

Stauanlagen im Kanton Zürich erstellt, mit Fokus auf die Stauanlagensicherheit und wasserbauliche Aspekte.

Nebst der Erhebung des bestehenden Zustands werden Sanierungsempfehlungen abgegeben. Mit der Realisierung dieser empfohlenen Massnahmen wird die Sicherheit aller Stauanlagen im Kanton Zürich verbessert - auch bei denen, die nicht der StAV unterstehen.

Die eingeführte Beurteilung des Restrisikos der Anlagen erlaubt eine nach Priorität geordnete Umsetzung der umfangreichen anstehenden Sanierungsarbeiten. Die vorhandenen finanziellen Mittel können gezielt entsprechend dem Gefahrenpotential eingesetzt werden.

Referenzen

Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen (Stauanlagenverordnung, StAV) vom 07.12.1998, SR 721.102

Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument Unterstellungskriterien, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Version 1.0, Biel, Juni 2002

Sicherheit der Stauanlagen, Richtlinie, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel, Version 1.1, November 2002

Paquier, A., Calcul simplifié des ondes de rupture de barrages; informations techniques du CEMAGREF, note 1, Lyon, décembre 1994

«Castor»: Software für die vereinfachte Berechnung von Dammbrechwellen mit dem 1D-Parametervorgang, CEMAGREF Lyon, <http://www.lyon.cemagref.fr/hh/panorama/logiciels/castor/index.shtml>

lyon.cemagref.fr/hh/panorama/logiciels/castor/index.shtml

Geografisches Informationssystem (GIS) des Kantons Zürich: Übersichtspläne sowie Ebenen «öffentliche Gewässer und Wasserrechte» und «Strassen», www.gis.zh.ch

Anschriften der Verfasser

Heinz Hochstrasser, dipl. Bau-Ing. ETH AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Walcheplatz 2, Postfach, CH-8090 Zürich, heinz.hochstrasser@bd.zh.ch

David Felix, dipl. Bau-Ing. ETH

Pöyry Energy AG (vormals Electrowatt-Ekono), Hardturmstrasse 161, Postfach CH-8037 Zürich, david.felix@poyry.com

Zustandserfassung und Instandstellung von Talsperren

■ Eduard Ammann

1. Einleitung

In meiner gut 35-jährigen Tätigkeit hatte ich die Gelegenheit mehrere kleine Stauanlagen zu beurteilen. Neben Zustandsaufnahmen und Sicherheitsanalysen konnte ich auch verschiedene Sanierungsprojekte realisieren.

Das Ganze begann 1975 mit der Sanierung der Staumauer Muslen über dem Walensee und setzte sich bis heute fort. Zurzeit wird die Staumauer Egschi im Safiental saniert und das Sanierungsprojekt für die Gewölbesperre Pian Sapeio in den Bergen hinter der Küste Liguriens wartet auf die Genehmigung aus Rom.

Ich habe auch schon mehrmals über meine Arbeiten berichtet und ein paar Vorträge wurden in Publikationen des ICOLD oder im «Wasser, Energie, Luft» veröffentlicht.

In meinem heutigen Referat versuche ich die massgebenden Punkte der Zustandserfassung und Instandstellung einer Staumauer zusammenzufassen und einige Folgerungen allgemeiner Natur aus meinen Projekten zu ziehen.

Ich muss aber betonen, dass es keine Kochbuchlösungen gibt und die Projekte immer individuell auf die Anlage zugeschnitten werden müssen. Neben un-

konventionellen Lösungen sind oft auch gewisse Kompromisse gefragt.

Das hier an kleineren Anlagen aufgezeigte Vorgehen führt natürlich auch bei grossen Stauanlagen zum Ziel.

2. Zustandserfassung

Die Zustandserfassung beginnt in der Regel mit der Prüfung der Unterlagen, darauf folgt eine Begehung der Anlage und erst dann werden die ersten Berechnungen durchgeführt.

2.1 Prüfung der Unterlagen

Neben den aktuellen Anlagedaten sind häufig noch Pläne aus der Erstellungszeit, alte Berechnungen, Umbaupläne, usw. vorhanden. Manchmal muss man allerdings etwas insistieren bis die Anlagebesitzer die alten Unterlagen zusammensuchen, oft gar selbst ins Archiv gehen und die Aktenberge durchforsten.

Beschriebe in Fachzeitschriften, Prospekte der Kraftwerksgesellschaft, alte Fotos, Zeitungsartikel aus der Erstellungszeit, usw. liefern zusätzliche Informationen über eine Anlage.

Falls vorhanden werden natürlich auch die Resultate von Materialprüfungen und der Staumauerüberwachung gesich-

tet. Häufig kann man bereits anhand der alten Pläne und Berechnungen feststellen, dass eine Sanierung der Anlage unumgänglich ist. Z.B. weil der Mauerquerschnitt zu schlank ist oder weil die Berechnungen ohne Berücksichtigung der Auftriebskräfte durchgeführt wurden.

2.2 Begehung

An der Begehung prüft man als erstes ob die Anlage den vorhandenen Plänen entspricht, da die früher archivierten Baupläne selten der effektiven Ausführung entsprechen. Selbst wenn vertrauenswürdige Unterlagen vorliegen müssen die wichtigsten Abmessungen unbedingt vor Ort kontrolliert werden.

Dann wird der Zustand der verschiedenen Anlageteile beurteilt: Welche sind in gutem Zustand und können unverändert weiter verwendet werden, welche sind beschädigt, lassen sich aber mit vernünftigem Aufwand in Stand stellen und welche werden am besten ersetzt. Dabei sollte man auch prüfen was von der Bedienung und Zugänglichkeit her sowie im Bezug auf Service und Unterhalt noch den heutigen Ansprüchen genügt und was nicht. Bei der Begehung muss man sich unbedingt von Anlagebesitzer und Be-





Bild 1. Alte Staumauer List, Heiden.



Bild 2. Auftremsmessung GÜbsenseemauer.

triebspersonal begleiten lassen. Sie kennen ihre Anlage im Detail und können uns auf Besonderheiten, Mängel und Schäden hinweisen. Ihre Vorstellungen und Bedürfnisse geben uns Hinweise in welche Richtung die weiteren Abklärungen gehen sollen. So schwebt einem Betreiber ein grösseres Stauvolumen vor während für einen andern Vereinfachungen in Betrieb und Unterhalt im Vordergrund stehen. Einige Besitzer nutzen ihren Speicher gar nicht mehr für die Energieproduktion und verfügen deshalb über sehr geringe finanzielle Mittel. Deshalb kommen meistens nur die allerwichtigsten Reparaturen in Frage oder es muss gar die Stilllegung der Anlage ins Auge gefasst werden.

Die nötige Beachtung sollte man anlässlich der Begehung auch den verwendeten Baumaterialien schenken. Falls vorhanden müssen auch die Überwachungseinrichtungen begutachtet werden, auch wenn diese in der Regel kaum mehr dem heutigen Standard entsprechen.



Bild 3. Gewölbepeserre Pian Sapeio.



Bild 4. kronenbalken mit Ankerköpfen.

2.3 Erste Berechnungen

Als erstes werden meist die hydrologischen Verhältnisse abgeklärt und die Kapazität der Entlastungsorgane überprüft. Die Hochwasserabflüsse wurden früher mit andern Grundlagen als uns heute zur Verfügung stehen ermittelt, so dass viele Anlagen den aktuellen Anforderungen nicht mehr genügen. Oft ist auch das Freibord für die neuen Wassermengen und die heutigen Anforderungen zu klein.

Die elektromechanischen Anlagen entsprechen häufig auch nicht mehr dem heutigen Standard bezüglich Betriebssicherheit, Bedienungskomfort und Redundanz. Dann werden die ersten einfachen Stabilitätsanalysen durchgeführt. Bei Staumauern sind die Kippsicherheit, die Gleitsicherheit und die Betonspannungen, bei Dämmen die Böschungsstabilität zu überprüfen. Für die ersten Berechnungen haben wir meist aufgrund des Zustandsbefunds und mit Hilfe von Literatur oder alter Normen konservativ geschätzte Material-

kennwerte verwendet. Die Belastungen werden selbstverständlich mit den neu ermittelten Abflüssen und entsprechend den heutigen Gepflogenheiten angesetzt. Die Erdbebenbelastung kann man im ersten Anlauf vereinfacht berücksichtigen.

Genügen die errechneten Sicherheiten den Anforderungen sind keine zwingenden Massnahmen erforderlich und man kann sich auf die Instandsetzung bzw. auf Erhaltungsmassnahmen beschränken.

Sind die errechneten Sicherheiten völlig ungenügend, erübrigen sich weitere Abklärungen und man kann direkt die Planung der unumgänglichen Sanierungsarbeiten in Angriff nehmen. Ergeben die ersten Berechnungen weder eindeutig ausreichende noch völlig ungenügende Sicherheiten sind detaillierte Untersuchungen angebracht.

2.4 Detaillierte Untersuchungen

Für die detaillierten Untersuchungen sind umfassendere Kenntnisse der Sperrenumgebung und des Untergrundes unerlässlich, weshalb man jetzt einen Geologen/Geotechniker beiziehen muss. Ausserdem sollten Materialproben entnommen und im Labor deren effektiven Kennwerte bestimmt werden. Auch wenn sich die Bestimmung der Materialkennwerte der früher verwendeten Fliess- und Stampfbetone bisweilen schwierig gestaltet, können diese durchaus besser sein als die für die ersten Abklärungen angenommenen. Eine erneute Nachrechnung ergibt dann unter Umständen ausreichende Sicherheiten.

Auch eine eingehende Überprüfung der Belastungsannahmen lohnt sich meistens: So kann der Erddruck aus einer talseitigen Auffüllung die Mauer stabilisieren, das Ansetzen gemessener Auftriebswerte die Kippsicherheit verbessern oder die Berücksichtigung der effektiven Sohllenennung die Gleitsicherheit erhöhen.

Die Berücksichtigung der Bo-



Bild 5. Oberflächenschäden, Staumauer Egschi.

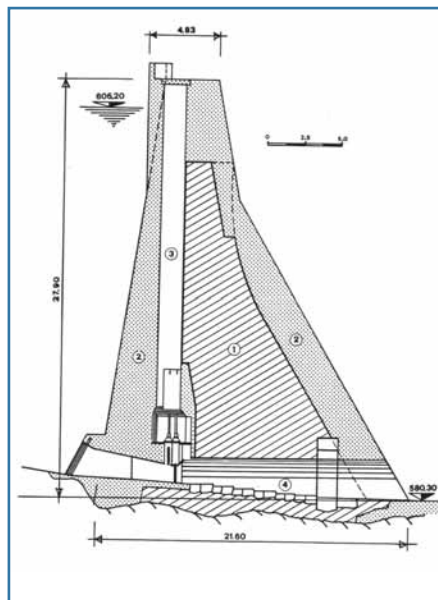


Bild 6. Querschnittsanierte Mauer Muslen.

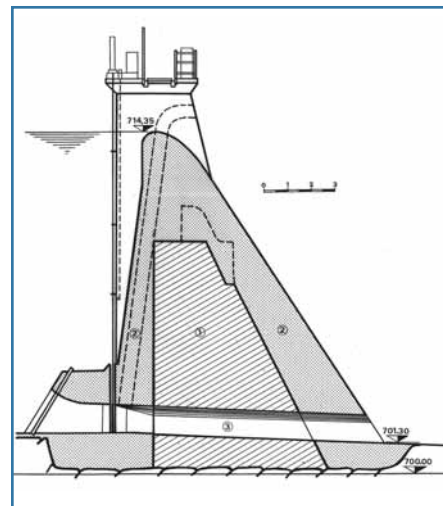


Bild 7. Querschnittverkleidete Mauer List.

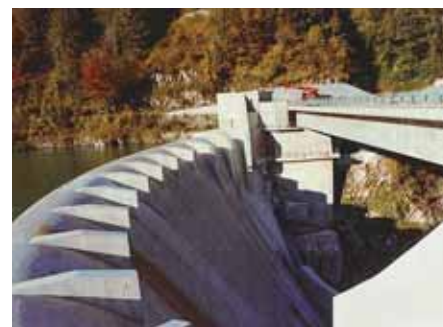


Bild 8. Umgebauter HW-Überfall Palagnedra.

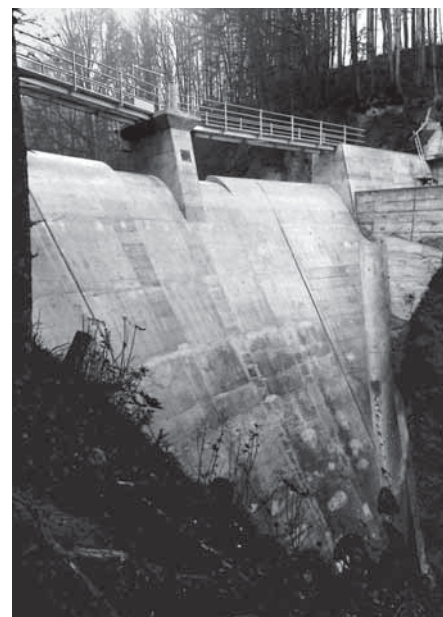


Bild 9. Verkleidete Mauer List, Heiden.

genwirkung bei gekrümmten Schwergewichtsmauern und die Verwendung von 3D-Rechenmodellen bewirken in der Regel ebenfalls eine Erhöhung der Sicherheitsfaktoren.

Nicht zuletzt lassen sich in unserem Fachgebiet, wo es keine verbindlichen Normen gibt, auch die Anforderungen etwas grosszügig interpretieren.

Wenn die Sicherheit der Sperre auch nach diesen Untersuchungen noch ungenügend ist muss eine Instandstellung geplant werden.

3. Instandstellung der Stauanlage

3.1 Instandstellung Sperrenkörper

Mit einer blossen Instandstellung des Sperrenkörpers werden die aufgetretenen Altersschäden behoben, die weitere Ausbreitung der Schäden verzögert und eine Verlängerung der Lebensdauer angestrebt. Die Instandstellung kann aber auch nur aus ästhetischen Gründen Sinn machen, da sich der Zustand einer Staumauer direkt auf das Image der Stauanlagen und der Kraftwerksgesellschaften auswirkt. Eine gepflegte gut aussehende Anlage stärkt das Vertrauen in unsere Staumauern und verbessert das Ansehen der Elektrizitätswirtschaft.

3.2 Anpassung Entlastungsorgane

Die einfachste Anpassung der Entlastungsorgane besteht meist in der Vergrösserung des Kronenüberfalls. So kann man z. B. eine Kronenbrücke, deren Pfeiler die Abflussöffnungen verengen durch eine neue Brücke an anderem Standort erset-

zen. Auch eine zweite Hochwasserentlastung kann meist problemlos neben der bestehenden Anlage angeordnet werden. Die nötige Aufmerksamkeit muss man allerdings den Verhältnissen bei der allfälligen Einführung des neuen Abflusstollens in einen bestehenden Stollen schenken.

Beim Wenigerweiher oberhalb der Stadt St. Gallen, waren die Verhältnisse hingegen etwas komplizierter und verlangten eine spezielle Lösung. Der Überlauf war ursprünglich wohl genügend gross, ist im Laufe der Zeit aber teilweise verschlossen worden. Da der Weiher nicht mehr als Speicher genutzt wird und deshalb immer voll ist, wuchs an der Stauwurzel ein ausgedehnter Schilfbestand, der Fischen und Vögeln als Brutstätte dient. Natur- und Umweltschutzkreise lehnten die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes und die damit verbundene Reduktion des Stauziels deshalb ab. So haben wir einen neuen, fächerförmigen Überfall gebaut, der dank seinem breiten Einlauf das Bemessungshochwasser mit einem minimalen Überstau ableiten kann.

3.3 Ergänzung der Überwachungseinrichtungen

Die älteren, kleinen Stauanlagen verfügen selten über Überwachungseinrichtungen, welche für eine vernünftige Beurteilung des Mauerverhaltens geeignet sind. Bei der Nachrüstung dieser Anlagen muss man besonders auf robuste, einfache und bedienungsfreundliche Messgeräte achten, da die Anlagenbesitzer meist keine Fachleute sind und möglichst wenig Zeit für die Überwachung aufwenden möchten.

Heute ist es sicher unerlässlich,

dass man die Mauerbewegungen mit einer angemessenen Präzision ermitteln kann. Bei unseren ersten Umbauten haben wir wegen des grossen Installationsaufwandes und den entsprechenden Kosten noch auf ein Lot verzichtet. Die als Alternative erstellten Winkelmessanlagen, mit denen die Verschiebungen durch Rückwärtseinschneiden bestimmt werden, befriedigen allerdings nicht ganz. Die Genau-



Bild 10 (oben). Verkleidete Mauer Muslen.
Bild 11 (rechts). Verkleidung Mauer Muslen.



igkeit der geodätischen Messungen ist zu gering um bei kleinen Anlagen brauchbare Ergebnisse zu erhalten und der Zeitaufwand für die Messungen sowie das Freihalten der Visuren ist beachtlich. Ich empfehle deshalb unbedingt die Installation eines Lotes. Man kann es einfach in eine von der Mauerkrone aus erstellte, grosskalibrige Bohrung, welche vorzugsweise bis in den Untergrund verlängert wird versetzen. Die Ablesestelle kann, wenn sie auf der Krone stört, auch in einer Kammer unter der Krone platziert werden.

Die geodätische Messanlage, welche für Langzeitüberwachung und Kontrollen zusätzlich erforderlich ist, lässt sich meist einfach realisieren. Da diese Messungen weniger häufig als die ordentlichen Kontrollen durchgeführt werden, sind die Zugänglichkeit zu den Messpfeilern und der Aufwand für das Freihalten der Visuren etwas weniger wichtig.

Für andere Messungen wie Sickerwassermengen, Temperaturen, Auftriebsdrücke, usw. kann man ohne weiteres einfache, allgemein gebräuchliche Geräte einsetzen. So liess man bei der Staumauer am Gübsensee seit deren Sanierung von 1986/87 die Auftriebsdrücke an einem simplen, am Mauerkörper hochgezogenen Standrohr, ab.

4. Erhöhung der Sicherheit bei Mauern

Für die Erhöhung der Mauersicherheit gibt es meistens verschiedene Möglichkeiten. Es ist deshalb wichtig, dass man mehrere Lösungen untersucht und sich nicht sofort auf die erst beste Lösung festlegt. Man muss immer damit rechnen, dass im Verlauf der Projektierung neue Aspekte zu berücksichtigen sind und unerwartete Widerstände auftauchen. Ausserdem muss man jederzeit auf die Anliegen der Betrei-

ber und die Möglichkeiten der Besitzer eingehen können. Besonders Besitzer von sehr alten Anlagen, die bis anhin nie Probleme bereitet haben, muss man in kleinen Schritten von der Notwendigkeit zusätzlicher Investitionen zu überzeugen versuchen. Einfacher ist das natürlich wenn man ihnen die Sanierung mit Produktionssteigerungen und besseren Betriebsbedingungen schmackhaft machen kann.

Eine Sanierungsmöglichkeit, mit der wir sehr gut Erfahrungen gemacht haben ist die Umhüllung der alten Mauer mit einem Mantel aus neuem Beton. Neben der Erhöhung der Kipp- und Gleitsicherheit, löst die Betonumhüllung auch einige andere Probleme. So erhöht die wasserseitige Vorbetonierung die Dichtigkeit der Mauer und erlaubt die Ausbildung der Laufbahn für eine Rechenreinigungsmaschine. Im neuen Beton lassen sich neue Grundablassschützen, allenfalls samt Schieberkammer und Zugangsschacht anordnen und auch ein Lot kann einfach im Verkleidungsbeton platziert werden. Die luftseitige Verkleidung schützt den

alten Mauerkörper vor atmosphärischen Einflüssen, erlaubt die Vergrösserung der bestehenden oder die Anordnung neuer Mauerüberfälle und verbessert die Mauerästhetik.

Am einfachsten lässt sich die neue Umhüllung realisieren, wenn die Mauer leicht erhöht werden kann und die Krone nicht abgetragen werden muss. Nachteilig ist bei der allseitigen Umhüllung lediglich, dass das Becken für längere Zeit entleert werden muss. Die Betonspannungen im sanierten Mauerkörper sind aufgrund der verschiedenen Bauzustände, der unterschiedlichen Betonalter sowie infolge Schwinden und Kriechen ungleichmässig verteilt. Wegen den grosszügigen Reserven bietet das in der Regel aber kaum Probleme und mit der Zeit gleichen sich die Spannungen ohnehin wieder an.

Ist die Betonqualität des Mauerkörpers noch akzeptabel, kann die Verkleidung auch auf die Wasserseite beschränkt werden. Eine wasserseitige Verkleidung lässt sich auch ohne Mauererhöhung leicht realisieren und bedingt selten grössere



Bild 12. Zusätzliche Hochwasserentlassung Zött.

Betonabbrüche. Das Becken muss aber auch bei diesen Arbeiten für längere Zeit entleert werden.

Eine auf die Luftseite beschränkte Vorbetonierung kann natürlich auch bei gefülltem Becken ausgeführt werden. Um das einwandfreie Zusammenwirken der Vorbetonierung mit dem alten Mauerteil sicherzustellen sind aber besondere Massnahmen wie Verdübelungen oder Injektionen erforderlich. Während den luftseitigen Aushubarbeiten und während dem Herstellen des Verbunds mittels Injektionen muss das Becken auch bei dieser Sanierungsvariante abgesenkt werden.

Bei der Gewölbesperre Pian Sa peio, welche infolge neuer Normen mit höheren Erdbebenbelastungen ungenügende Gleitsicherheiten aufweist, werden wir noch etwas weiter gehen und den Raum zwischen den Pfeilern mit Beton auffüllen. Die in der resultierenden Schwergewichtsmauer angeordneten Hohlräume wurden so ausgelegt, dass das Mauergewicht gerade ausreicht um die Kipp- und Gleitsicherheit zu gewährleisten. Damit konnte einerseits Beton eingespart, andererseits ein Raum für die Anordnung neuer Grundablassschützen geschaffen werden. Das Projekt ersetzt ein bereits genehmigtes Projekt, welches eine Verstärkung der Gewölbe und Pfeiler durch relativ schlanke, verdübelte Vorbetonierungen vorsah. Dem neuen Anlagebesitzer schien diese wohl etwas kostengünstigere Sanierung zu wenig nachhaltig, etwas unsicher und schwierig zu realisieren.

Kann oder darf eine Sperre nicht verkleidet werden, z.B. weil sie unter Heimatschutz steht, so muss eine Lösung gesucht werden, welche den äusseren Aspekt der Staumauer nicht verändert. Wir haben uns bei der Mauer am Gübsensee vor der Stadt St. Gallen für die Erhöhung der Stabilität durch Herunterspannen des Mauerkörpers mittels Vorspannankern entschieden. Diese Lösung ist allerdings wesentlich komplizierter als die Ummantelung einer bestehenden Mauer und sollte

nur falls unbedingt erforderlich, vorgesehen werden. So müssen zuerst die Untergrundverhältnisse eingehend abgeklärt, die Kennwerte der Mauermaterialien im Detail bestimmt und ausführliche Verankerungsversuche durchgeführt werden. Dann sind umfangreiche und ausführliche Nachweise erforderlich, da die Verankerung den Sperrkörper auch bei leerem Becken beansprucht und sich die nahe beieinander liegenden Anker gegenseitig beeinflussen. Und nicht zuletzt muss die Einleitung der grossen Einzelkräfte in den Mauerkörper und die Aufnahme der beachtlichen Spreizkräfte sichergestellt werden, wofür wir auf der Mauerkrone einen neuen, armierten Betonbalken vorgesehen haben. Nicht ausser Acht lassen darf man ausserdem, dass permanente Anker kontinuierlich überwacht werden und jederzeit ersetzbar sein müssen.

5. Erhöhung der Sicherheit bei Dämmen

Bei Dämmen, deren luftseitige Böschung eine ungenügende Gleitsicherheit aufwies haben wir wenn immer möglich eine Verstärkung des Querschnittes durch Anschütten auf der Luftseite vorgesehen. Steht man nicht unter Zeitdruck, findet man mit Hilfe eines Unternehmers in der Regel Aushubmaterial, dass für eine solche Schüttung geeignet ist. Eine Triage mit periodischen Materialanalysen vor Ort und die laufende Überwachung der Einbaubedingungen sind allerdings unerlässlich. Auch die Sicherstellung der Verbindung zwischen alt und neu muss gut kontrolliert werden und wird am besten einem erfahrenen Bauunternehmer mit den entsprechenden Geräten anvertraut.

Etwas einfacher ist es, wenn die Platzverhältnisse die Erhöhung der Böschungsstabilität mit einer Fussbelastung erlauben. Materialanforderungen und Einbaubedingungen sind dann so bescheiden, dass die Arbeiten von jeder Unternehmung ausgeführt werden können und sich der Materialbedarf praktisch immer

mit den Deponiebedürfnissen einer andern Baustelle in Einklang bringen lässt.

Da es sich bei kleineren und älteren Dämmen meist um aus einem Material geschüttete, sogenannte homogene Dämme handelt, werden sie häufig von Wasser durchströmt, welches im untern Teil der luftseitigen Dammböschung an die Oberfläche tritt und Oberflächenschäden bzw. Auswaschungen verursacht. Am besten werden diese Wasseraustritte mit örtlichen Drainagen gefasst und durch Sickerleitungen am Dammfuss abgeleitet. Durch eine in relativ tiefe Gräben verlegte Fussdrainage wird auch die Sickerlinie im Dammkörper abgesenkt und damit die Gleitsicherheit der Böschung erhöht.

Ist die Gleitsicherheit der wasserseitigen Böschung ungenügend kommt eine Anschüttung wegen der Reduktion des Stauvolumens weniger in Frage. Man wird eher eine Verkleidung mit Blockwurf, Blocksatz, Betonplatten oder auch Asphalt anstreben. Wird die Verkleidung mit einer Abdichtung kombiniert erreicht man gleichzeitig die obenbeschriebene Absenkung der Sickerlinie mit Stabilitätserhöhung für die luftseitige Böschung.

Ein Problem bildet oft auch der luft- oder wasserseitige Bewuchs der Dammböschungen, dessen Elimination meist auf Widerstand von Seiten der Naturschützer führt. Um zu Vermeiden, dass der Dammkörper von Wurzeln durchwachsen wird, die beim Verrotten neue Sickerwege schaffen oder ein während eines Sturms umstürzender Baum eine Breche in den Damm reist, haben wir in Kronenmitte der Gübsensee-Dämme Betontrennmauern abgeteufelt.

Anschrift des Verfassers

Eduard Ammann Dipl. Bauing. ETH
IM Ingenieurbüro Maggia AG
Via S. Franscini 5, Casella postale 46
CH-6601 Locarno, Tel. +41 91 756 68 11
info@im-maggia.ch, www.im-maggia.ch.

