

Instandsetzungsarbeiten an den Dammanlagen des Aarekraftwerkes Klingnau

Autor(en): **Wibel, Albrecht / Bächli, Leonhard**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **77 (1985)**

Heft 10

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940964>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Instandsetzungsarbeiten an den Dammanlagen des Aarekraftwerkes Klingnau

Albrecht Wibel und Leonhard Bächli

Stauanlagen erfordern – wie andere Ingenieurbauwerke auch – eine regelmässige Kontrolle sowie Instandsetzungsarbeiten. Die Dämme der Stauhaltung des Aarekraftwerkes Klingnau mussten an mehreren Stellen als Folge stärkerer Durchsickerungen mit der Bildung von grösseren Wassereintrittstrichtern in der Stauhaltung sowie quellartigen Sickerwasseraustritten mit Ausspülungen von Feinanteilen aus den Dammkörpern in die luftseitigen Seitenkanäle neu abgedichtet werden. Hierfür wurden wasserseitig geotextile Vliese mit einer Sandauflage eingebaut, der sich Feinanteile aus der Stauhaltung selbst abdichteten. Ausserdem wurden die Fugenvergussmassen zwischen den Betonplatten der bereichsweise vorhandenen Oberflächenabdichtung erneuert sowie ein Hochwasserschutzdamm mit einer wasserseitigen Dichtungslage aus bindigem Boden versehen.

Dammaufbau

Beim Bau der Dammanlagen des Kraftwerkes Klingnau in den Jahren 1930 bis 1935 wurden die alten Hochwasserdämme der Aare aus den Jahren 1890 bis 1900 soweit möglich durch eine Verstärkung und Erhöhung sowie das Auflegen einer wasserseitigen Oberflächendichtung aus Beton mit einem Sporn am Böschungsfuss in die neuen Dammanlagen einbezogen. In den Dammschnitten, in denen die bestehenden Hochwasserdämme der Aare nicht in die neuen Dammanlagen eingebunden werden konnten, wurden statt der Aussendichtung durch Betonplatten eine nahe der wasserseitigen Böschungsoberfläche liegende Dichtungslage aus bindigem Boden sowie zum Schutz des Damms vor Erosionseinwirkungen durch den Wellenschlag Betonplatten eingebaut (Bild 1). Die Dämme wurden – abgesehen von den Dichtungsbereichen – aus Aareschottern (steinige, schwach sandige bis sandige Kiese mit einer Ausfallkörnung im Bereich der Korngrössen von etwa 0,4 bis 4,0 mm) geschüttet.

Dichtigkeit der Dämme

An den linksseitigen Dammanlagen sind schon bald nach dem ersten Aufstau bereichsweise starke Durchsickerungen eingetreten, wobei auch Ausspülungen von Feinanteilen aus dem Dammkörper festgestellt wurden. Diese örtlichen Undichtigkeiten wurden erfolgreich mit Beton sowie Injektionen abgedichtet. Zusätzlich erfolgte durch Auflandungen im Laufe der Zeit eine Selbstabdichtung. Auch auf der rechten Seite der Stauhaltung traten kurz nach dem er-

sten Einstau starke Durchsickerungen in einem Abschnitt auf, in dem der in den neuen Damm einbezogene alte Hochwasserdamm einen mit Steinquadern verfüllten und mit Kiessand abgedeckten alten Aarearm überquert. Als Folge des durch den Aufstau bedingten Anstieges des Fliessgefälles im Untergrund und der zueinander ungünstigen Kornzusammensetzungen der Kiessandabdeckung zu der Schüttung aus grossen Steinquadern kam es zu Kornumlagerungen im Unterbau des Damms. Nachdem erste Abdichtungsversuche durch eine Vorschüttung aus Schlacke am wasserseitigen Böschungsfuss nicht den angestrebten Erfolg brachten, wurde eine ausreichende Abdichtung durch eine Vorschüttung aus einem gemischtkörnigen Boden aus dem Mündungsbereich eines seitlichen Zuflusses in die Stauhaltung erreicht.

Die Dämme mit der Oberflächendichtung aus Betonplatten mit einem Sporn haben sich nach der Abdichtung der Durchsickerungen beim Erststau als ausreichend dicht erwiesen. Die Dammschnitte mit der Dichtungslage aus bindigem Boden an der rechtsufrigen Einlaufbucht wiesen dagegen von Anfang an stärkere Durchsickerungen auf, die sich im Laufe der Zeit vergrösserten. Im Jahr 1953 war man als Folge ungleichmässig abgesackter und teilweise gebrochener Wellenschlagplatten und zunehmender Durchsickerungen zu ersten Sanierungsmassnahmen gezwungen. Diese bestanden aus Neuabdichten der Fugen der Wellenschlagplatten, Instandsetzen gebrochener und gerissener Platten, Ausbessern der bindigen Dichtungslage, Abdichten von Wassereintrittstrichtern im angelandeten Vorland, Erhöhung der Wellenschlagplatten. Diese Sanierungsmassnahmen zeigten jedoch nur einen begrenzten Erfolg. Im Jahr 1966 mussten erneut Plattenrisse und Fugen der Wellenschlagplatten ausgebessert werden, die offensichtlich entgegen der ursprünglichen Dichtungskonzeption des Damms die Dichtungsfunktion weitgehend übernommen hatten. Im Laufe der Zeit wurde im Bereich der rechtsufrigen Einlaufbucht erneut eine zunehmende Durchsickerung mit der Bildung von Wassereintrittstrichtern (Bild 2) in der Stauhaltung und quellartigen Sickerwasseraustritten in den luftseitigen Seitenkanälen (Bild 3) festgestellt (eine Messung mit gefärbtem Wasser ergab 1977/78 eine mittlere Fliessgeschwindigkeit entlang einer bevorzugten Wasserwegigkeit von etwa 100 cm/s). Mit zunehmender Verschlechterung der Dichtigkeit des Damms war auch ein sichtbarer Feinmaterialaustrag aus dem Dammkörper verbunden (Bild 4).

Im oberwasserseitigen Bereich traten an den linksufrigen Hochwasserschutzdämmen bei Kleindöttingen bei Hochwasser stärkere Durchsickerungen auf, die zu örtlichen Überflutungen des dahinterliegenden Geländes führten. Ursache der örtlich konzentrierten Durchsickerungen ist die Bildung bevorzugter «fuchsgangartiger» Wasserwege im Dammkörper, die unregelmässig röhrenartig von der Wasser- zur Luftseite des Damms verlaufen. Als Folge der Ausfallkörnung der Aareschotter im Korngrössenbereich von etwa 0,4 bis 4,0 mm (das heisst, der Aareschotter ist «in sich nicht filterfest») werden die feineren Kornanteile unter dem Einfluss des in den Dammkörper örtlich ein- und durchsickernden Wassers im Gerüst der Grobanteile aus Kies und Steinen umgelagert bzw. zur Luftseite ausgetragen. Da auch der tonige, sandige Silt der Dichtungslage nicht «filterfest» gegen die Stützkörperschüttung aus Aareschotter ist, wird der Boden der Dichtungslage in oder durch die Stützkörperschüttung gespült, was zu der beobachteten deutlichen Verringerung der ursprünglichen Dicke bzw. der Bildung von örtlichen Durchlöcherungen der Dichtungslage führte.

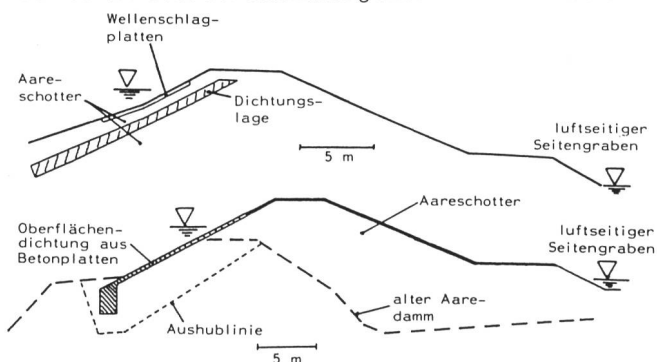


Bild 1. Dammschnitte. Oben Seitendamm mit Dichtungslage aus bindigem Boden, unten Seitendamm mit Oberflächendichtung aus Betonplatten mit Sporn.



Bild 2, links. Wassereintrittstrichter in der rechtsufrigen Buchtaufanlandung.



Bild 3, rechts. Wasseraustrittsloch auf der Dammlandseite in den Seitenkanal.

Sanierungsarbeiten im Jahr 1981

Die zunehmende Durchsickerung des Dammes im Bereich der rechtsufrigen Einlaufbucht sowie insbesondere die damit verbundene Erosion des Dammes machten wegen der nicht überschaubaren Gefährdung der Stauanlage eine umgehende Sanierung erforderlich.

Die Sanierungsarbeiten im Jahr 1981 sahen zunächst eine Abdichtung des Dammes in der rechtsufrigen Einlaufbucht, eine Abdichtung des linksufrigen Hochwasserdammes bei Kleindöttingen sowie eine Ausbesserung der schadhafte Fugen zwischen den Betonplatten vor. Eine Teilabsenkung der Stauhaltung um 1,6 m zeigte jedoch, dass auch im Vorland der linksufrigen Dämme bereichsweise (Gippingen-Hochbord) Wassereintrittstrichter vorhanden waren, die eine Sanierung ebenfalls in diesem Bereich entsprechend der Vorgehensweise in der rechtsufrigen Einlaufbucht im Zuge der anderen Arbeiten und der damit verbundenen Stauspiegelabsenkung zweckmässig machten.

Ziel einer Sanierung des Dammes in der rechtsufrigen Einlaufbucht war, die offensichtlich durch Erosionsvorgänge durchlöchernde und damit weitgehend unwirksame Dichtungslage des Dammes aus bindigem Boden durch eine neue Dichtung zu ersetzen. Als Sanierungsmöglichkeit wurde zunächst der Einbau einer lotrechten Dichtungswand diskutiert; diese musste jedoch aus den folgenden Überlegungen aufgegeben werden:

Ein Anschluss einer lotrechten Dichtungswand an den dichten tieferen Untergrund hätte wegen der erforderlichen Tiefe von mehr als 20 m erhebliche Kosten sowie bautechnische Schwierigkeiten beim Durchhören von Steinquaderschüttungen im Bereich ehemaliger Seitenarme der Aare sowie beim Anschluss an die Oberflächendichtung bzw. an die bindige Dichtungslage an den beiden Enden der Sanierungsstrecke mit sich gebracht. Hinzu kommt, dass die Ausführung von Abdichtungsinjektionen und deren Erfolg wegen der erheblichen, unregelmässigen Wechselhaftigkeit der Durchlässigkeit auf kurze Entfernung zwischen den nicht erodierten Bereichen der Stützkörperschüttung zu den bevorzugten Wasserwegen zwischen etwa 10^{-2} bis zu etwa 10^2 cm/s mit vertretbarem Kostenaufwand fraglich war. Auch die Abdichtungswirkung einer Spundwand begrenzter Tiefe war zweifelhaft, da einerseits der Sickerweg mit vertretbarem Aufwand nicht ausreichend verlängert werden konnte und andererseits der Sickerweg entlang der Bohlen bei den vorliegenden Untergrundverhältnissen in-

folge der Auflockerungen des grobkörnigen Bodens zum bevorzugten Wasserweg werden kann. Wegen des Arbeitens gegen den sich vor der Dichtungswand während der Bauausführung aufbauenden vollen Wasserdruck sowie der mit der Ausführung verbundenen Erschütterungen (dies trifft auch für die Spundung zu) und der zu befürchtenden Auswirkungen auf die Betonplatten sowie die Dammschüttung schienen auch Schlitz- oder Schmalwände im vorliegenden Fall nicht geeignet.

Die aufgeführten Unsicherheiten, die Nachteile einer Innendichtung sowie die damit verbundenen vergleichsweise hohen Kosten waren Anlass, als Sanierung das Herstellen einer ausreichend wirksamen Dichtung auf der Wasserseite des Dammes auszuführen. Hierzu war allerdings eine Teilabsenkung der Stauhaltung während der Sanierungsarbeiten um etwa 1,6 m nötig, die jedoch auch zur Erneuerung des Fugenmaterials zwischen den Betonplatten der Oberflächendichtung genutzt werden konnte. Bei früheren Sanierungsarbeiten sowie bei einer neuen Probeabsenkung hatte sich gezeigt, dass bei Stauspiegelabsenkungen um 1,2 m keine beachtenswerten Sickerwasseraustritte in den luftseitigen Seitengraben auftraten, da sich der Boden der Stauhaltung ab dieser Tiefe offensichtlich durch Feinsand- und Siltablagerungen im Laufe der Zeit ausreichend selbst abgedichtet hat. Aufgrund dieser Feststellung wurde ein mit vertretbarem Aufwand ausführbares und besonders wirtschaftliches Sanierungsverfahren gewählt, das die Selbstabdichtung auch im Uferbereich der Stauhaltung ermöglicht, wobei bei den vorliegenden Verhältnissen eine möglichst flexible Bauweise anzustreben war. Nach einem Vorabtrag der Anlandungen wurden die Wassereintrittstrichter verfüllt und die Wellenschlagplatten in der rechtsufrigen Einlaufbucht gereinigt, Hohllagen beseitigt sowie Unebenheiten und Risse mit Mörtel ausgeglichen bzw. abgedichtet. Im unteren Wasserbereich, in dem keine Wassereintrittstrichter bzw. bevorzugte Wasserwege vorhanden waren, wurde die Aushuboberfläche mit einem beschwerten Stahlnetz abgezogen und ausgeglichen. Als «Erosionsbremse» wurde auf dem vorbereiteten Boden ein geeignetes geotextiles Filtervlies verlegt und mit einer Sandlage abgedeckt, auf der sich Feinanteile aus der Stauhaltung und der auf die Sandlage wieder aufgetragenen organischen Anlandung bei einer Durchsickerung der Sandschicht ablagern und diese damit abdichten sollten (Bild 5). Der erforderliche schwach siltige Sand wurde aus einer Anlandung innerhalb

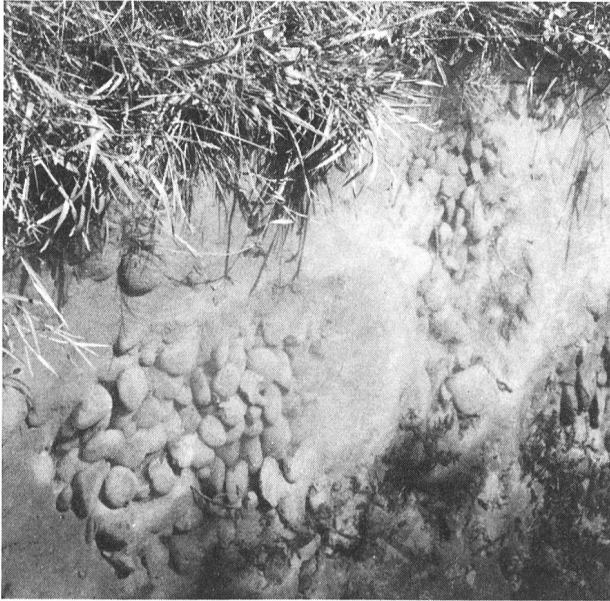


Bild 4. Feinmaterialaustrag in den Seitenkanal.

der Stauhaltung gewonnen. Zur Arbeitsausführung, die in etwa 15 m breiten, quer zur Fliessrichtung der Aare verlaufenden Abschnitten erfolgte, wurde zunächst als Hilfsvorrichtung ein Ponton in die Stauhaltung eingesetzt, das mit Seilwinden entlang einem zwischen gerammten Stahlprofilen gezogenen Seil bewegt werden konnte. Durch diese Hilfsvorrichtung konnte der Aushub der bestehenden stark organischen Anladung, das Einebnen der Aushuboberfläche, das Einbringen des Filtervlieses sowie der Einbau und das Einebnen der Sandlage unter Wasser erleichtert und in der Ausführungsgenauigkeit verbessert werden. Zugleich ermöglichten diese Hilfsvorrichtungen, die geplante Sanierungszeit von nur rund 2 Monaten, trotz Auftreten von zwei mittleren Hochwassern, einzuhalten.

In der Böschungsschräge, wo mit einer beachtenswerten Selbstabdichtung nicht zu rechnen war, wurde anstelle des Sandes eine Dichtungslage aus bindigem Boden einge-

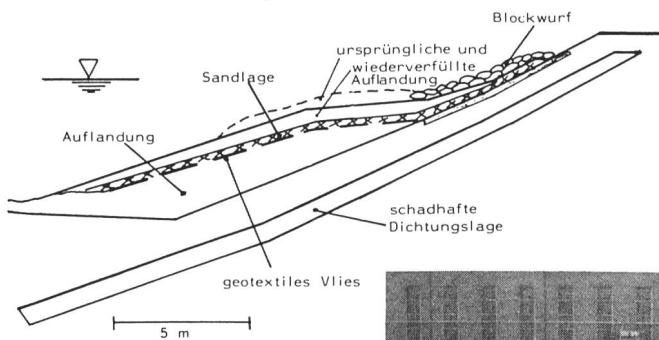


Bild 5. Schnitt (oben) und Foto (rechts) mit verschiedenen Baustadion illustrieren den Einbauvorgang der Abdichtungsauflage in der rechtsufrigen Bucht.



baut, die nach Abdeckung mit einem weiteren Filtervlies einen Wellenschutz aus einem Blockwurf erhielt. Schon bald nach dem Wiederaufbau am 25. Oktober 1981 verringerte sich die Durchsickerung auf einzelne, in der Menge kaum mehr erfassbare Austritte von klarem Wasser. Eine erneute Zunahme der Durchsickerung oder ein Feststoffaustrag wurde bis heute nicht mehr festgestellt. Es wurde also eine nahezu vollständige Abdichtung erreicht.

Im Bereich der durch die Stauspiegelabsenkung freigelegten Wassereintrittstrichter des Dammschnittes Gippingen-Hochbord wurden die Wassereintrittstrichter nach dem Ausräumen von Schlamm mit Filtersand verfüllt und der durch Einebnen vorbereitete Seeboden flächenhaft mit geotextilen Filtervliesen sowie einer schwach siltigen Sandauflage abgedeckt. Da die Stauhaltung seit der Sanierung nicht mehr abgesenkt wurde, kann der Erfolg der Sanierungsarbeiten nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Stichprobenartige Überprüfungen durch einen Taucher sowie die Beobachtung der luftseitigen Dammböschung ergaben jedoch bisher keinerlei Hinweise auf eine erneute Bildung bevorzugter Wasserwege.

Der linksufrige Hochwasserschutzdamm bei Kleindöttingen bestand nur aus Aareschotter ohne besondere Dichtungslage. Als Folge des teilweisen Austrages bzw. der Umlagerung der Feinanteile aus bzw. im Aareschotter waren so grosse Durchlässigkeiten entstanden, dass der Einbau einer Dichtungslage (Opalinuston) erforderlich wurde. Diese wurde auf der Wasserseite auf einem geotextilen Filtervlies eingebaut, um Erosionsvorgänge der Dichtungslage zu verhindern (Bild 6). Der Erfolg der Abdichtung des Hochwasserdammes kann noch nicht abschliessend beurteilt werden, da seit Fertigstellung der Dichtungslage kein aussergewöhnliches Hochwasser auftrat, das den Damm weitgehend eingestaut hätte.

Während der Absenkung der Stauhaltung wurde die Fugenvergussmasse erneuert, die die einzelnen Betonplatten der Oberflächendichtung gegeneinander abdichtet. Bei der Probeabsenkung war festgestellt worden, dass eine Teilabsenkung um etwa 1,6 m ausreicht, um den durch Alterung (Schrumpfungsvorgänge, Pflanzenwuchs, Abwaschungen, Veränderung des plastischen Verhaltens u. a.) schadhafte Fugenverguss zu erneuern. Aufgrund der Erkenntnisse, die beim Sanieren von Probefugen durch mehrere Unternehmungen mit unterschiedlichen Materialien und deren Verhalten innerhalb eines Winterhalbjahres sowie der Besichtigung anderer, vor einiger Zeit ausgeführter Fugenabdichtungen gewonnen wurden, entschied man sich, die Fugen mit einer Zweikomponenten-Polyurethan-Teer-Kombination zu verfüllen. Die Fugen wurden hierzu durch vollstän-

Bild 6, oben. Abdichtung des Hochwasser-schutzdammes bei Kleindöttingen.

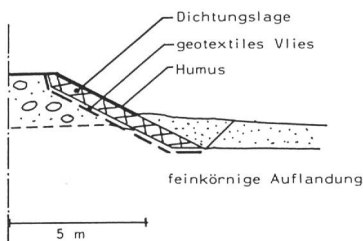


Bild 7, rechts. Wassereintrittstrichter im rechtsufrigen Damm, Durchmesser zirka 30 cm.

diges Entfernen der alten Fugenmasse, durch Entfernen und Abtöten von Pflanzenwurzeln, durch Abfräsen der Fugenflanken, durch Ausschäumen der Fugen und Ausbürsten auf Fülltiefe der Dichtungsmasse mit einem Säubern der Fugenflanken sowie mit einem Voranstrich vor dem Einbringen und Abgleichen der Fugenvergussmasse vorbereitet. Unregelmässig verlaufende Risse wurden mit einer Diamanthatfräse nachgeschnitten und in gleicher Weise wie die Regelfugen bearbeitet. Ausgebrochene Fugenkanten und Erosionslöcher im Beton wurden mit einem Kunstharzmörtel auf Acrylbasis ausgebessert. Die bisher guten Erfahrungen in den ersten vier Jahren lassen hoffen, dass sich die erwartete hohe Lebensdauer bestätigen wird.

Sanierungsarbeiten im Jahr 1984

Im Bereich des rechtsufrigen Seitendammes mit einer Oberflächendichtung aus Betonplatten, in dem die stärkeren Durchsickerungen beim Erstaufstau durch eine gemischtkörnige Vorschüttung unterbunden werden konnten, wurde im Herbst 1982 ein Wassereintrittstrichter in der Stauhaltung festgestellt. Die Bildung des Wassereintrittstrichters ist möglicherweise auf zwei mittlere Hochwasser zurückzuführen, die während der Absenkung des Stauspiegels zur Zeit der Sanierungsarbeiten im Jahr 1981 in diesem Bereich zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten geführt haben und dadurch eine Erosion einer dünnen Selbstabdichtungslage verursacht haben könnten. Eine sofort durchgeführte Sicherung durch Verfüllen des Wassereintrittstrichters, durch Abdecken mit einem Reststück geotextilen Vlieses (Fläche etwa 5×4 m) sowie eine Überdeckung mit Sand und Steinen brachte zunächst die erhoffte starke Verringerung der Durchsickerung. Nach etwa einem Jahr traten jedoch erneut stärkere Durchsickerungen auf. Eine systematische flächenhafte Überprüfung des Seebodens liess zwei weitere grössere Wassereintrittstrichter (Bild 7) sowie am Rand der Vliesmatte mehrere kleinere Trichter erkennen. Der Versuch, eine Selbstabdichtung der «fuchsgangartigen» Wasserwege durch das Einfüllen von feiner Schlacke zu erzielen, schlug fehl, da diese in kurzer Zeit durch den Damm gespült wurde und aus quellartigen Sickerwasseraustritten im Seitenkanal wieder austrat. Die neuen Feststellungen des Tauchers, dass es sich bei dem 1982 festgestellten Wassereintrittstrichter nicht – wie 1982 angenommen – um einen Einzelfall handelt, machten eine flächenhafte Sanierung entsprechend der Abdichtung im Bereich der rechtsufrigen Einlaufbucht erforderlich. Örtli-

che Sanierungen durch Abdecken der Wassereintrittstrichter mit geotextilen Vliesen von vergleichsweise geringen Abmessungen gaben – wie sich gezeigt hat – keine ausreichende Gewähr für eine langfristige Sanierung, da sich vom Rand des Vlieses her wegen des vergleichsweise hohen Fließgefälles zu den im Dammkörper vorhandenen Wasserwegen neue «Fuchsgänge» bilden. Die Abdichtung erfolgte in diesem Dammschnitt – vergleichbar wie im Bereich der rechtsufrigen Einlaufbucht – durch Verfüllen der Wassereintrittstrichter, Einebnen des Seebodens, flächenhaftes Abdecken mit einem geotextilen Filtervlies, eine Sandabdeckung sowie wegen der hohen Fließgeschwindigkeit in diesem Bereich eine Erosionsschutzlage aus Geröll. Im Gegensatz zu den Arbeiten in der rechtsufrigen Einlaufbucht wurde die Arbeit ohne Stauspiegelabsenkung mit Taucherhilfe unter Wasser ausgeführt. Die Sanierungsarbeiten brachten auch hier den angestrebten Erfolg. Es sind zwar noch einzelne kleinere Sickerwasseraustritte vorhanden, die sich jedoch bisher stetig verringert haben. Ein Feststoffaustrag in den luftseitigen Seitenkanal wurde nicht mehr festgestellt. Der im Vergleich zur rechtsufrigen Einlaufbucht geringere Abdichtungserfolg ist vermutlich auf das Fehlen der feinkörnigen organischen Ablagerungen auf der Sandauflage sowie die höhere Fließgeschwindigkeit zurückzuführen, die das Absetzen von Feinstanteilen behindert.

Kontrollen

Da die Sicherheit von Stauanlagen unter anderem auch wesentlich davon abhängt, dass nachteilige Veränderungen bei der Durchsickerung der Dämme und insbesondere Feststoffausspülungen rechtzeitig erkannt werden, ist eine regelmässige Kontrolle unerlässlich. Nebst den dauernden Wassermengenmessungen in den Seitenkanälen werden in vierteljährigem Abstand das Ufer der Stauhaltung auf Veränderungen, die luftseitige Dammböschung auf Feuchtstellen bzw. Sickerwasseraustritte sowie die Sickerwasseraustritte auf das Mitführen von feinen Bodenteilchen und dadurch bedingte Ablagerungen im luftseitigen Seitengraben überprüft. Die Beobachtungen werden in tabellarischer Form systematisch festgehalten und mit den früheren Aufzeichnungen verglichen.

Adressen der Verfasser: *Albrecht R. Wibel*, Dr. Ing., Institut für Geotechnik Wibel + Leinenkugel, Kelttenring 188, D-7815 Kirchgarten-Burg, und *Leonhard Bächli*, Ing. HTL, Betriebsleitung, Kraftwerk Klingnau, 5322 Koblenz.