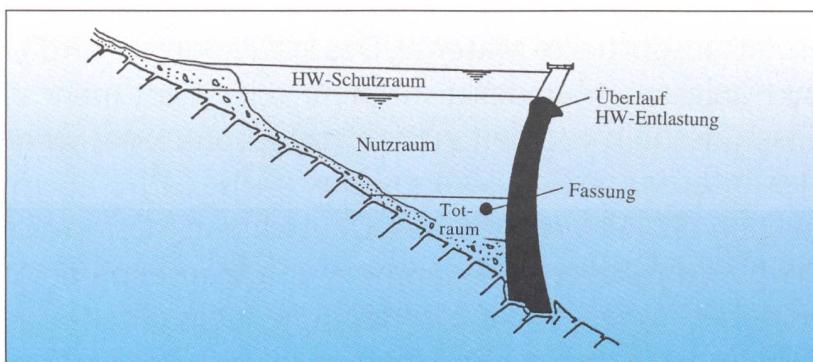


Bild 1 Speichersee mit üblicher Aufteilung des Stauraums in einen Hochwasser-Schutzraum, einen Nutzraum und Totraum.

### Die Folgen der Stauseeverlandung

Die Folgen einer Stauseeverlandung lassen sich aufgliedern in solche für die *Zuflüsse*, den *Stausee*, die *Talsperre* die *Nebenanlagen der Talsperre*, die allfällig angegeschlossenen *Nutzungsanlagen* und den *Abfluss*.

Wie aus dem Bild hervorgeht, verursachen die Ablagerungen im Delta auch eine Erhöhung der Sohle der *Zuflüsse*. Diese Verlandung kann sich bei geringem Flussgefälle weit flussaufwärts bemerkbar machen und dort Ausuferungen im Hochwasserfall begünstigen bzw. entsprechende Gegenmassnahmen erforderlich machen.

Für den *Stausee* hat die Verlandung eine Verringerung des Stauraums zur Folge. Dies bedeutet bei einem *Speichersee* praktisch immer eine Einbusse an Speichervermögen. Das Bild zeigt die grundsätzliche Unterteilung eines solchen Speichersees in einen zuoberst liegenden Hochwasserschutzraum, einen darunterliegenden Nutzraum und einen zuunterst liegenden Totraum.

Es ist vor allem die Deltabildung, die sich speichervermindernd auswirkt, weil sie die oberen Schichten (Hochwasserschutzraum und Nutzraum) einengt. Die übrigen Ablagerungen füllen vornehmlich den Totraum, der ohnehin der Nutzung entzogen ist.

Dient ein Stausee noch andern Zwecken als dem Hochwasserrückhalt sowie der Speicherung für die Nutzwasserwirtschaft, nämlich der Schiffahrt, der Fischerei und der Erholung, wirkt sich die Verlandung ebenfalls nachteilig aus. Sie vermindert die verfügbare Wasserfläche und verursacht ökologische Veränderungen, wie die Vermehrung des Bewuchses durch Wasserpflanzen in seichten Gebieten usw. Der Verlandungsprozess ist ja eigentlich ein Restaurationsprozess, der einen durch Flussaufstau geschaffenen Stausee allmählich wieder in einen Fluss zurückverwandelt und damit ein Seeregime in ein Flussregime transformiert. (Der gleichen Transformation innerhalb von geologischen Zeiträumen sind ja auch alle unsere Seen ausgesetzt.)

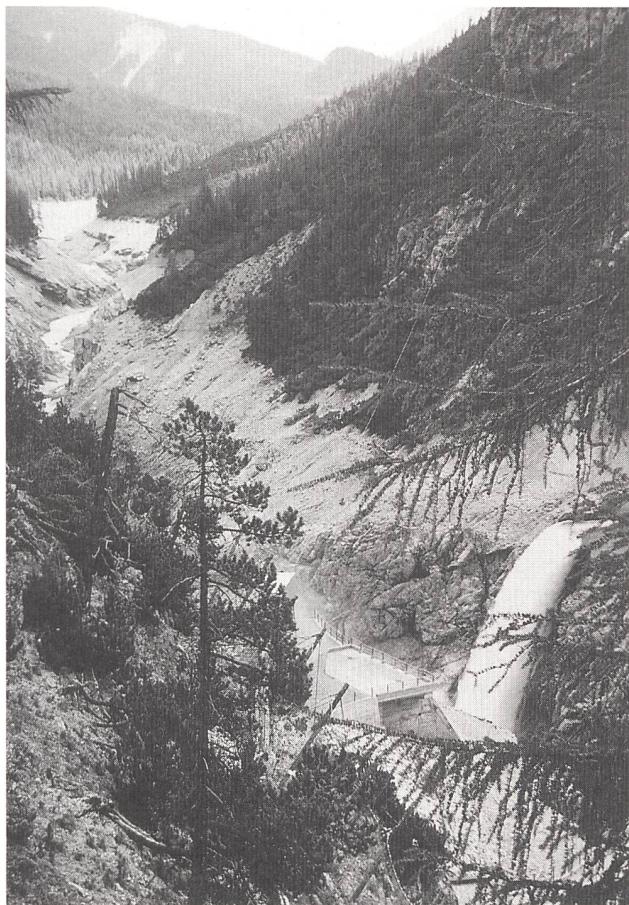
Für die *Talsperre* bewirken die Sedimente unter Umständen eine zusätzliche und wachsende Belastung. Zunächst sind es die *Dichteströme*, die die Sperre erreichen und sie einem höheren Druck als nur dem Wasserdruk aussetzen. Mit der Zeit wird die Sperre dann durch verfestigte Ablagerungen belastet.

Weitere nachteilige Folgen ergeben sich, wenn die Ablagerungen den Einlauf der *Nebenanlagen der Talsperre*, also den Grundablass, die Fassung oder tiefliegende Durchlässe der Hochwasserentlastung erreichen. Denn dadurch steigt der Feststoffgehalt der entsprechenden Durchflüsse beträchtlich, was den Abschiff an Rechen, Schützen, Schiebern, Leitungen, Tosbecken usw. wesentlich erhöht und deren Funktionsfähigkeit beeinträchtigt. Überschreitet der Feststoffgehalt ein bestimmtes Mass, so können die erwähnten Nebenanlagen teilweise oder ganz verstopfen.

Über die Fassung erreichen die Sedimente die angeschlossenen *Nutzungsanlagen*, wo sie ebenfalls Schaden anrichten können. Bei Hochdruckpumpen und -turbinen (Pelton, Francis) erweist sich schon ein relativ geringer Schwebstoffgehalt als verheerend; die mitgerissenen Schwebstoffkörner prallen dort mit grosser Geschwindigkeit auf vitale Teile und schleifen diese derart ab, dass die Regulierorgane beeinträchtigt werden und der Pumpen- bzw. Turbinenwirkungsgrad erheblich abfällt.

Solange ein Stausee Sedimente zurückhält – und dies tut er vor seiner vollständigen Verlandung immer – fehlen diese im *Abfluss*. Flussabwärts des Stausees fällt also kein Geschiebe an und nur noch eine reduzierte Schwebstoffmenge. Dies kann dort eine Erosion und damit eine Eintiefung der betroffenen Flüsse bewirken, falls keine natürliche Abpflasterung besteht oder keine Gegenmassnahmen ergriffen werden.

Daniel Vischer



**Bild 2** Entleertes Staubecken Ova Spin, das mitten in den Schweizerischen Nationalpark eingebettet ist. Das aus der Seewurzel zufließende Spülwasser wurde mit grosser Frischwassermenge, die über den Freispiegelstoffen zugeleitet wurde, effizient verdünnt. Am rechten Bildrand ist die Mündung des Freispiegelstollens mit dem abstürzenden Innwasser ersichtlich.

«Dreck» auch in einem Stausee erst am Schluss konzentriert ab.

Allerdings können Stausee-Spülungen nicht zu beliebigen Zeiten durchgeführt werden. Geschähe dies bei Niedrigwasser in den Bächen und Flüssen unterhalb der Staumauer, bliebe das Material schon am Anfang liegen und würde zudem – neben weiteren Schäden an Fauna und Flora – unweigerlich zu Fischsterben führen. Man wartet deshalb jeweils Hochwasser ab, in denen sich die ausgespülten Feststoffe besser verteilen, das heisst nur noch zu ungefährlichen Konzentrationen führen.

■ Bernhard Feuz

### Mögliche Massnahmen zur Verhinderung von Verlandungsproblemen im Stausee Mauvoisin (VS)

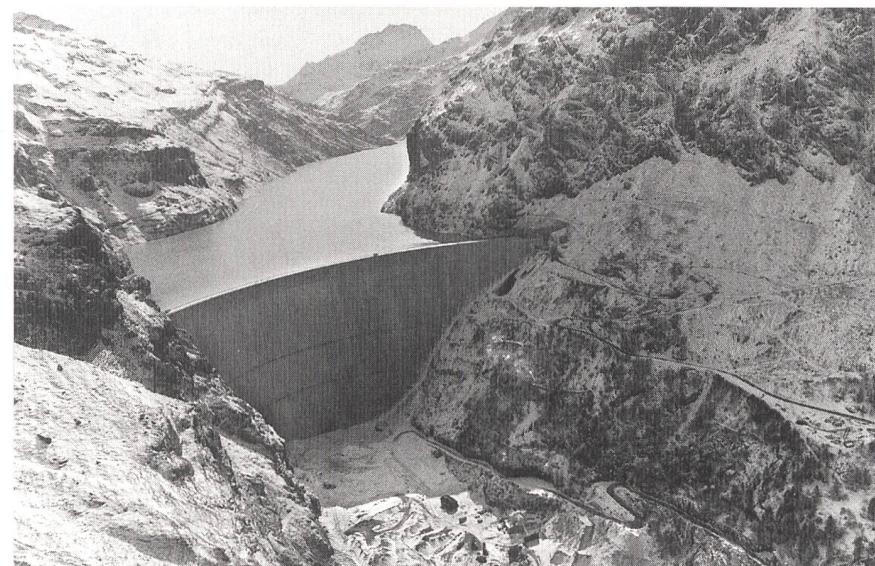
Seit der Inbetriebnahme der Kraftwerke Mauvoisin AG im Jahre 1956 sind im hochgelegenen Stausee etwa 10 Millionen Kubikmeter Stauvolumen verlandet. Diese beeinträchtigen das nutzbare Seevolumen von 210 Millionen Kubikmeter für die Stromproduktion zwar noch kaum. Hingegen kann bei tiefen Seeständen im turbinierten Wasser eine starke Zunahme der Schwebstoffmengen beobachtet werden. Wird der Stausee sehr tief unter eine kritische Kote abgesenkt, können beträchtliche Mengen von Feinsedimenten, sogenannter Gletscherschliff, in die Fassung gesaugt werden. Dies kann zu Abrasionsschäden an den Turbinenrädern und unter anderem zur Verstopfung des Kühlwassersystems der Turbinen führen. Um dies zu vermeiden, wurde bereits 1985 der ursprünglich auf

um den Stausee herum in den Unterlauf des Gewässers zu befördern. Doch abgesehen davon, dass Umleitungsstollen nur bei kleineren Stauseen in Frage kommen, lassen sich Wasser und Geschiebe ohnehin nie vollständig trennen. Ein Teil des Geschiebes wird dennoch das Staubecken erreichen, während durch die Umleitung gleichzeitig Nutzwasser verloren geht.

Wichtiger als Vorkehren gegen die Verlandung sind in der Praxis Massnahmen, um bereits eingetragenes Material wieder aus den Stauseen zu entfernen. Eine davon ist das konventionelle Ausbaggern. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Saubaggern zu: Kies, Sand und Schlamm werden auf dem Seegrund wie mit einem Staubsauger abgesaugt und an die Oberfläche befördert. Weil sich das Material aber grösstenteils schon verfestigt hat, muss es zuerst gelockert werden. Das geschieht entweder durch gezielte scharfe Wasserstrahlen an der Absaugstelle oder durch eine Art Bohrkopf.

### Dosiertes Spülen

Eine wichtige Rolle bei der – mehr oder weniger regelmässigen – «Frühjahrspütze» von Speicherseen spielt zudem die Spülung durch den geöffneten Grundablass. Man könnte annehmen, dass dies am besten



**Bild 3** Seit der Inbetriebnahme im Jahre 1956 sind im Stausee Mauvoisin etwa 10 Millionen Kubikmeter Stauvolumen verlandet.

## Verlandung von Stauseen

Kote 1800 m ü.M. festgelegte, tiefste zulässige Seespiegel um 10 m auf Kote 1810 m ü.M. erhöht.

Um in Zukunft, das heisst in den nächsten 50 Jahren, nicht weiteres nutzbares Speichervolumen des Stausees der Verlandung preisgeben zu müssen, wurden grundsätzliche Lösungen studiert. Im Vordergrund steht die Erstellung einer Spülvorrichtung unmittelbar unterhalb des Einlaufbauwerkes zum Druckstollen, der das Wasser zum Kraftwerk führt. Mit dieser Spülvorrichtung können die Feinsedimente abgesaugt und vom turbinierten Wasser ferngehalten werden. Zurzeit werden die baulichen Massnahmen untersucht. Mit deren Realisierung soll in den nächsten Jahren begonnen werden.

■ Markus Ammann

### Zehn Jahre ökologische Spülungsbegleitung am Luzzzone-Stausee (Bleniotal/TI) – ein Rück- und Ausblick

In jedem Stausee lagern sich im Laufe der Zeit grössere Sedimentmengen ab, die über die Zuflüsse in den See gelangen. Aus Gründen der Ökonomie und der Sicherheit müssen diese Ablagerungen periodisch entfernt werden. Im einfachsten Fall geschieht dies durch Spülungen und Leerungen des Stausees, das heisst durch kürzeres oder längeres Öffnen des Grundablasses des Sees, was zum Ausspülen der Sedimente in den Vorfluter, meist ein alpines Fliessgewässer, führt.

Solche Verlandungsausräumungen haben in der Regel beeinträchtigende Auswirkungen auf die gewässerbewohnende Fauna dieses Vorfluters (vorwiegend sogenannte Makroinvertebraten). Aus diesem Grund gaben die *Officine Idroelettriche di Blenio S.A. (OFIBLE), Locarno*, eine Studie in Auftrag, um die langfristige Beeinflussung von Makroinvertebraten – in alpinen Gewässern sind darunter vor allem Insektenlarven zu verstehen – durch Spülungen und natürliche Hochwasser zu untersuchen.

Die Resultate dieser Untersuchung zeigen, dass neben dem richtigen *Spülungszeitpunkt* das Hauptproblem bei Spülungen dieser Art die *immensen Sand- und Schlammmassen* sind, denen eine nicht ausreichende Quantität an teurem Spülwasser gegenübersteht. Aus den Untersuchungen liessen sich folgende drei Empfehlungen für ein ökologisch schonendes Vorgehen bei zukünftigen Kurzspülungen formulieren.

### Spülungen sollen immer zusammen mit natürlichen Hochwasserereignissen durchgeführt werden.

Es konnte festgestellt werden, dass sich die Makroinvertebraten-Fauna nach Hochwassern wesentlich schneller regeneriert als nach Spülungen oder Leerungen. Bei natürlichen Hochwassern wird die oberste Zone des Flussuntergrundes ausgespült, aufgelockert und von Sediment gereinigt; der Lebensraum für die Kleinlebewesen wird dadurch erneuert. Natürliche Hochwasser kommen zudem in der Regel in einer bestimmten Periode des Jahres vor. Daran haben sich die Organismen unter anderem mit ihren Lebenszyklen besonders angepasst. Ausserhalb dieser Hochwasserperioden können sich deshalb anthropogene, das heisst vom Menschen verursachte Hochwasser, sehr nachteilig auf die Organismengemeinschaft auswirken.

### Die Abflussmenge des Grundablasses soll nur langsam auf das Maximum angehoben werden.

In Analogie zum natürlichen Hochwasser entfällt so durch den langsamem Anstieg für die Makroinvertebraten-Fauna der «Überraschungseffekt»; die Tiere erhalten so die Gelegenheit, sich vor der Sedimentwolke und den Turbulenzen in der obersten Bodenschicht in den tieferen Flussuntergrund in Sicherheit zu bringen. Es konnte (durch die ETH Lausanne) gezeigt werden, dass durch das Öffnen des Grundablasses *erst bei rückläufigen Pegelwerten* der natürliche Spitzenwert des Schwebestoffanteils nicht noch zusätzlich erhöht würde.

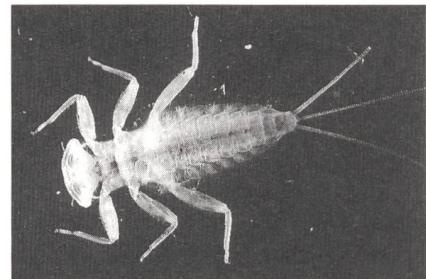


Bild 4 Eintagsfliegenlarve: *Rithrogena sp.* (etwa 3 mm lang, mit saugnapfartiger Kiemenanordnung). (Photo H. Bachmann, EAWAG)

Durch entsprechende technische und organisatorische Schritte soll sichergestellt werden, dass bei Spülungsende noch genügend sauberes Verdünnungswasser zur Verfügung steht.

Sollte bei schnell sinkender Abflussmenge das Spülungsende wider Erwarten noch in weiter Ferne sein, müsste für den Notfall eine Quantität feststoffarmes, sauerstoffreiches Spülwasser zur Verfügung stehen. Damit könnte einer allfälligen Verschlammung und Kolmation, die den Lebensraum der Makroinvertebraten drastisch einschränken würden, durch Ausspülung mit sauberem Wasser entgegengewirkt werden.

Es ist zu erwarten, dass durch die Berücksichtigung dieser Regeln, die in jedem Fall auf die spezielle Situation des jeweiligen Gewässers abgestimmt werden müssen, sich Beeinträchtigungen der Fauna im Fliessgewässer verhindern oder zumindest drastisch reduzieren lassen. Es ist folglich zu hoffen, dass diese Massnahmen in naher Zukunft zu allgemeinen Randbedingungen jeder Spülung oder Leerung eines Stausees werden.

## Ensablement des lacs de barrages

Les lacs de barrages ainsi que les lacs naturels s'ensabent peu à peu, car les affluents charrient des matériaux. En conséquence le volume d'accumulation diminue et les organes de fermeture ne fonctionnent plus, ou alors seulement encore de manière insuffisante. Il faut donc vidanger et curer de temps à autre les lacs.

Dans le cadre d'un symposium international, qui s'est tenu les 28 et 29 mars derniers à l'EPF de Zurich, trente-deux spécialistes venus d'Allemagne, d'Autriche, des Pays-Bas et de Suisse ont présenté des exposés sur l'«ensablement des lacs de barrages». Des questions relatives à la manière d'éviter un ensablement important, de vidanger et de curer sans grands dommages les lacs ainsi que concernant les interactions existant entre les besoins de la production d'énergie, ceux de la protection contre les crues et ceux de l'écologie ont été discutées à cette occasion. Près de deux cent cinquante professionnels ont participé à ce symposium réalisé par le Laboratoire d'essai pour la construction hydraulique, l'hydrologie et la glaciologie (VAW) de l'EPF de Zurich et l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (SWV).