Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 11-12

Artikel: Durchsickerungen beim Erddamm Rhodannenberg
Autor: Honegger, Ernst
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939852

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: 15.07.2025

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

Durchsickerungen beim Erddamm Rhodannenberg

Ernst Honegger

1. Einleitung

Der Staudamm Rhodannenberg schliesst den Klöntalersee, der heute zu den bekannteren Naherholungsgebieten des Glarnerlandes zählt, gegen Osten ab. Der zwischen der Wiggis- und der Glärnischkette eingebettete See speichert die Wassermassen des Löntschbaches und bildet mit einem Volumen von annähernd 40 Mio m³ das Reservoir des Kraftwerkes am Löntsch (Bild 1). Die im rund 5 km talabwärts gelegenen Netstal stehenden drei Maschinengruppen produzieren bei einem Bruttogefälle von 372 m und einer Ausbauwassermenge von 25 m³/s jährlich 114 GWh elektrische Energie.

Bereits vor dem Bau des in den Jahren 1905 bis 1910 erstellten Erddammes war das Klöntal an der heutigen Sperrstelle durch einen mächtigen prähistorischen Bergsturz abgeschlossen. Der dadurch gebildete kleinere natürliche See, dessen Seespiegel über der heutigen Staukote lag, wurde bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts energietechnisch genutzt. Schliesslich schlossen sich die Industriellen des Glarnerlandes vor etwa 100 Jahren zur Löntschkorporation zusammen, um einen neuen, tiefergelegenen Abzugsstollen zu bauen.

Beim Staudamm Rhodannenberg handelt es sich um einen 22 m hohen, gezonten Erddamm mit einer Kronenlänge von 220 m. Er ist aus einem dichtenden Tonkern, einer Filterzone und dem Stützkörper aufgebaut. Der Kern ist etwa 6 m in die Bergsturzmasse eingebunden. Ein Injektionsschirm, der den Untergrund durchgehend abdichtet, fehlt. Bereits nach dem Erstaufstau wurden daher in den alten Abzugsstollen beträchtliche Sickerwassermengen beobachtet. Um solche Verluste zu reduzieren, wurde interessanterweise bereits 1917 eine Pumpanlage in Betrieb genommen, die das Sickerwasser in den Klöntalersee zurückfördert.

2. Ertüchtigung der Stauanlage

Ende der 60er Jahre, nach über 50 problemlosen Betriebsjahren, zeigten verschiedene Anlageteile vermehrt altersbedingte Schäden und Mängel. Einige Einrichtungen entsprachen nicht mehr den gängigen Sicherheitsvorstellungen. Zudem waren die anlagenspezifischen Erkenntnisse sowohl aus geologisch-geotechnischer Sicht als auch bezüglich der Hochwassersicherheit eher bescheiden.

Verschiedene bis 1972 mehrmals durchgeführte Färbversuche zeigten keinerlei besorgniserregende Resultate, so dass sich eine Ertüchtigung der Stauanlage vorläufig nicht aufdrängte. Die eigentliche Sanierung der Talsperre Rhodannenberg und ihrer Nebenanlagen erfolgte schliesslich ab 1978 in drei Phasen. Nach der Überprüfung der hydrologischen Verhältnisse wurden in der 1. Phase bis 1982 die Hochwasserentlastung und der Grundablass saniert. In der mittleren Phase, die von 1982 bis 1986 dauerte, wurde die Dammkrone saniert sowie die Sicherheit rechnerisch überprüft. Da sowohl die materialtechnischen Eigenschaften der Dammbaumaterialien und der Bergsturzmasse als auch die Grundwasserverhältnisse nur vage bekannt waren, war vorgängig eine Sondierkampagne durchzuführen und ein Piezometernetz zu erstellen. Des weiteren war das geodätische Vermessungsnetz zu verbessern.

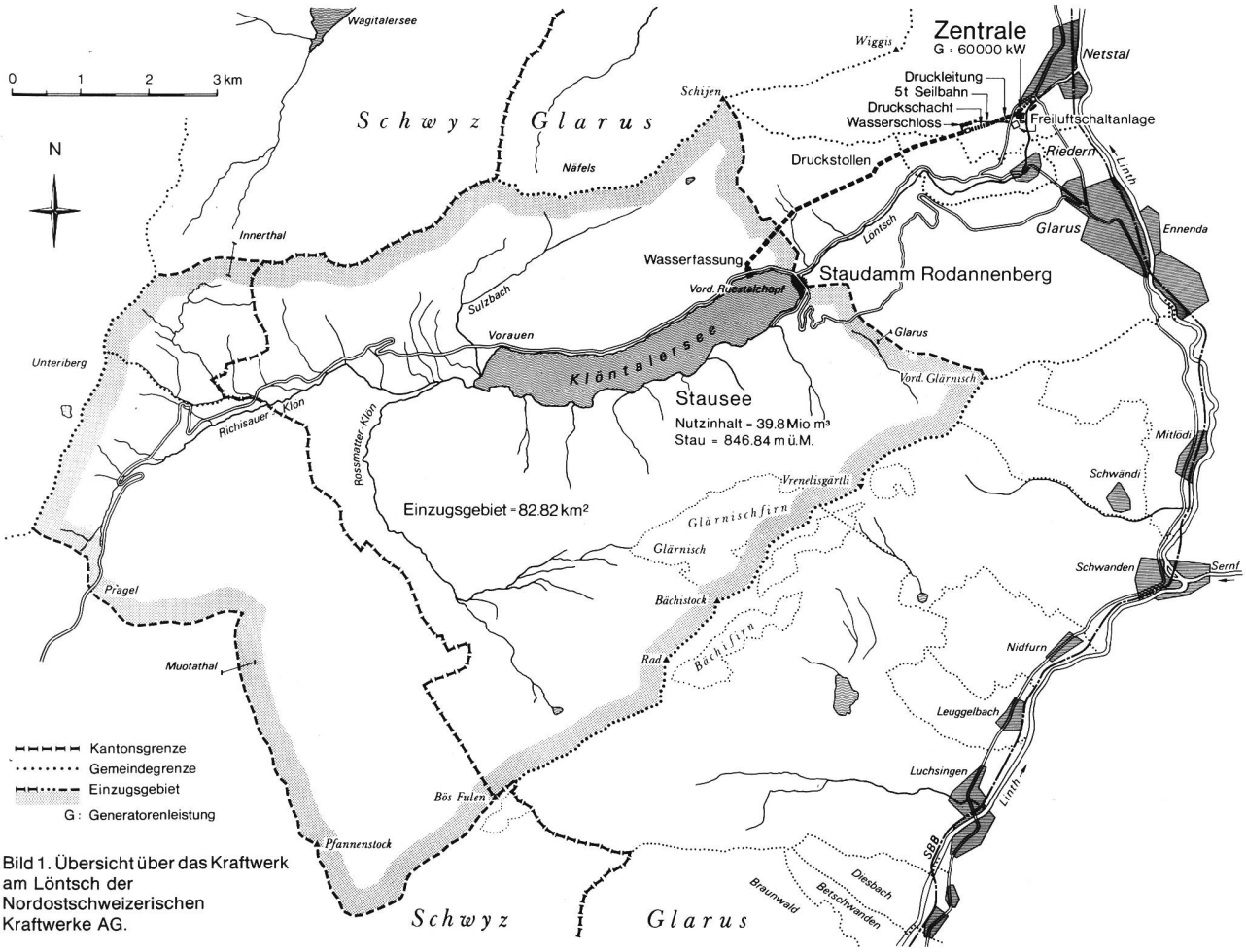


Bild 1. Übersicht über das Kraftwerk am Löntsch der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG.

Bild 2. Der Klöntalersee mit dem Staudamm Rhodannenberg. Blick nach Osten, im Hintergrund das Glarnerland.

Die in die Stabilitätsuntersuchungen integrierte rechnerische Durchflussanalyse führte unter Berücksichtigung der Trübungsmessungen zwar zu einer durchwegs befriedigenden Sicherheitsbeurteilung, dennoch war man bei den Sickerwegen, die zur gesamthaft recht hohen Leckwassermenge von etwa 600 l/s führten, vorwiegend auf Vermutungen angewiesen. Die laufende 3. Phase befasst sich daher ausschliesslich mit der letzten noch offenen Frage der Durchlässigkeit des Staudammes sowie des dazugehörenden Untergrundes und ist Gegenstand dieses Beitrages.

3. Dichtigkeit des Erddammes Rhodannenberg

Vorangehende Feldversuche

Zur Klärung der Sickerwege des bereits nach dem Erstaufstau anfallenden Leckwassers von 600 l/s wurden in den Jahren 1936 bis 1938 ausgedehnte Untersuchungen durchgeführt. Einerseits wurden die Wassertemperaturen und der Chemismus des Sickerwassers analysiert, anderseits sollten mit geoelektrischen Methoden und Färbversuchen die verborgenen Fliesswege aufgespürt werden. Aus den vorliegenden Ergebnissen ist jedoch zu schliessen, dass die damaligen Bemühungen zu keinen neuen Erkenntnissen führten. Die Gründe dürften sowohl in der Komplexität der geologisch-geotechnischen Verhältnisse als auch in einer eher mangelhaften Versuchsauswertung zu suchen sein. Auch die 1982 im Dammkörper durchgeführte Sondier- und Untersuchungskampagne liess keine Zonen erhöhter Durchlässigkeit erkennen.

Wahl einer neuen Untersuchungsmethode

Die Abklärungen für die 1987 erneut in Erwägung gezogenen Feldversuche zur Erfassung der Durchsickerungsverhältnisse in der Talsperre führten zu keiner neuen Färbkampagne. Der Grundwasserstrom des Rhodannenberges liegt im Einzugsgebiet der zur Stadt Glarus gehörenden Trinkwasserversorgung. Eine Beschickung des Grundwassers mit chemischen Farbsubstanzen liesse sich daher kaum realisieren. Zudem ergeben Färbversuche keine direkten Aufschlüsse über den lokalen Verlauf von Zonen erhöhter Durchlässigkeit, da, neben dem Beschickungsort, schliesslich lediglich die Austrittsstelle bekannt ist. Des weiteren liegen Erfahrungen vor, dass die gebräuchlichen Farbstoffe vom anstehenden Untergrund absorbiert werden

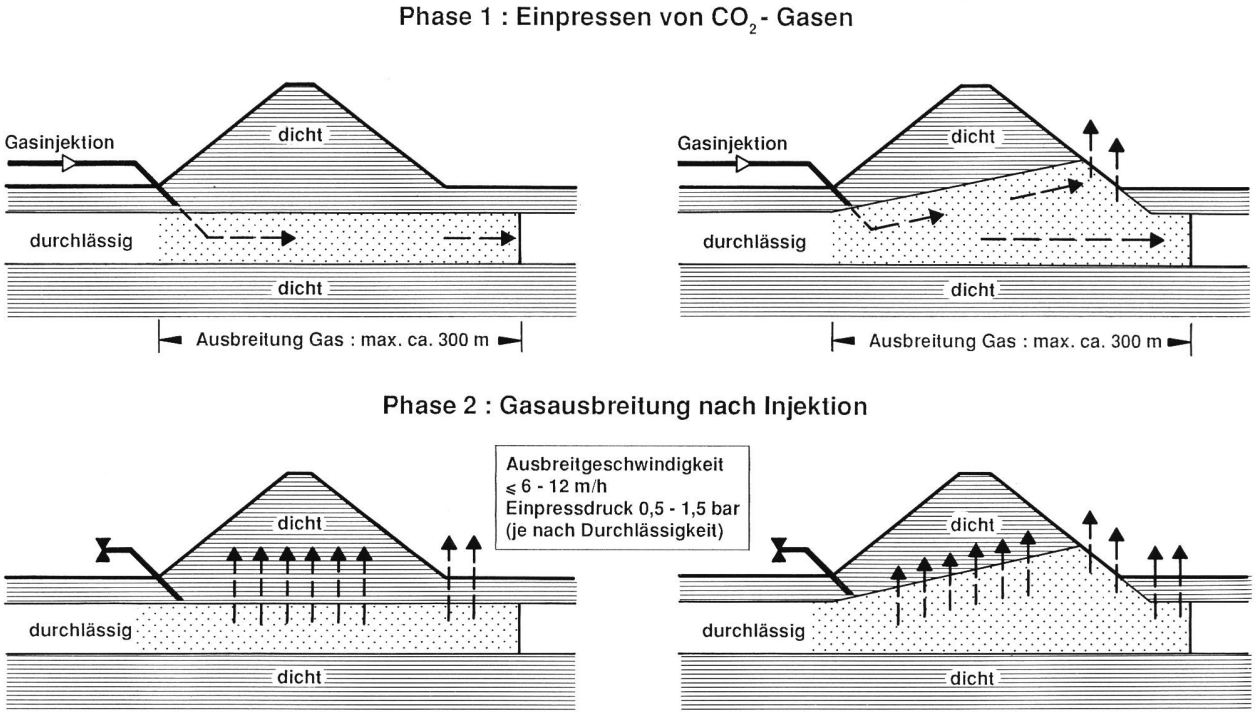


Bild 3. Die Modellvorstellungen der Dichtigkeitsuntersuchungen mit CO_2-Injektionen. Die Ausbreitung der injizierten Gase ist an zwei unterschiedlichen Dammquerschnitten gezeigt. Im Beispiel 1, links, durchdringt das Gas während der Injektionsphase lediglich die durchlässige Schicht, die von einer dichten Zone überdeckt wird. Nach Abschluss der Injektion steigt das Gas vertikal zur Oberfläche auf. Im Beispiel 2, rechts, tritt die undurchlässige Schicht direkt an die Oberfläche. Während des Injizierens tritt ein Teil des eingepressten Gases durch die durchlässige Zone direkt an die Oberfläche, der Rest breitet sich im Untergrund aus. Werden die Injektionen eingestellt, steigt die gesamte Gasmenge vertikal zur Oberfläche auf.

können. Dies mag eine der Ursachen sein, weshalb die früheren Feldversuche nur zu bescheidenem Erfolg führten. Färbversuche sind zudem nur in grösseren Zeitabständen möglich und wären für den Kraftwerksbetrieb unzumutbar, da die Farbbeschickung nur bei tiefem oder vollständig abgesenktem Seespiegel gezielt erfolgen könnte.
Die von Professor Dr. *W. Ernst* an der Universität Tübingen entwickelte Methode, die es erlaubte, den Dammkörper und den Untergrund durch systematische Begasung innerhalb von zwei Wochen im Felde zu untersuchen, schien daher geeignet. Die Injektionen von Kohlendioxyd, die teilweise durch geoelektrische Messungen unterstützt wurden, konnten praktisch witterungsunabhängig durchgeführt werden. Sie erfolgten im Frühjahr 1988, sobald es die Zugänglichkeit erlaubte, und verursachten dem Kraftwerk am Löntsch keine nennenswerten Produktionsverluste.

Gasdurchlässigkeitsanalyse und geoelektrische Messungen

Physikalische Grundlagen

Der physikalische Grundgedanke der Gasdurchlässigkeitsmethode ist nicht neu. Hydro- und Lagerstättengeologen befassen sich zur Ermittlung neuer gewinnbarer Ressourcen seit längerer Zeit mit der Ausbreitung von Wasser, Erdöl oder Gasen in Locker- und Festgesteinen. Die wichtigste Voraussetzung für den Transport dieser Medien ist die Durchlässigkeit des Untergrundes durch ein porenverbindendes Gefügesystem. Im Gebirge besteht dieses aus Trennflächen und Schichtinhomogenitäten. Erdbauwerke oder Ablagerungen von Lockermaterialien sind im allgemeinen durch ihren inhomogenen, schichtartigen Aufbau, der aus den unterschiedlichen Korngrössen resultiert, direkt vergleichbar. Die lagenweise künstliche Verdichtung von Schüttungen führt selbst bei Tonmaterialien zu einer gewissen Parallelanordnung von Mineralien, die horizontale Durchlässigkeiten verursacht. Vertikale Permeabilitäten resultieren aus differentiellen Setzungen und Verschiebungen, die jeweils vorwiegend auf unterschiedliche Materialeigenschaften zurückzuführen sind.
Mit geophysikalischen Methoden, wie z.B. Mikroseismik, Durchschallung oder Gravimetrie, lassen sich solche durchlässigen Fehlstellen nicht ermitteln.
Das durch Injektionen in den Untergrund eingepresste Kohlendioxyd breitet sich nach dem Prinzip des geringsten Widerstandes innerhalb durchlässiger Materialzonen oder Schichtgrenzen aus. Unter Druck stehendes CO_2-Gas kann sich aufgrund von Versuchen in Lockergestein horizontal bis zu 300 m weit ausbreiten. Je nach Einpressdruck, der sich in Abhängigkeit der Durchlässigkeit des zu untersuchenden Erdmaterials zwischen 0,5 und 1,5 bar bewegt und für den zu untersuchenden Untergrund unschädlich ist, kann die Ausbreitgeschwindigkeit 6 bis 12 m/h betragen. Ist der Gasdruck im zu untersuchenden Untergrund abgebaut, sei es durch eine zu hohe Durchlässigkeit oder die Beendigung der Injektion, beginnt das CO_2 vertikal durch das Porensystem an die Oberfläche zu diffundieren; d.h., die an die Oberfläche aufsteigende Gasmenge sowie ihre dortige Ankunftszeit ergeben direkte Hinweise über Ort und Umfang einer allfälligen Leckage. Das an der Oberfläche austretende CO_2 wird mit einer Vielzahl von Messsonden erfasst, die vorgängig versetzt werden. Während des Versuches werden die von den Sonden registrierten Gaskonzentrationen periodisch erfasst (Bild 3).
Im übrigen lässt sich die Verwendung von CO_2 mit der guten Umweltverträglichkeit sowie der problemlosen industriellen Herstellung begründen.

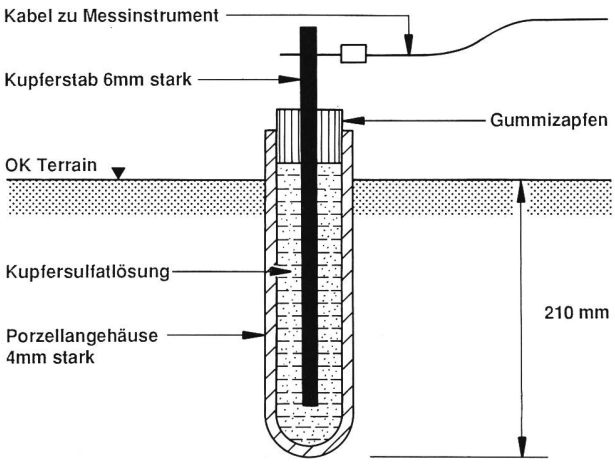


Bild 4. Schematischer Schnitt durch eine Sonde für geoelektrische Eigenpotentialmessungen.

Die geoelektrischen Eigenpotentialmessungen nutzen das natürliche elektrische Potential eines geologischen Körpers, sei es Fels oder Lockermaterial. Zwischen zwei Punkten im naturfeuchten Boden ist allgemein eine Eigenpotentialdifferenz, die von einem Millivolt (mV) bis einige Volt (V) schwanken kann, vorhanden. Bei den Eigenpotentialen wird zwischen elektromechanischen und elektrokinetischen Potentialen unterschieden. Zur Klärung von Damm- und Untergrunddurchlässigkeiten interessieren vor allem die elektrokinetischen Potentiale, wobei sich allerdings eine messtechnische Trennung sehr schwierig gestaltet. Zur Ermittlung von Sickerwegen im Untergrund nutzt die Eigenpotentialmethode vor allem die Fliessvorgänge des Wassers im Boden. Es kann sich dabei sowohl um natürliche als auch künstlich erzeugte Diffusionen und Wasserverdrängungen handeln, die beispielsweise durch CO_2-Injektionen ausgelöst werden können. Ist hingegen der zu untersuchende Boden trocken, versagt die Methode (Bild 4).
Eigenpotentialmessungen eignen sich für grossräumige Abklärungen, da es die Methode erlaubt, im Extremfall mit einer mobilen EDV-Anlage mehrere 100 Messsonden gleichzeitig und wiederholt in kurzen Zeitintervallen abzurufen.

Randbedingungen und spezifisches Vorgehen

Aufgrund der bis 1985 für die Stauanlage Rhodannenberg durchgeführten Abklärungen zur Erfassung der Grundwasserverhältnisse lagen folgende Erkenntnisse vor:
Über dem rechten Widerlager versiegt wenige 100 m von der Dammkrone entfernt ein Gebirgsbach.
Die grösstenteils aus der Umgebung der zwei Korporationsstollen und dem Grundablass sowie einigen Quellen stammende Sickerwassermenge von maximal etwa 600 l/s wird bereits seit 1917 von einer Pumpstation in den Klöntalersee zurückgepumpt. Der Geologe vermutet, dass es sich bei der registrierten Wassermenge vorwiegend um seitliche Talzuflüsse und weniger um direkte Verbindungen mit dem Klöntalersee handelt. Die regelmässigen Trübungsmessungen sowie die guten Betriebserfahrungen des 80jährigen Dammes zeigen jedenfalls, dass keine innere Erosion im Dammkörper und Untergrund zu befürchten ist. Die exakten Sickerwege sind jedoch weitgehend unbekannt.
Durch das 1982 neu erstellte Piezometernetz, das im Dammkörper liegt und in die heterogene Fundationszone reicht, war der Grundwasserspiegel im Dammbereich punktuell gut bekannt.
Die an den Erddamm angrenzende Sohle des Klöntalersees weist eine Vielzahl von Versickerungstrichtern auf (Bilder 5

Bild 5. Grundriss des Staudammes Rhodannenberg. Oben der Klöntalersee, unten die Luftseite. Schwarz angelegt sind die Bereiche mit Versickerungstrichtern.

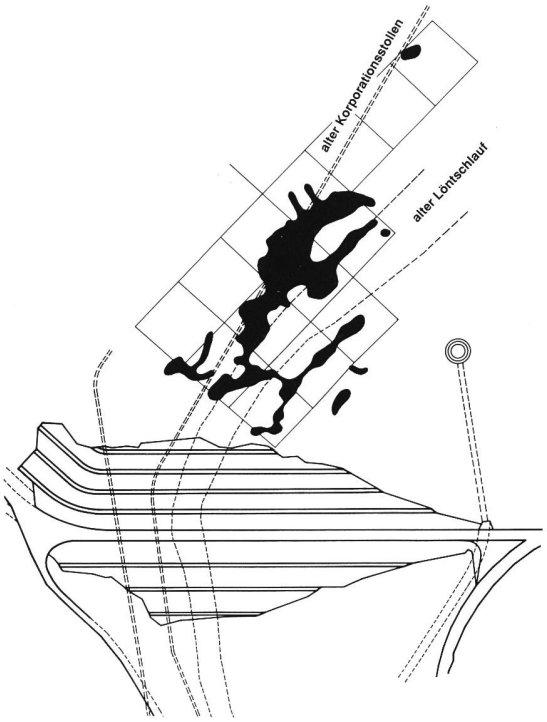
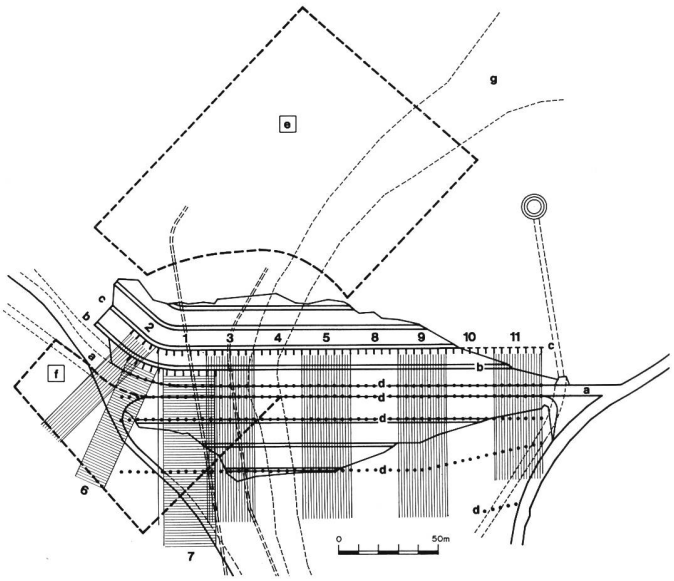


Bild 7. Anordnung der Dichtigkeitsuntersuchungen am Staudamm Rhodannenberg.
a) Dammkrone mit Strasse
b) Obere Berme Wasserseite, von der aus zusätzlich das rechte Dammwiderlager injiziert wurde
c) Untere Berme Wasserseite, von der aus der Dammkörper und die Fundationszone injiziert wurde
d) Anordnung der Messsonden auf der Dammkrone und -luftseite
e) Geoelektrisches Messfeld Stauraum
f) Geoelektrisches Messfeld rechtes Dammwiderlager
g) Alter Löntschlauf
Die abwechselnd weissen und schraffierten Injektionsfelder sind in der Reihenfolge des Injektionsvorganges numeriert.



und 6). Bei niedrigem Wasserstand lassen sich besonders bei mit Laub gefüllten Versickerungstrichtern leichte Wirbelbildungen erkennen. Frühere Abklärungen führten zu keiner abschliessenden Beurteilung der Versickerungen.

Die im Frühjahr 1988 systematisch durchgeführte Begasung der Talsperre Rhodannenberg erfolgte primär von der zweiten wasserseitigen Berme aus. Beidseits der Dammkrone sowie im Bereich der obersten und untersten Berme der Dammluftseite wurden Messsonden plaziert. Die Dammlänge wurde dabei in neun separat untersuchte Injektionsfelder von 20 m Breite unterteilt. Injektionssonden und Messsonden wurden in einem gegenseitigen Abstand von 4 m versetzt. Die im Sinne einer Redundanz durchgeführten geoelektrischen Messungen im Bereich des rechten Widerlagers wurden durch die CO_2-Injektionen der Felder 6 und 7 unterstützt. Mit Hilfe des geoelektrischen Messfeldes im Stauraum konnten die Fliessvorgänge in der Zone der Versickerungstrichter analysiert werden (Bild 7).

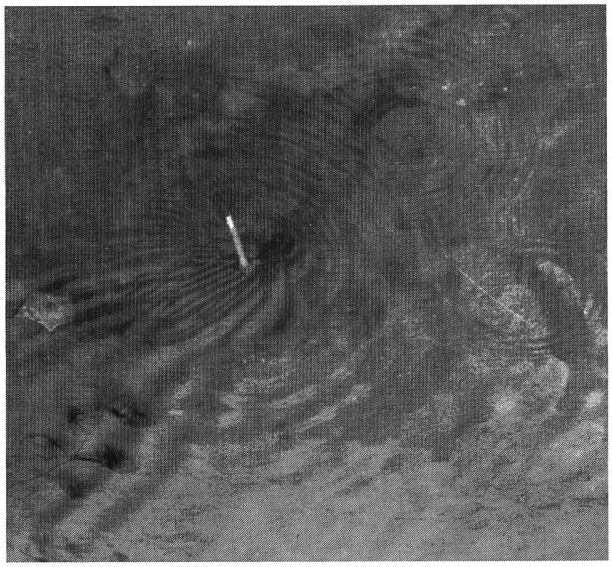


Bild 6. Bei tiefem Wasserstand kann die Drehbewegung des in die Versickerungstrichter strömenden Wassers erkannt werden. Als Grössenmassstab dient der Bleistift im Zentrum des Wirbels.

Für die abschnittweise durchgeführte Injektion der Talsperre wurden 454 m³ oder 900 kg Kohlendioxyd benötigt. Begast wurde über Schlauchleitungen vom Tankwagen, der auf der Dammkrone plaziert war. Die von der zweiten Berme aus durchgeführte Begasung dauerte 4 Stunden, während die Felder 6 und 7 drei Stunden injiziert wurden. Die geoelektrischen Messergebnisse wurden von einer EDV-Anlage, die im ebenfalls auf der Dammkrone plazierten Kleinbus installiert war, erfasst.

Die Injektionssonden sind 0,60 m lang und weisen einen Durchmesser von 30 mm auf. Sie werden in 0,80 m lange, vorgebohrte Löcher eingeschoben. Die zu untersuchende Untergrundzone wird durch die Wahl der Bohrlochneigung angesteuert. Die Messsonden, die aus einem dünnwandigen Leichtmetallrohr von 30 mm Durchmesser bestehen, reichen maximal 0,80 m tief in den Untergrund. Sie sind an der Terrainoberfläche mit einem Kunststoffdichtungskegel versehen. Das Sondenende weist einen Absperrhahn und einen Messgeräteanschluss auf.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Im Rahmen der Untersuchung für den Staudamm Rhodannenberg konnte zwischen fünf grundsätzlichen Durchströmungsmodellen unterschieden werden (Bild 8).

Beim Modell 1 liegt lediglich in der Fundationszone des Dammes eine erhöhte Durchlässigkeit vor. Es wird nur bei der am luftseitigen Dammfuss plazierten Messsonde ausströmendes CO_2 registriert.

Im Falle des Modells 2a ist primär in der Fundationszone eine erhöhte Durchlässigkeit vorhanden und somit allen-

falls ein Unterströmen möglich. Zusätzlich ist sowohl auf der Wasser- wie der Luftseite mit einer höheren Durchlässigkeit im Grenzbereich Kern-Filterzone zu rechnen. Aus konstruktiven Gestaltungsgründen der Dammkrone lässt sich aber lediglich auf der Kronenluftseite und analog zum Modell 1 am Dammfuss eine CO_2-Konzentration messen.
Das Modell 2b stellt die günstigsten Verhältnisse dar und präsentiert sowohl einen dichten Untergrund als auch einen undurchlässigen Kern. Das injizierte CO_2-Gas steigt auf der Wasserseite des Dichtungselementes hoch. Aus den oben erwähnten Gründen wird dennoch nur auf der Luftseite der Dammkrone eine CO_2-Konzentration gemessen.

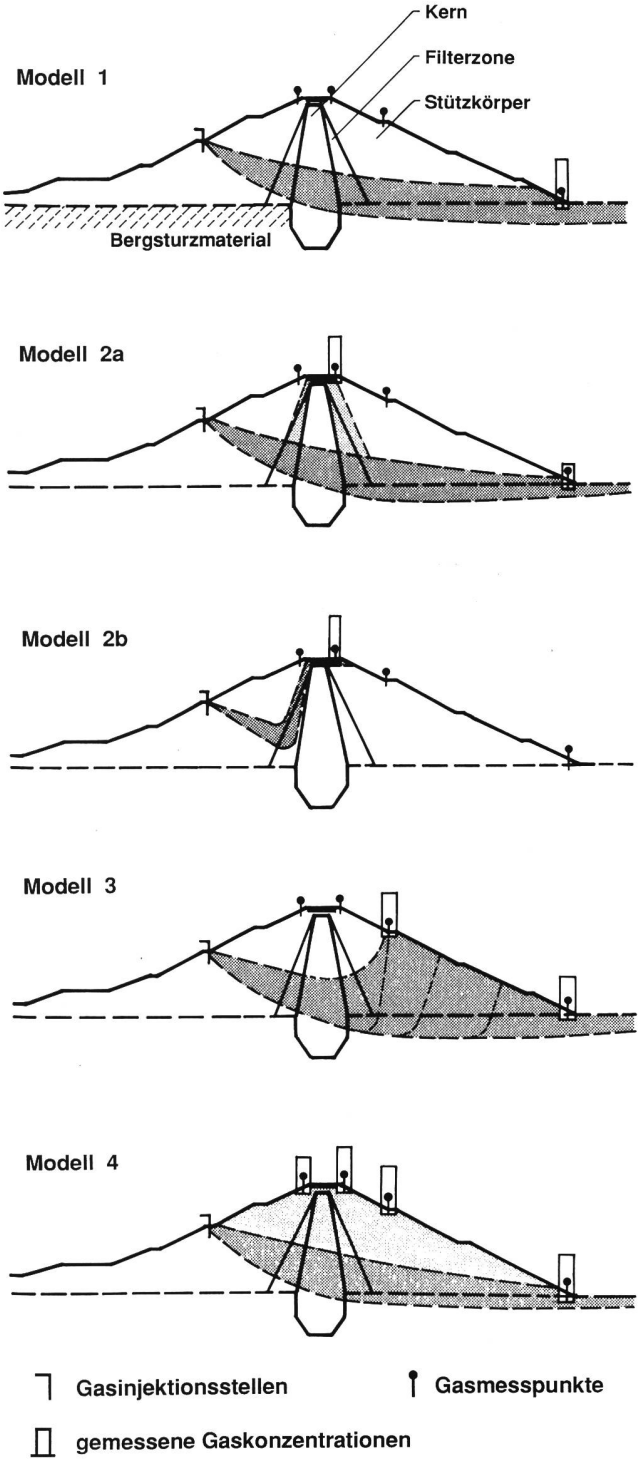


Bild 8. Die am Staudamm Rhodannenberg aus den Dichtigkeitsuntersuchungen resultierenden Modelle der Gasdurchströmung.

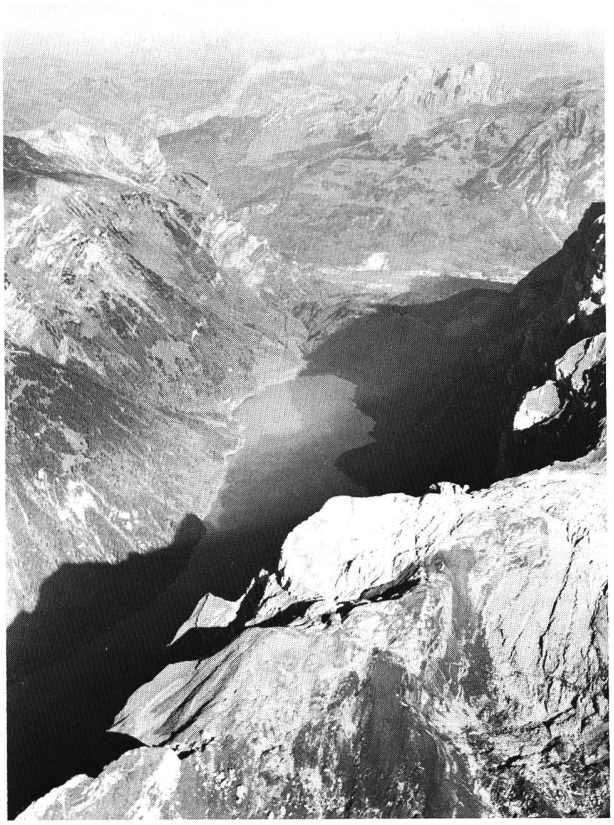


Bild 9. Der Klöntalersee mit dem Pragelpass im Hintergrund.

Im Modell 3 werden die Auswirkungen eines undichten Dammkernes dargestellt. Die am luftseitigen Dammfuss und auf der obersten Berme plazierten Messsonden zeigen hohe Konzentrationswerte.
Das Modell 4 stellt die Folgen differentieller Setzungen oder Verschiebungen in einem Dammquerschnitt dar. Der gesamte Querschnitt weist generell eine erhöhte Durchlässigkeit auf, so dass selbst auf der Kronenwasserseite beachtliche CO_2-Konzentrationen gemessen werden.
Die durch die Begasung verursachten CO_2-Konzentrationsänderungen sind in vier Klassen unterteilt und zeigen ein recht heterogenes Bild. Es handelt sich dabei um die während der Versuche gemessenen Maximalwerte. Neben der Nullmessung vor der Begasung wurden durchwegs 5 zeitlich gestaffelte Folgemessungen durchgeführt. Bei der Auswertung der Messergebnisse wurden die unterschiedlichen, zeitabhängigen Konzentrationen sorgfältig mitberücksichtigt. Das Bild 10 zeigt die aus der Datenanalyse resultierenden Gasdurchgangs- und Verbindungszonen im Dammfundationsbereich. Bei den selektionierten Bereichen handelt es sich allerdings nicht um Zonen gleicher Durchlässigkeit. Sie zeigen lediglich, in welchen Dammquerschnitten der Fundationszone die Rolle des durchlässigsten Bereiches zukommt.
Werden die Versuchsergebnisse nach ihren Ursachen gewichtet, können vereinfachend drei verschiedene Hauptzonen unterschieden werden. Im linken Widerlagerbereich des Dammes ist eine Querschnittzone mit durchwegs erhöhter Durchlässigkeit vorhanden und entspricht dem Durchströmungsmodell 4. Beim rechten Widerlager sowie in der Dammitte lassen sich zwei Zonen ausscheiden, die einer Kombination der Modelle 2a und 3 entsprechen. Der übrige Zonentyp lässt sich mit dem Durchströmungsmodell 2a charakterisieren.
Das geoelektrische Messfeld 1 untersucht die Fliessvorgänge im Bereich der Versickerungstrichter (Bild 11). Die

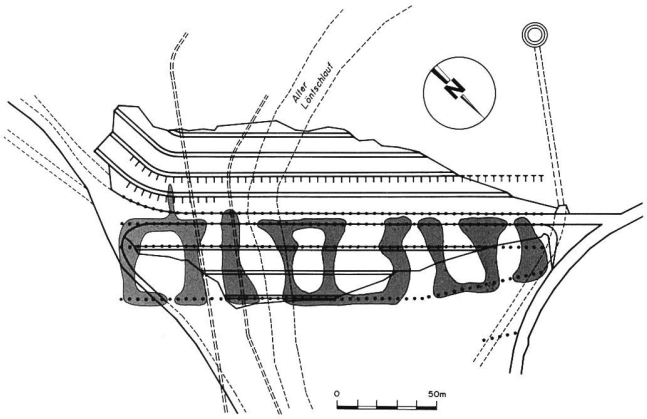


Bild 10. Die ermittelten Gasdurchgangs- und Verbindungszonen im Dammfundationsbereich.

Messungen zeigen, dass das durch die Trichter strömende Wasser zum alten Löntschlauf fliesst. Am linken Ufer des ehemaligen Talbaches konnte eine eng begrenzte Zone ermittelt werden, von wo das versickernde Wasser siphonartig in den alten Löntschlauf strömt. Von dort fliesst es im ehemaligen Bachbett ungehindert unter der Talsperre durch, da der Staudamm Rhodannenberg keinen Injektionsschirm aufweist, der die Fundationszone dichtet. Des weiteren konnte im rechten Seeuferbereich, nahe des Dammes, eine lokal eng begrenzte, aber sehr durchlässige Sickerzone ausfindig gemacht werden. Diese Zone liegt etwas unterhalb der maximalen Staukote des Klöntalersees und weist offensichtlich eine Verbindung zum Messfeld 2 auf.

Die Ergebnisse des Messfeldes 2 deuten darauf hin, dass im nördlichen Feldabschnitt eine dichte Untergrundzone vorhanden ist. Durch diese keilartige Zone wird der Zustrom, der den Dammkörper umfliesst, zweigeteilt. Einerseits fliesst Wasser gegen die Talmitte ab, andererseits wird ein Strömungsast lokal gegen das Flankeninnere umgelenkt.

Die für die Eigenpotentialmessungen bestimmten Messsonden bestehen im wesentlichen aus einer Kupferelektrode und einem Porzellangehäuse. Um möglichst wohl definierte Messverhältnisse zu schaffen, steht die Sondenelektrode über eine ins Porzellangehäuse eingefüllte Kupfersulfatlösung mit dem Boden in Verbindung.

Im Messfeld 1 wurden die Sonden in einem Raster von 10 m × 20 m aufgestellt, während im Feld 2 der gegenseitige Sondenabstand 10 m betrug.

4. Zusammenfassung der Erkenntnisse und Massnahmen

Die geoelektrischen Messungen im Bereich der Versickerungstrichter führten zur beruhigenden Erkenntnis, dass das durch die Trichter verschwindende Wasser zum alten Löntschlauf hin abfliesst. Von einer eng begrenzten Zone am linken Ufer strömt das Sickerwasser siphonartig in den ehemaligen Bachlauf und unterquert die Talsperre ungehindert.

Im rechten Seeuferbereich, knapp unterhalb des maximalen Stauspiegels des Klöntalersees, ist eine lokal begrenzte undichte Zone vorhanden. Sie steht mit einem analogen Bereich, der sich in Verlängerung der Dammachse im rechten Widerlager befindet, in Verbindung. Auf der Luftseite wird das den Damm umfliessende Wasser einerseits gegen die Talmitte und andererseits vorübergehend ins Flankeninnere umgelenkt (Bild 12).

Schliesslich lassen sich die Erscheinungen und Ursachen der erhöhten Durchlässigkeiten in der Talsperre Rhodannenberg wie folgt zusammenfassen:

Im linken Widerlagerbereich ist eine Querschnittzone vorhanden, die durchgehend eine erhöhte Durchlässigkeit aufweist. Die Ursache könnte in sehr früh entstandenen, differentiellen Setzungen oder Verschiebungen zu suchen sein und verdient eine besonders sorgfältige Beobachtung.

In der Dammitte und im rechten Widerlager befindet sich je eine Querschnittzone, die auf der Luftseite im Kern-Filterbereich eine leichte Auflockerung aufweist.

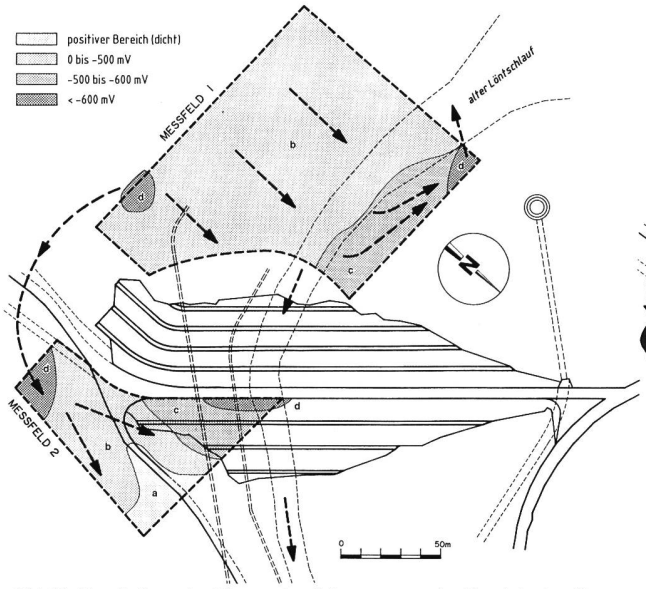


Bild 11. Ergebnisse der Eigenpotentialmessungen im Bereich des Staudammes Rhodannenberg. Die mit starkem Raster angelegten Flächen (d, c) entsprechen dem durchlässigen Untergrund. Helle Rasterung (b und weiss a) bedeutet weniger durchlässige Bodenpartien. Das Messfeld 1 deckt die beobachteten Versickerungstrichter ab. Das Messfeld 2 erfasst die Fliessvorgänge im rechten Widerlager. Die Pfeile geben die mutmasslichen Sickerwege des Wassers an, wie sie aufgrund der geoelektrischen Dichtigkeitsuntersuchungen vermutet werden.

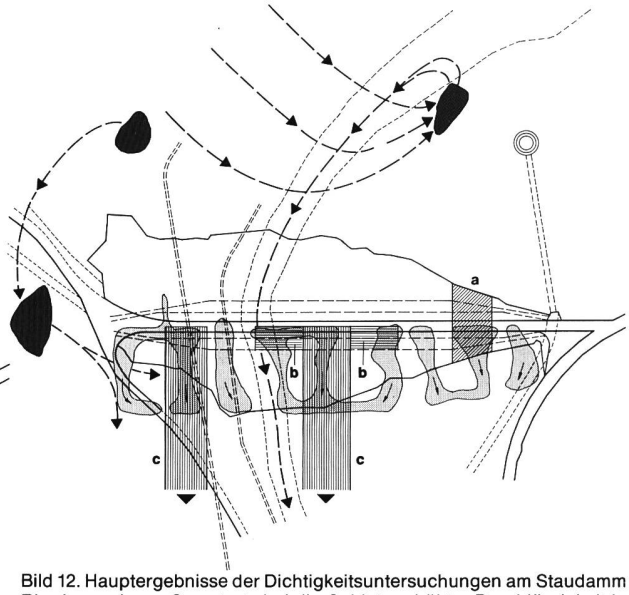


Bild 12. Hauptergebnisse der Dichtigkeitsuntersuchungen am Staudamm Rhodannenberg. Gerastert sind die Gebiete erhöhter Durchlässigkeit in der Dammfundation. Die Hauptsickerzonen ausserhalb des Dammes sind schwarz angelegt. Die Pfeile deuten die mutmasslichen unterirdischen Fliesswege an. Im Feld a weist der ganze Dammquerschnitt erhöhte Durchlässigkeit auf. Bei den Feldern b ist eine luftseitige Auflockerung im Bereich Kernfilter festzustellen. In den Bereichen c ist das Material im luftseitigen Kernfilterbereich aufgelockert. Zusätzlich wird auch die Fundation durchflossen.

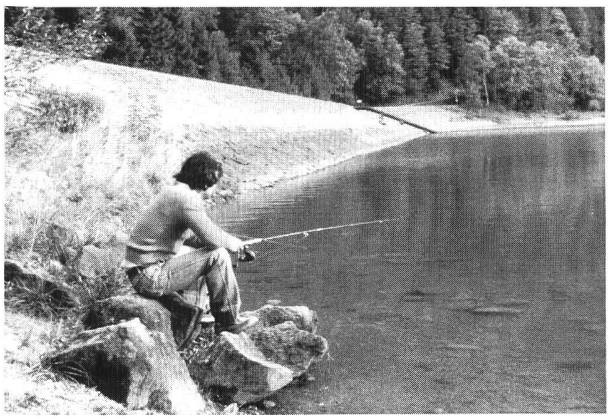


Bild 13. Der Klöntalersee, der zur Stromproduktion aufgestaut wird, dient nicht nur den Sportfischern als Erholungsraum. Zum Campieren, Wandern und Baden wird das Klöntal gerne von den nahegelegenen Ballungszentren aus besucht.

In den Bereichen der dritten Zone ist im luftseitigen Kern-Filterbereich mit einer erhöhten Durchlässigkeit zu rechnen. Gesamthaft betrachtet, bewegen sich aber alle ermittelten Durchlässigkeiten in Grössenordnungen, die die Sicherheit des bereits 80jährigen Dammes erwartungsgemäss nicht in Frage stellen. Trotzdem scheint es den Betreibern angezeigt, die bezüglich der Durchlässigkeit allenfalls kritischen Zonen mittels zusätzlicher Piezometer langfristig und detailliert zu beobachten oder eventuell auftretendes Sickerwasser direkt über Drainagen abzuleiten.

5. Schlussfolgerung

Die systematische Anwendung der Gasdurchlässigkeitsmethode in Kombination mit geoelektrischen Messungen konnte die massgebenden Phänomene der Grundwasserverhältnisse des Staudammes Rhodannenberg weitgehend klären, obwohl seine Fundation auf einer recht inhomogenen Felssturzmasse liegt. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Methode zwar innerhalb gewisser Grenzen durchaus über den Verlauf vorhandener Auflockerungszonen Aufschluss gibt, diese Zonen jedoch nicht zwingend auch von Wasser durchflossen sein müssen.
Da die Felduntersuchungen praktisch witterungsunabhängig sind und im vorliegenden Falle innerhalb von zwei Wochen abgeschlossen werden konnten, erwuchsen dem Kraftwerkbetrieb keine nennenswerten Produktionsausfälle. Schliesslich ist die verwendete Untersuchungsmethode kostenmässig durchaus mit konventionelleren Methoden, wie z.B. Färbversuchen, konkurrenzfähig.

Schriftliche Fassung eines Vortrages, den der Verfasser an der Studientagung vom 20./21. September 1990 in Martigny hielt. Die Tagung zum Thema «Verhalten und Überwachung des Talsperrenuntergrundes» wurde vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosse Talsperren, Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung, organisiert.

Adresse des Verfassers: *Ernst Honegger,* dipl. Ing. ETHZ, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Parkstrasse 23, CH-5401 Baden.

Per i 75 anni dell'Associazione ticinese di economia delle acque

Aldo Conca, presidente

Da quando il Canton Ticino ottenne nel 1803 la propria indipendenza, seriamente cercò di provvedere alla propria sicurezza ed al miglioramento delle proprie fortune.
Il regime delle acque occupò e preoccupò non poco le autorità dello Stato mettendo a dura prova le capacità finanziarie ed economiche del paese.
Ricordiamo che il Ticino è bagnato da due laghi, dove le piene si manifestano in modo impressionante e subitaneo; inoltre il Cantone è attraversato da una fitta rete di valli estremamente ripide.
Consideriamo infine i corsi d'acqua, alimentati da precipitazioni atmosferiche di eccezionale imponenza, che spesso scorrono con infrenabile impeto, esercitando quella poderosa opera di erosione e di trasporto che è la causa delle devastanti alluvioni di cui è tristemente famosa la cronistoria del nostro paese.
Importante e vitale quindi, per il Cantone Ticino, il problema delle acque poichè, se è vero che queste non sistemate sono causa delle più gravi calamità è altrettanto vero che disciplinate possono recare inestimabili benefici al paese.
Furono pertanto bene ispirati quegli uomini che nel lontano 1915 a Bellinzona, e più precisamente il 27 novembre di quell'anno, gettarono le basi di una associazione destinata ad assistere, con suggerimenti e studi, i poteri dello Stato in una bisogna tanto poderosa e complessa quale quella dell'economia delle acque d'intesa naturalmente, con l'associazione mantello e cioè l'Associazione svizzera di economia delle acque.
Gli scopi dell'ATEA sono da conseguirsi (e qui cito l'art. 3 degli statuti):

a) mediante l'elaborazione di un piano generale di economia delle acque per i bacini fluviali e lacuali del Canton Ticino
b) col favorire la navigazione interna, l'utilizzazione delle acque e le opere di difesa contro le piene, in ispecie tenendo di mira la costruzione di bacini di trattenuta
c) con l'illuminare l'opinione pubblica a mezzo di radunanze e della stampa sull'importanza di una razionale economia delle acque
d) col fornire informazioni gratuite sulle questioni di economia e di legislazione delle acque ai membri dell'associazione

Al punto 4 si richiama che i suoi membri sono costituiti:
- da corporazioni pubbliche, autorità ed uffici pubblici
- da persone o enti morali la cui attività sta comunque in relazione cogli scopi dell'Associazione.

La loro consistenza, se andiamo a sfogliare i rendiconti annuali, si è costantemente mantenuta e si mantiene all'incirca sulle cento unità.
Riandando nel tempo all'attività della nostra Associazione, è doveroso ricordare l'opera di chi ha avuto l'onore di condurla, molti dei quali non sono più tra noi, e di chi ha svolto il lavoro oneroso e meno gratificante del segretariato.
I presidenti che si succedettero dalla sua fondazione sono stati:
dal 1915 al 1918 l'ing. *Giovanni Rusca*
dal 1919 al 1922 l'avv. *Evaristo Garbani-Nerini*
dal 1923 al 1929 l'ing. *Carlo Bonzanigo*
dal 1930 al 1943 l'ing. *Giovanni Casella*
dal 1944 al 1964 l'ing. *Luigi Rusca*
dal 1964 al 1965 l'arch. *Raoul Casella*
dal 1966 al 1972 l'ing. *Fabio Nizzola*
dal 1973 al 1984 il dott. ing. *Alessandro Rima*
e dal 1984 l'ing. *Aldo Conca*