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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 72 (1980)

Heft: 7-8

Artikel: Stauanlage Zeuzier : geologisch-geotechnsich-hydrogeologische Aspekte der Mauerdeformation

Autor: Schneider, Toni R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941402

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

Stauanlage Zeuzier – Geologisch-geotechnisch-hydrogeologische Aspekte der Mauerdeformationen

Toni R. Schneider

Zusammenfassung

Ausgehend von einer Schilderung der allgemeinen geologischen Verhältnisse des Gebietes der durch Deformationen des Untergrundes beschädigten Staumauer Zeuzier, werden die im Sommer 1979 durchgeführten Untersuchungen und die damit verbundenen grundlegenden Überlegungen beschrieben. Die Resultate der bisherigen Erhebungen und Messungen werden erläutert und die sich daraus ergebende Vorstellung über den Mechanismus der Deformationen und deren Ursache erklärt. Abschliessend wird gezeigt, wie sich aus geologischer Sicht die Fortsetzung der Arbeiten abzeichnet.

Summary: The Deformations of the Zeuzier Arch-Dam – Geological, Geotechnical, and Hydrogeological Aspects

The researchwork carried out in the summer 1979 and its basic philosophy are explained, based on a description of the general geological conditions of the environment of Zeuzier arch-dam which has been damaged by ground deformations. The results are presented of the investigations and measurements at disposition at the moment and the mechanism of the deformations and their cause are explained. Finally it is shown in what a way the works shall continue from the geological point of view.

Résumé: Les déformations du barrage de Zeuzier – aspects géologiques, géotechniques et hydrogéologiques

Les explorations exécutées en été 1979 et les considérations y relatives sont basées sur une description des conditions géologiques générales de la région du barrage de Zeuzier endommagé par des déformations du terrain. Les résultats des recherches et mesures exécutées jusqu'à présent sont énumérées et les idées sont expliquées sur le mecanisme des déformations et de leur cause. Finalement il est démontré comment se présente, du point de vue géologique, la poursuite des travaux.

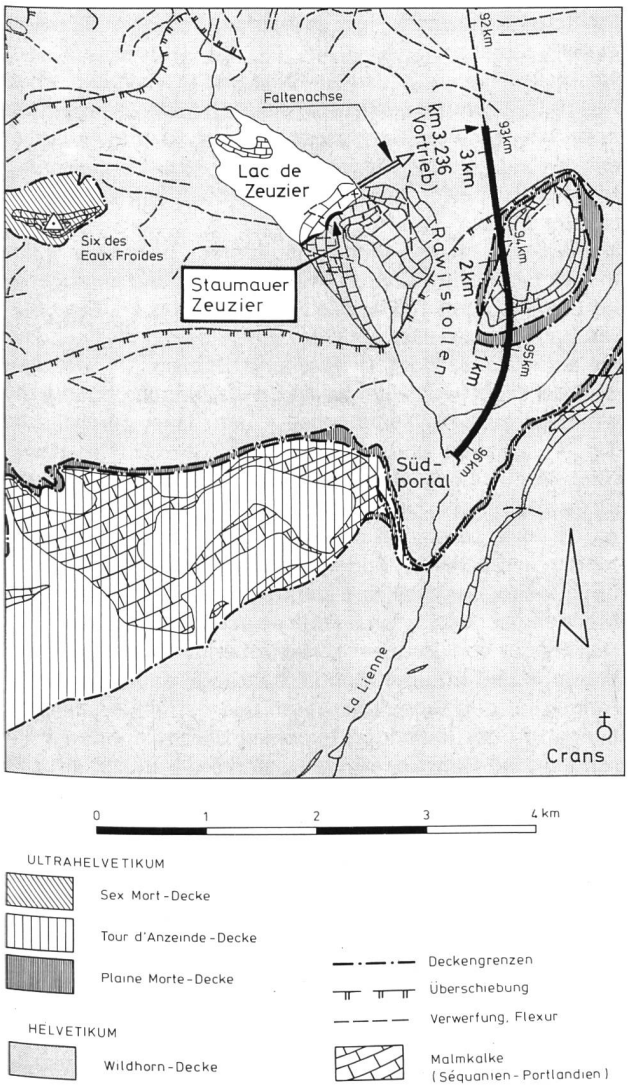

Bild 1. Tektonische Kartenskizze.

1. Einleitung

Im Rahmen der Berichtsreihe dieses Heftes über das jüngste Verhalten der Staumauer Zeuzier werden im folgenden die geologisch-geotechnisch-hydrogeologischen Aspekte der Deformationen behandelt. Zuerst wird auf die allgemeinen geologischen Verhältnisse des Sperrenbereiches und der Stauhaltung kurz eingegangen. Im weiteren werden die im Sommer und Herbst 1979 durchgeführten Untersuchungen erläutert und deren Resultate, soweit sie als Ergänzungen zu den Informationen in den anderen Beiträgen dieses Heftes bewertet werden können, besprochen. Anschliessend wird die Modellvorstellung über die Ursache der Mauerdeformationen, wie sie anhand des vorliegenden Untersuchungsmaterials abgeleitet werden kann, beschrieben. Zum Abschluss wird noch gezeigt, wie sich von seiten der Experten die weitere Entwicklung der Untersuchungen abzeichnet.

2. Allgemeine Geologie

Tektonik

Die Sperrenstelle Zeuzier und das Staubecken befinden sich in der Wildhorndecke (Bild 1, [1] [2] [3] [4]). Innerhalb des Deckenpaketes ist die Staumauer auf dem N-Schenkel einer lokalen Falte des Malms fundiert (Bild 2). Das Becken nimmt eine grossräumige Mulde nordwestlich dieser Falte ein. Talaufwärts schliesst eine zweite Falte des Malms an, die von der Stauwurzel noch tangiert wird. Der Untergrund des Beckens besteht grösstenteils aus jungen Lockergesteinen sowie einem Felsbett, das von mehr oder weniger undurchlässigen Valanginienmergeln ausgekleidet ist. Malm tangiert die Stauhaltung einzig im Bereich der Sperrenstelle sowie in einer kleinen Schlucht der Lienne im Hintergrund des Sees.

Stratigraphie

Die Wildhorndecke zeigt den normalen Aufbau der Sedimente des Helvetikums mit ihren charakteristischen Wechsellagerungen von kompetenten vorwiegend kalkigen und inkompetenten grösstenteils mergeligen Serien (Bild 3). Für die folgenden Ausführungen von Interesse ist die Schichtreihe zwischen Aalénien und Valanginienmergeln.

Hydrogeologie

Entsprechend der lithologischen Ausbildung der Wildhorndecke ist die Wasserführung des Deckenpaketes stark wechselhaft. Aus dem stratigraphischen Profil geht

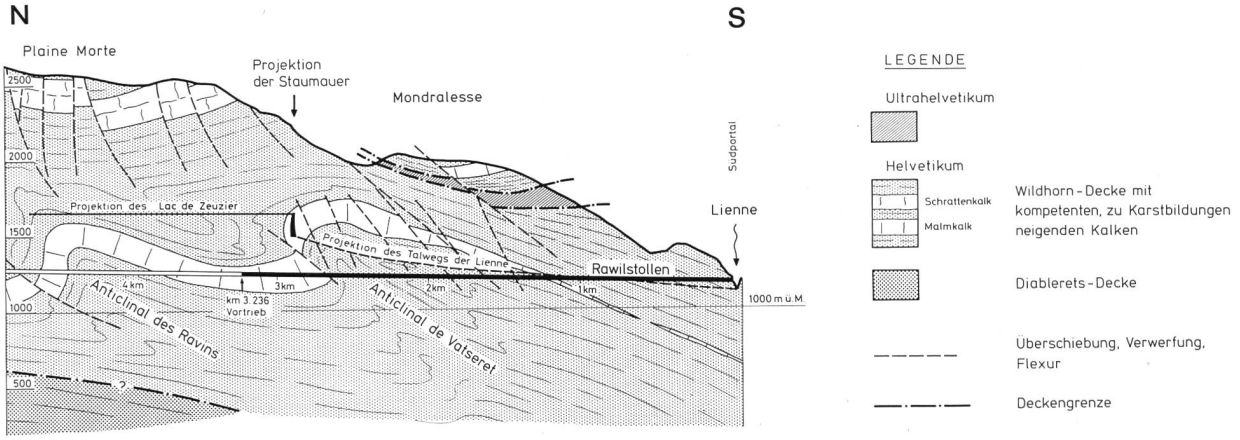

Bild 2. Tektonisches Profil. 0 1 2 km

hervor, dass als stärker durchlässig und zu Karstbildungen neigend hauptsächlich der Schrattenkalk und die Kalke des Malms zu bewerten sind (Bild 2). Das Karststockwerk des Schrattenkalkes wurde im Rahmen der Studien für den Rawiltunnel genauer untersucht [5]. Anhand von Farbstoffeingaben im Bereich des Rawilpasses konnte nachgewiesen werden, dass ausgeprägte Zirkulationssysteme vorhanden sind, die im wesentlichen den Synklinalen des Schrattenkalkes folgen. Insbesondere war zu erkennen, dass direkte Verbindungen bestehen zwischen der Rawilpasshöhe und den grossen Quellen im Hintergrund des Tales der Lienne, die wesentlich zum Wasservolumen der Stauhaltung Zeuzier beitragen. Im Gegensatz dazu ist das Karstsystem im Malmkalk hauptsächlich aufgrund seiner tiefen Lage im Gebirge bedeutend weniger bekannt. Erste Hinweise auf seine Existenz lieferten die vom Rawilstollen angefahrenen Wasservorkommen.

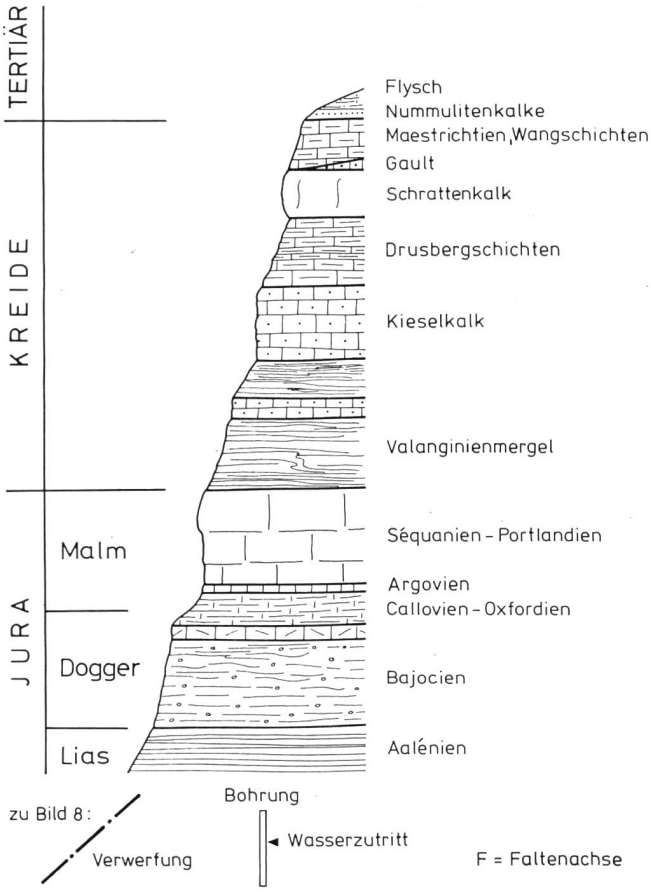

Bild 3. Stratigraphisches Profil.

Aufbau des Riegels von Zeuzier

Der Riegel von Zeuzier, in dem die Staumauer fundiert wurde, besteht im wesentlichen aus einer lokalen Falte des Malms (Bilder 4 und 5). Diese wurde durch die glaziale Erosion herauspräpariert, weil der Malm innerhalb des Deckenpaketes einen Härtling darstellt. In postglazialer Zeit hat sich die Lienne in einer rund 150 m tiefen, asymmetrischen, engen Schlucht in den Riegel eingeschnitten (Bild 6). Der Malm selbst bildet ein Gewölbe, dessen Kern Argovien und Callovien/Oxfordien enthält (Bild 4). Die Falte verläuft SW–NE und fällt mit 5 bis 16° NE-wärts ein. Ihr Scheitel ist durch eine Verwerfung, die steil SE-wärts einfällt, zerschert.

Rechts der Lienne ist das Gewölbe noch vollständig erhalten (Bild 4). Auf der linken Talseite ist der ganze Südschenkel durch die Erosion abgetragen (Bild 5). Aus diesem Grunde ist der Riegel hier wesentlich schmaler und tritt morphologisch markanter in Erscheinung als auf der rechten Seite.

Der N-Schenkel, in dem die Mauer steht, ist stärker S-förmig verfaltet. Die Talsperre wurde vorwiegend im angenähert senkrechten Teil dieses Schenkels plaziert. Die unteren Bereiche der Fundation erreichen jedoch die flach verlaufende Fortsetzung in Richtung Becken. Im weiteren wird der Riegel von einer Reihe Verwerfungen gequert, die alle senkrecht zur Faltenachse – und damit parallel zum Tal – streichen und mit rund 45° SW-wärts einfallen (Bild 6). An ihnen wurde jeweils das südwestliche Felspaket gegenüber dem nordöstlichen um einige Dekameter relativ tiefer gesetzt. In der Regel bestehen diese Verwerfungen aus scharfen Fugen von wenigen Millimetern Öffnungsweite; nur lokal sind stärkere Zerrüttungen und Zerbrechungen des angrenzenden Felsens festzustellen.

Der Riegel von Zeuzier ist nur oberflächlich verkarstet. Weder in den früheren Sondierbohrungen noch den Bohrungen für den Dichtungsschirm und den im Zusammenhange mit der laufenden Expertise durchgeführten Bohrungen sind Hinweise auf eine stärkere Verkarstung des Malms in der Tiefe zu finden. Es ist dies vermutlich auf die verhältnismässig tiefe Lage des Malms im Gebirgskörper und dementsprechend das Fehlen einer ausgeprägten Vorflut zurückzuführen. Einzig im Bereich der äussersten Verwerfung auf der rechten Talseite wurde von einer Bohrung des Dichtungsschirmes ein grösserer Hohlraum angefahren.

3. Untersuchungen im Sommer/Herbst 1979

Als die Expertengruppe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft im Frühjahr 1979 ihre Arbeit aufnahm und am 11. April die Sperrenstelle besuchte, war diese noch tief

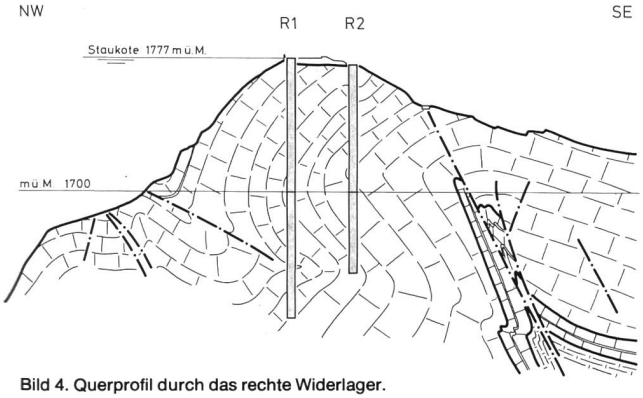

Bild 4. Querprofil durch das rechte Widerlager.

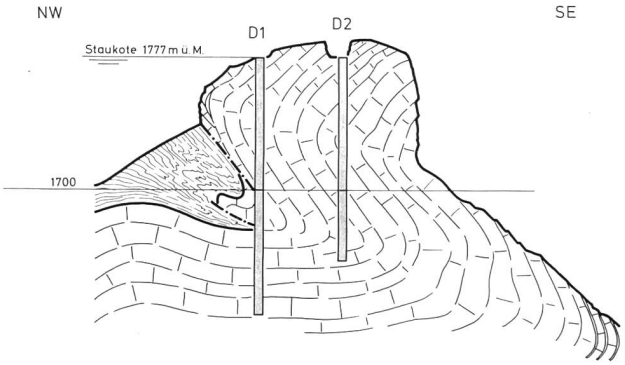

Bild 5. Querprofil durch das linke Widerlager.

verschneit. Die Beobachtungen im verschneiten Gelände sowie die damals als einzige zur Verfügung stehenden Pendelmessungen liessen den Verdacht aufkommen, dass die Schäden der Mauer auf Gleitvorgängen in den Widerlagern beruhen. Aus diesem Grunde konzentrierten sich die ersten Untersuchungen auf die Stabilität der Widerlager. Die anhand der Pendel ermittelten Verschiebungsbeträge deuten an, dass es sich nur um Bewegungen im Zentimeter-Bereich handeln konnte. Es ist dies eine Grössenordnung, die in der Regel durch allgemeine geologische Feldbeobachtungen nicht erfasst werden kann. Aufgrund dieser Beurteilung der Situation musste der Entschluss gefasst werden, Messinstrumente zu versetzen, die eine genaue Abgrenzung der sich bewegenden Felsmassen erlauben würden. Dabei galt es, insbesondere auch die tieferen Felsbereiche zu überwachen, das heisst es kamen nur Instrumente in Frage, die in Sondierungen versetzt werden konnten. Rein oberflächliche Messanlagen hätten zu wenig schlüssige Informationen geliefert. Im folgenden soll das Instrumentarium, das versetzt wurde, kurz geschildert werden:

Bohrungen zur Versetzung von Inklinometern

Zur Überwachung der Widerlager wurden in 4 Querprofilen Inklinometer versetzt. Je ein Querschnitt befindet sich am linken (Bild 5) und rechten (Bild 4) Ende der Mauerkrone, einer in der Mitte des linken Widerlagers und einer in der Fortsetzung des linken Widerlagers (Bild 6). In jedem Querschnitt wurden mindestens 2 Messeinrichtungen versetzt, so dass die zwei Punkte in den Inklinometern in Verbindung mit einem Präzisionspolygonzug parallel zum instrumentierten Profil eine vollständige Erfassung einer allfälligen Gleitfläche erlauben würden. In den 3 wichtigsten Profilen wurden in je zwei senkrechten, von der Oberfläche aus vorgetriebenen Bohrungen Inklinometer-Rohre des Systems Digitilt (= Slope Indicator) eingebaut (Bilder 4

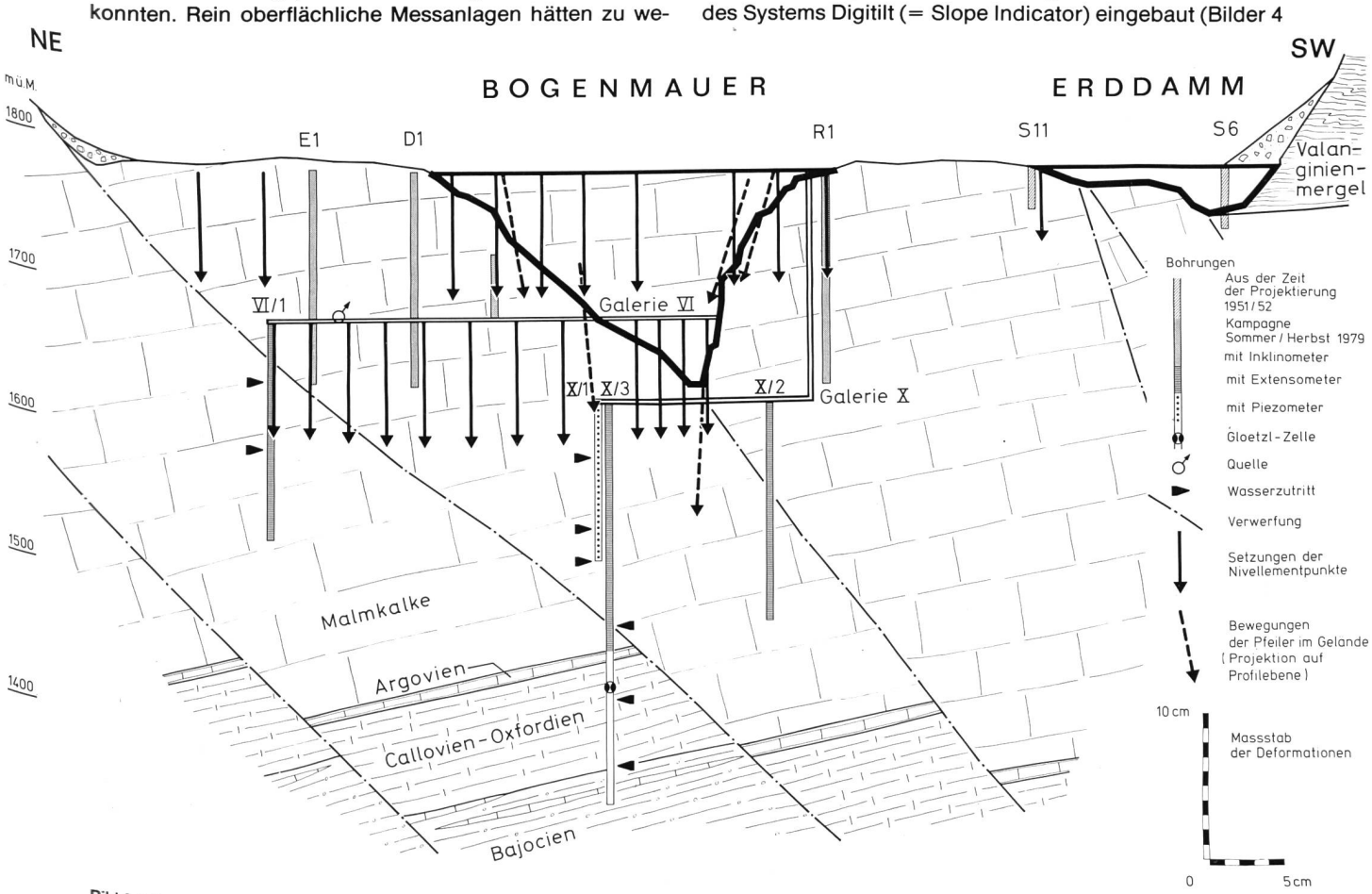

Bild 6. Längsprofil durch den Riegel von Zeuzier, Deformationen zwischen den Messungen G und K, das heisst von 1972 bis Herbst 1979, siehe Beitrag *Egger*.

und 5). Im mittleren Profil des linken Widerlagers wurde von einer Galerie aus von unten nach oben ein Fächer gebohrt. Dies zu einer Zeit, als in Zeuzier noch so viel Schnee lag, dass Aussenarbeiten nicht möglich waren. Von den drei Bohrungen wurde eine, die steilste, ebenfalls mit einem «Slope Indicator»-Rohr versehen, während in den stärker geneigten Bohrungen je ein «Shear-strip» eingebaut wurde.

Bohrungen zur Versetzung von Extensometern

Als in einer späteren Phase der Untersuchungen anhand der von *K. Egger* in diesem Heft beschriebenen geodätischen Deformationsmessungen erkannt wurde, dass die Bewegungen der Mauer primär auf ein grossräumiges Setzungsphänomen des Felskörpers zurückzuführen sind, wurde versucht, durch Versetzen von Extensometern in von Galerien aus vorgetriebene Bohrungen die Setzungsvorgänge im Felsuntergrund zu erfassen. Zu diesem Zwecke wurden in zwei Bohrungen VI/1- und X/2-Extensometer des Systems Uni-Rod mit Längen von 150 m versetzt (Bild 6). Mit diesen Längen wurde der Grössenbereich der Instrumente nahezu ausgeschöpft. Es handelt sich um 8fach-Extensometer, so dass rund alle 20 bis 30 m ein Fixpunkt festgelegt werden konnte.

Bohrung zur Erfassung des Sperrenuntergrundes

Den Unterlagen aus der Zeit der Projektierung der Mauer ist nicht eindeutig zu entnehmen, ob mit den damaligen Sondierungen der Untergrund des Malms erfasst worden war. Aus diesem Grunde wurde von der untersten Galerie X aus eine 280 m lange Bohrung (X/3) soweit vorgetrieben, bis sie sicher Bajocien erreichte und damit der Aufbau des ganzen Riegeluntergrundes abgeleitet werden konnte (Bild 6). In die Bohrung wurde ferner ein 170 m langes Extensometer eingebaut.

Piezometer

Die Bohrung X/1, die ursprünglich für den Einbau eines Extensometers vorgesehen war, musste aus technischen Gründen in ungenügender Tiefe aufgegeben werden (Bild 6). Da die Bohrung einige Wasserzuflüsse zeigte, wurden darin 2 Piezometer versetzt. Als weiteres Piezometer wurde in der oben erwähnten langen Bohrung X/3 in 196 m Tiefe eine Glötzl-Zelle eingebaut; dies aufgrund der Feststellung, dass im Grenzbereich Callovien/Oxfordien-Bajocien Wasseraustritte unter Druck vorhanden sind.

Bohrungen zur Erfassung der Betonqualität und des Kontaktes Beton/Fels

Es wurde versucht, die Mehrzahl der Bohrungen zur Erfassung der Betonqualität so anzulegen, dass gleichzeitig der Zustand des Kontaktes Beton/Fels überprüft werden konnte (im Bild 6 nicht eingetragen).
Insgesamt wurden im Sommer und Herbst 1979 1769 m gebohrt. Davon entfallen 964,6 m auf die Erfassung der Widerlagerstabilität, 304,0 m auf den Einbau von Setzungsmessgeräten, 280 m auf die Abklärung des Aufbaues des Untergrundes des Riegels, 110 m auf die Versetzung von Piezometern sowie 110,4 m auf Betonproben und den Kontakt Beton/Fels.

Geologische Feldaufnahmen

Ergänzt wurden die Sondierarbeiten durch geologische Feldaufnahmen im engeren und weiteren Bereich der Sperrenstelle. Sie dienten insbesondere der Konstruktion der Querprofile und der Interpretation der Bohraufschlüsse.

4. Resultate der Untersuchungen im Sommer und Herbst 1979

Die Resultate der Untersuchungen im Sommer und Herbst 1979 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Inklinometer

Die Inklinometer-Messungen haben gezeigt, dass sich die Widerlager – abgesehen von den grossräumigen Setzungsvorgängen (siehe Beitrag *K. Egger*) – bis heute in Ruhe befinden. Sie lassen keine Anzeichen irgendwelcher Instabilitäten in Form von lokalen Gleitbewegungen erkennen.

Extensometer

Über die Extensometer liegen nur kurzfristige Beobachtungen in den Monaten Oktober bis Dezember 1979 vor. Bisher sind keine Hinweise auf ausgeprägte Kontraktionen oder Dilatationen im überwachten Felsbereich vorhanden. Es ergibt sich daraus, dass die von *K. Egger* beschriebenen Setzungen sich heute in einem tieferen Felsbereich abspielen müssen als der von den Extensometern erfasste. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, bzw. ist sogar sehr wahrscheinlich, dass früher ein wesentlicher Teil der Setzungen sich im Malm und damit auch im heute von den Extensometern erfassten Felsbereich abspielte.

Piezometer

Die Piezometer lassen Wasserdrucke an der Bohrlochmündung X/1 erkennen, die 2 bis 4 atm betragen. Die Glötzl-Zelle ihrerseits deutet einen Wasserdruck an, der um rund 5 atm grösser ist als er der Niveaudifferenz zwischen dem Stollen und der Zelle zukommen würde. Die 5 atm Überdruck entsprechen ziemlich genau der Wassersäule zwischen dem abgesenkten Stau und der Galerie X, von der aus die Bohrung X/3 vorgetrieben wurde.

Kontakt Beton/Fels

Von den 6 Bohrungen, die zur Überprüfung des Kontaktes Beton/Fels abgetieft wurden, zeigen 2 einen vollständig erhaltenen Kontakt; 2 Anzeichen für das Vorhandensein einer Ablösung und 2 mit Sicherheit eine Ablösung. Es ergibt sich aus diesen Untersuchungen, dass in Zukunft der Kontakt Beton/Fels genauer überprüft werden muss.

Felsqualität

Die an den Bohrkernen ermittelten RQD-Werte (Rock Quality Designation) lassen erkennen, dass sich der Malm praktisch durchwegs in ausgezeichnetem Zustande befindet (RQD $>$ 90 %). Selbst in den von unten nach oben vorgetriebenen Bohrungen ist der Felszustand noch mittel bis gut. Ein deutlicher Abfall der RQD-Werte wurde in der tiefen Bohrung X/3 mit dem Erreichen der Untergrenze des Malms festgestellt. Er zeigt die schlechtere Qualität der stärker schiefrigen Gesteine an. Als beachtlich ist die weitgehende Übereinstimmung der RQD-Werte in den beiden benachbarten Bohrungen X/1 und X/3 zu bewerten.
Die ermittelten RQD-Werte lassen erkennen, dass der ausgezeichnete Zustand des Felskörpers durch die festgestellten Verformungen nur wenig gelitten hat. Es dürfte dies hauptsächlich auf die grossräumige Form der Bewegungen, die nur untergeordnet lokal zu Zerbrechungen führte, zurückzuführen sein.

Wasseranalysen

Anhand mehrerer chemischer Wasseranalysen konnten folgende Zusammenhänge festgestellt werden:

Das Seewasser weist eine von allen anderen Vorkommen abweichende schwache Mineralisation auf.
Die Wasseraustritte in den Bohrungen im Malm und die Quelle im Injektionsstollen (Bild 6) sowie eine Quelle oberhalb des Stausees auf der linken Talseite besitzen einen vergleichbaren Chemismus.
Einen vollständig abweichenden Chemismus mit sehr hoher Natrium-Bikarbonat-Mineralisation weist die Quelle im tiefsten Bereich der langen Bohrung X/3 an der Grenze Callovien/Oxfordien-Bajocien auf. Ihr Chemismus stimmt weitgehend mit demjenigen der Wasseraustritte im Sondierstollen Rawil überein.

Seismische Studien

Vom 30. April bis 4. Mai 1979 betrieb das Institut für Geophysik an der ETH, Zürich, 2 bis 3 Stationen im Gebiet des Riegels von Zeuzier. Sie zeigten die seit längerer Zeit bekannte stärkere Aktivität des Rawilgebietes [6] [7] [8]. Im weiteren erbrachten die Messungen den Nachweis von seismischen Ereignissen im engeren Bereich des linken Widerlagers. Aufgrund dieser erfolgversprechenden Befunde wird von demselben Institut seit Ende August 1979 der Riegel des linken Widerlagers mit einem engen permanenten Netz von 3 Stationen überwacht.
Im Dezember 1979 wurde das bestehende Netz durch 2 Stationen, die eine in Montana, die andere in Anzère, erweitert. Diese erlauben in Verbindung mit den bereits bestehenden Stationen eine grossräumige Überwachung der Region. Auswertungen der Registrierung dieser Stationen liegen naturgemäss vorläufig nicht vor.
Ferner betreibt der schweizerische Erdbebendienst seit 1974 eine relativ empfindliche Station Sierre, rund 4 km von der Stauhaltung entfernt. Die Resultate einer statistischen Auswertung der Registrierung von Anfang 1978 bis Ende 1979 durch das Institut für Geophysik ergeben kurz zusammengefasst folgendes:
Beginnend mit dem Beben vom 30. September 1978 zeichnet sich Ende September/Anfang Oktober 1978 eine verstärkte Seismizität ab. Sie ist rund 3mal grösser als diejenige vor dem September 1978. Ferner ist die Streuung der seismischen Effekte pro Beobachtungsperiode von 30 Tagen nach dem September 1978 wesentlich grösser als vorher. Das Einsetzen der erhöhten Seismizität kann sehr wohl mit den grossen Wassereinbrüchen von Ende September 1978 im Rawilstollen in Beziehung gebracht werden.
Die Kurven der Auslenkungen der Pendel P1, P2 und P3 des mittleren Pendels, wie sie im Bericht *O. Gicot* präsentiert werden, zeigen übereinstimmend gewisse Perioden verlangsamter Bewegungen (Verflachungen), die mit Perioden verstärkter Bewegungen abwechseln. Interessanterweise lässt sich für den gesamten Zeitabschnitt eine recht gute Übereinstimmung zwischen den Geschwindigkeiten der Pendelauslenkungen und den Häufigkeiten der seismischen Ereignisse einer Auswertegruppe erkennen. Perioden mit erhöhter Geschwindigkeit zeichnen sich durch erhöhte Seismizität ab; Perioden mit einer verlangsamten Geschwindigkeit mit einer Reduktion der Häufigkeit der Beben.

5. Ursachen der Mauerdeformationen

Aus den Beiträgen *O. Gicot* und *K. Egger* in diesem Heft in Verbindung mit den im vorliegenden Bericht geschilderten Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen ergibt sich, dass eine Erklärung der Ursachen der Deformation des Felskörpers und damit der Schäden der Mauer folgenden Tatsachen Rechnung zu tragen und hierfür ein möglichst widerspruchsloses Bild zu liefern hat:

1. Der Grösse und homogenen Form der Setzungsmulde entlang der Achse des Riegels von Zeuzier.
2. Der Reduktion der Setzungen in Richtung Talflanke.
3. Der Konvergenz der Talflanken, sowohl über den ganzen Talquerschnitt, wie auch im engen Bereich der Schlucht der Lienne.
4. Dem geologischen und strukturellen Aufbau des engeren und weiteren Gebietes von Zeuzier.
5. Den hydrogeologischen Gegebenheiten des engeren und weiteren Gebietes von Zeuzier.
6. Dem bisherigen zeitlichen Verhalten der Deformationen der Staumauer, so insbesondere folgende Phasen:
   a) der Ruhe von 1959 bis zur Jahreswende 1977/78
   b) den Anzeichen von Instabilitäten von der Jahreswende 1977/78 bis Ende September 1978
   c) dem unvermittelten Einsetzen von starken Bewegungen im Oktober 1978
   d) der Beschleunigung der Bewegungen im Januar und Februar 1979
   e) dem allmählichen mehr oder weniger kontinuierlichen Abklingen der Bewegungen ab März 1979
7. Dem Fehlen von Instabilitäten in Form von Gleitvorgängen in den Mauerwiderlagern.
8. Dem Fehlen von ausgeprägten Kontraktionen und Dilatationen im näheren Untergrund der Sperre in der bisherigen Beobachtungsphase.
9. Dem Fehlen ausgeprägter seismischer Ereignisse in der Zeitspanne der stärksten Bewegungen, das heisst vom Oktober 1978 bis März 1979.
10. Der erhöhten Mikroseismizität seit Ende September 1978.

Die Expertengruppe hat sich bemüht, unter den vielen vorhandenen geologischen Möglichkeiten zu ermitteln, welche den obigen Bedingungen am besten enspricht. Sie hat viele Hypothesen ausschliessen müssen und kommt zum eindeutigen Schlusse, dass die Ursache in den hydrogeologischen Veränderungen im Gebirge durch den Vortrieb des Rawilstollens zu suchen ist.
Die Geodäsie hat gezeigt, dass eine grossräumige Setzungsmulde vorliegt (siehe Beitrag *K. Egger* und Bild 6). Diese entspricht sehr schön den Setzungserscheinungen, wie sie in den Lockergesteinen im Zusammenhange mit Grundwasserabsenkungen recht häufig beobachtet wurden. Es sei in dieser Beziehung nur an die kalifornischen Grundwasserabsenkungen erinnert [9] [10]. Es wird jedoch in der Literatur auch von einer Grundwasserabsenkung in einem verkarsteten Kalkkörper in Algerien berichtet, die unter Kontrolle durchgeführt wurde. Bei dieser traten die genau gleichen Phänomene auf wie sie in Zeuzier registriert wurden [11] [12].
Die Staumauer liegt in der strukturellen Fortsetzung einer Antiklinalen im Malm, die vom Sondierstollen Rawil durchfahren wurde (Bild 7). Die Geologie lässt sich eindeutig vom Stollen in den Bereich der Mauer projizieren. Es besteht demnach eine echte Beziehung zwischen der Geologie des Sperrenbereiches und der Geologie des vom Rawilstollen durchfahrenen Gebirges (Bild 8). Markant ist die deutliche Aufwölbung innerhalb der Serien der Wildhorndecke mit einem Kern von Aalénien im Stollen, die allerdings im Bereich der Mauer nur bis ins Callovien/Oxfordien reicht (Bild 4). Die Aufwölbung ist zudem im Bereich der Mauer ausgeprägter, enger und deshalb auch schmaler. Für beide Fälle ist typisch, dass der Antiklinalkern durch eine Verwerfung zerschert ist.

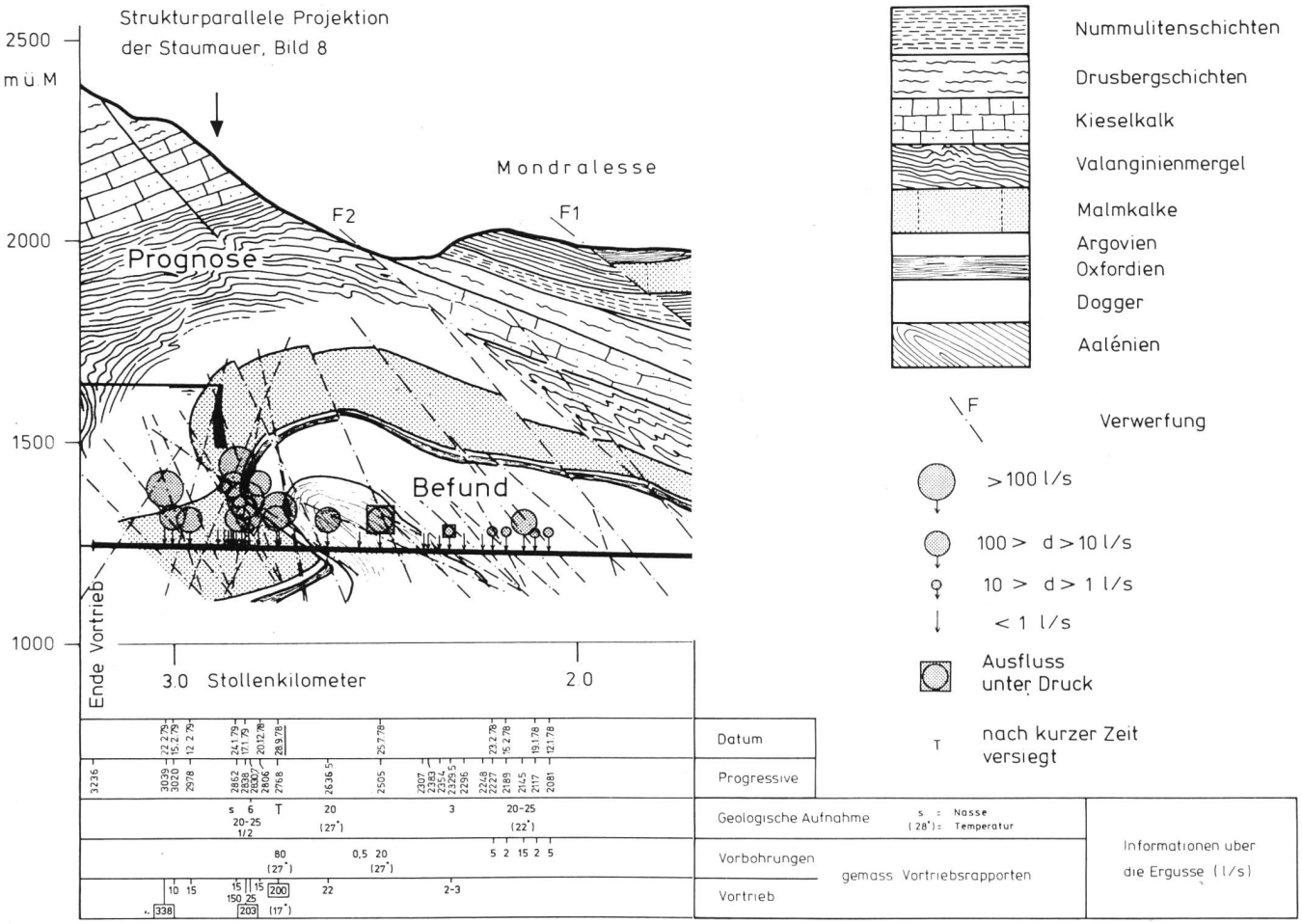

Bild 7. Geologisches Profil durch den Rawilstollen. Im aufgefahrenen Stollenabschnitt gemäss Befund, im noch nicht aufgefahrenen gemäss Prognose *Badoux* und *Nabholz* (zusammengestellt aus den vom Baudepartement des Kantons Wallis zur Verfügung gestellten Unterlagen).

Bezüglich des Stollenprofils muss allerdings berücksichtigt werden, dass man gezwungen war, aus dem kleinen Tunnel auf einen grösseren Gebirgsbereich zu extrapolieren. Es darf jedoch festgehalten werden, dass die Geologie bei der Staumauer mit derjenigen des Sondierstollens recht gut übereinstimmt.

An dieser Stelle muss einmal ausdrücklich festgehalten werden, dass der kürzeste horizontale Abstand zwischen dem Stollen und der Mauer 1400 m beträgt und bei Tkm 2,5 bis 2,6 erreicht wurde. Die Niveaudifferenz beträgt rund 400 m. Der Vortrieb des Stollens wurde Ende März 1979 bei Tkm 3,236 gestoppt.

Erstaunlich ist vor allem die sehr enge zeitliche Übereinstimmung zwischen den Bewegungen der Mauer und den Wasseraustritten in den Stollen. Am 12. Januar 1978, das heisst genau zu Beginn des Einsetzens der ersten Bewegung der Mauer (siehe Beitrag *Gicot*), wurden nach einer längeren trockenen Strecke vom Stollen Wasser angefahren. Anschliessend wurden immer wieder Wasservorkommen angetroffen. Es ist dies die erste zeitliche Übereinstimmung.

Im weiteren wurden die Auslenkungen der Pendel in Beziehung zu den Wasserzuflüssen im Sondierstollen gebracht (Bild 9). Aus dieser ist ersichtlich, dass der Beginn der grossen Zuflüsse Ende September 1978 mit dem Einsetzen der starken Bewegungen Anfang Oktober zeitlich übereinstimmt. Die Bewegungen erfuhren eine Beschleunigung, als im Januar 1979 erneut grössere Wasservorkommen angefahren wurden.

Dasselbe kann – allerdings in weniger ausgeprägtem Masse – für den Februar 1979 beobachtet werden. Nachdem der Stollenvortrieb Ende März 1979 eingestellt wurde, ist praktisch nur noch eine kontinuierliche Abnahme sowohl der Wasserzuflüsse wie auch der Bewegungsgeschwindigkeit der Mauer festzustellen.

Es zeigt sich aus dieser Schilderung, dass weitere 3 Zeitpunkte bzw. Perioden vorhanden sind (Oktober 1978, Januar 1979, ab Ende März 1979), bei denen eine strenge Relation besteht zwischen den Bewegungen der Mauer und den Wasseraustritten im Sondierstollen, und es gibt einen weiteren Zeitpunkt, den Februar 1979, bei dem die Relation etwas unsicherer ist.

Wird nun die Frage nach dem Mechanismus, der sich abgespielt hat, gestellt, so wird dieser so erklärt, dass durch die Drainagewirkung des Stollens in einer ersten Phase der Wasserdruck abgebaut wurde. In einer zweiten Phase trat mit dem Absinken des Bergwasserniveaus eine eigentliche Mehrbelastung des Felskörpers ein, die im Tal der Lienne zu einer Kompression des Felskörpers führte, die sich ihrerseits entweder in bruchlosen Verformungen manifestierte, oder aber im Schliessen der vorhandenen Fehlstellen. Eine Untersuchung über die Zahl der Fehlstellen in den vertikalen Bohrungen im Malm hat ergeben, dass im Mittel 2,18 Fehlstellen je m Bohrung vorhanden sind. Als Fehlstellen werden offene Schichtungen, Klüfte, Ruschelzonen usw. bezeichnet. Der Malm ist rund 400 m dick, was insgesamt zu 872 Fehlstellen führt. Wenn nun die 91 mm Setzung, die gemessen wurden, auf diese Fehlstellen verteilt werden, so ergibt sich eine theoretische mittlere Schliessung pro Fehlstelle von 1/10 mm, das heisst einen sehr kleinen Wert. Aus dieser Aufsummierung von Teilsetzungen wird verständlich, warum sich der ganze Riegel so

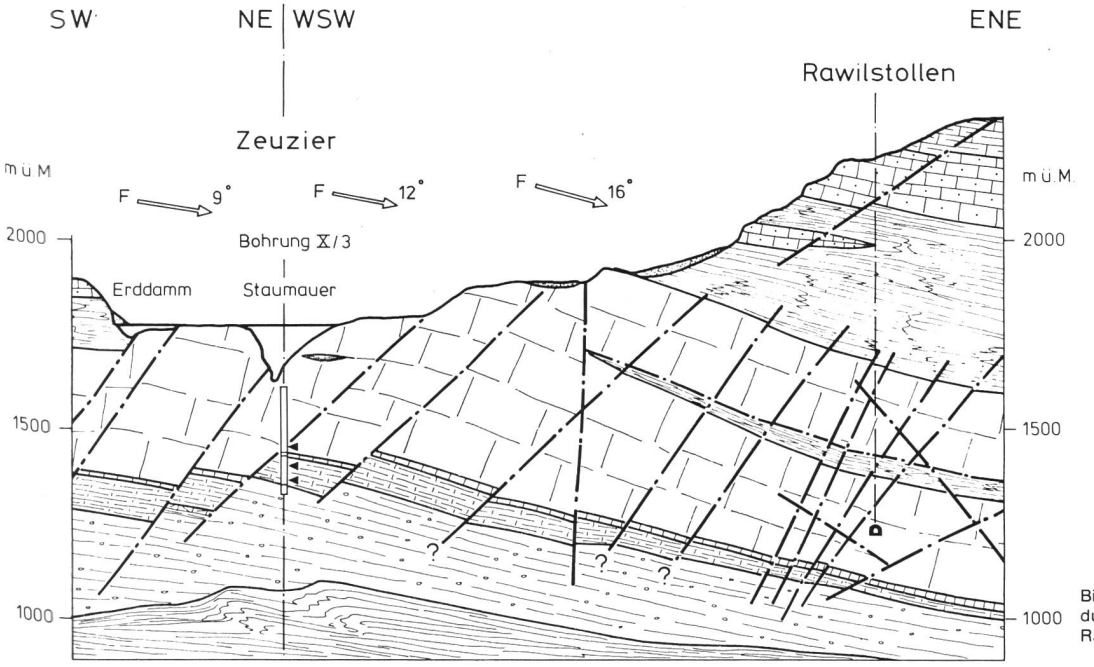

Bild 8. Geologisches Profil durch die Sperrenstelle und den Rawilstollen.

schön homogen setzt. Diese Beobachtungen beschränken sich auf den Malm. Nach den Extensometer-Messungen ist jedoch bekannt, dass sich heute die Setzungen vorwiegend in den tieferen Felspartien abspielen, das heisst auch in den unterhalb des Malms vorliegenden Serien. Damit werden die pro Fehlstelle im Malm notwendigen Schliessungsbeträge noch kleiner, die Modellvorstellung entsprechend plausibler.

Die Frage warum sich der Abschnitt in der Talmitte stärker setzt als in den Talflanken, das heisst die Bewegungen in Richtung Talflanken abnehmen, lässt sich anhand der Modellvorstellungen folgendermassen beantworten: Aufgrund der Überlagerung kam es beim seinerzeitigen Aufbau der Kluftwasserdrucke gar nicht dazu, dass sich bei stärkerem Überlagerungsdruck die Fehlstellen öffneten. Sie blieben geschlossen, und weil sie geschlossen waren, konnten sich bei Druckabfall keine stärkeren Setzungsvorgänge einstellen.

Bis heute ist nicht bekannt, welcher Gebirgsteil gesamthaft vom Setzungsvorgang erfasst wurde. Es ist einzig festzustellen, dass in Richtung Talflanken die Setzungsbeträge abnehmen. Es wäre erwünscht, wenn anhand weiterer Studien die ganze Setzungsmulde erfasst werden könnte.

Die Verengung der Schlucht und der Talflanken sind eine rein geometrische Folge der entstandenen Setzungsmulde.

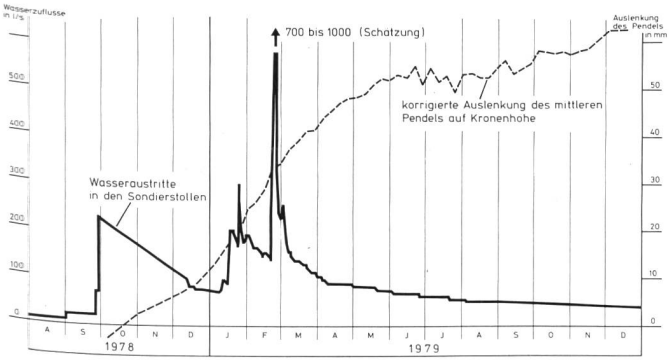

Bild 9. Die zeitliche Entwicklung der Deformationen der Mauer und der Zuflüsse zum Rawilstollen.

Weiter erklärt die Modellvorstellung den Grund dafür, dass der Setzungsvorgang nicht mit einem grösseren seismischen Effekt verbunden war, das heisst einem Effekt von Magnitude≥3. Es fehlt hierzu ein spontaner Bewegungsvorgang an einer ausreichend ausgedehnten Einzelstörung. Die geschilderte Vorstellung zeigt im Gegenteil, dass kleine Teilsetzungen vorliegen müssen, die befähigt sind Mikrobeben auszulösen. Diese erklären die registrierte erhöhte Mikroseismizität, die von der Station Sierre erfasst wurde.

Das heutige Fehlen ausgeprägter Deformationen im von den Extensometern erfassten Sperrenuntergrund ist vorläufig nicht eindeutig. Die Beobachtung lässt sich so erklären, dass offensichtlich im Malm die Setzung im Zeitpunkte des Beginns der Extensometer-Messungen bereits weitgehend abgeklungen waren, während im tieferen Bereich mit weniger durchlässigen Serien (zum Beispiel Bajocien) sich die Setzungsvorgänge heute noch abspielen.

Die Expertengruppe ist überzeugt, dass die Modellvorstellung des Eingriffes in die Bergwasserverhältnisse mit keiner der oben erwähnten 10 Forderungen im Widerspruch steht. Die Erklärung der Ursache der Deformation erhält dadurch einen hohen Wahrscheinlichkeitsgrad.

Die Modellvorstellung wird vom bereits erwähnten Beispiel in der Literatur [11] [12] noch insofern zusätzlich untersützt, als in Zeuzier bei einer theoretischen Niveauabsenkung von 400 m (Höhendifferenz zwischen Sondierstollen und Mauer) eine gesamte Setzung von rund 100 mm zu erwarten ist, während im erwähnten Beispiel 100 m künstliche Absenkung zu einer Setzung von 25 mm führten. Die Verhältnisse zwischen Absenkung und Setzungsbetrag entsprechen sich somit.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, dass das künftige Geschehen im Sondierstollen Rawil einen sehr starken Einfluss auf die Arbeiten an der Staumauer ausübt. Nach der in der Prognose zu erwartenden Geologie besteht aufgrund der geschilderten Modellvorstellungen ein Risiko bei einer Fortsetzung des Vortriebes des Sondierstollens hinsichtlich weiterer Beschädigungen der Mauer so lange, bis das ganze Los Süd und die letzten 900 m des Loses Nord aufgefahren sind. Es wird Sache der Behörden sein, zu überprüfen, ob dieses Risiko, das anhand der geologi-

schen Gegebenheiten nicht wegdiskutiert werden kann, eingegangen werden soll oder nicht.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Untersuchungen im Zusammenhange mit den Deformationen der Staumauer Zeuzier lassen eine sehr schöne Kohärenz aller Messungen und auftretenden Deformationen erkennen. Die Ursache der Bewegungen konnte anhand einer einfachen Modellvorstellung widerspruchslos mit allen Beobachtungen erklärt werden. Als auslösendes Moment für den grossräumigen Setzungsvorgang im Felskörper werden die Eingriffe in das Bergwasservorkommen durch den Vortrieb des Rawilstollens betrachtet.

Unter der Voraussetzung, dass sich die äusseren Bedingungen nicht verändern, das heisst insbesondere, dass auf einen weiteren Vortrieb des Rawilstollens verzichtet wird, könnte im Sommer 1981 mit den Reparaturarbeiten begonnen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt dürften die Setzungsvorgänge weitgehend abgeklungen sein.

Von geologischer Seite werden sich die Arbeiten im Sommer 1980 auf eine Überprüfung des Zustandes des Dichtungsschirmes und des Kontaktes Beton/Fels konzentrieren. Der Weiterverfolgung der Verformungen und deren geologischer Deutung kommt jedoch nach wie vor eine grosse Bedeutung zu.

Literatur

[1] *Lugeon, M.*: Carte géologique des Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander, 1 : 50 000, Carte spéciale No 60, publiée par la Comm. géol. Suisse (1910).

[2] *Lugeon, M.*: Les Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander, Mat. Carte géol. Suisse, Nouv. série, livr. 30, fasc. II (1916), fasc. III (1918).

[3] *Badoux, H.*: L'Ultrahelvétique au Nord du Rhône valaisan, Mat. Carte géol. Suisse, Nouv. série, livr. 85 (1946).

[4] Atlas géologique de la Suisse, 1 : 25 000, Feuille «St-Léonard», Publiée par la Commission géologique Suisse (1959).

[5] *Wildberger, A., Badoux, H.* und *Nabholz, W.*: Zur Karst-Hydrogeologie im Gebiet des Rawilpasses (Berner Oberland und Wallis), «Eclogae geol. Helv.» Vol. 71/2 (1978).

[6] *Pavoni, N.* und *Mayer-Rosa, D.*: Seismotektonische Karte der Schweiz 1 : 750 000, «Eclogae geol. Helv.» Vol 71/1 (1978).

[7] *Pavoni, N.*: Erdbeben im Gebiet der Schweiz, «Eclogae geol. Helv.» Vol. 70/2, (1977).

[8] *Pavoni, N.*: An investigation of microearthquake activity in the Central Valais (Swiss Alps), Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc, A–5 (116), (1977).

[9] *Golze, A. R.*: Land subsidence – why the state is concerned, Landslides and subsidence, Geologic Hazards Conference, May 26th and 27th, Los Angeles, California (1965).

[10] *Lofgren, B.*: Subsidence related to groundwater withdrawal, Landslides and subsidence, Geologic Hazards Conference, May 26th and 27th, Los Angeles, California (1965).

[11] *Ribes, G.*: Etat actuel de l'experimentation au Chott Chergui, «Terres et Eaux», No 27 (1956).

[12] *Gevin, P.*: La seismicité induite par les lacs reservoires dans son contexte géologique, dynamiquement consideré, «Revue française de Géotechnique», No 7 (1979).

Adresse des Verfassers: Dr. *Toni R. Schneider*, Beratender Geologe, Rütihofstrasse 53, 8713 Uerikon.

Heimfall und Rückkauf von Wasserkraftwerken im Kanton Aargau

Heinz Meier[1]

Einleitung

Die Erteilung von Konzessionen oder Verleihungen von Wassernutzungsrechten ist im Aargau gemäss Verordnung zum Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte Sache des Regierungsrates. Bei grösseren Werken über 2000 PS ist die Genehmigung des Grossen Rates erforderlich. Der Vollzug des Bundesgesetzes und der kantonalen Verordnungen auf diesem Gebiet ist dem Baudepartement übertragen. Bei Grenzkraftwerken erteilt der Bund die Konzessionen, gleichsam als Treuhänder und Interessenvertreter des Kantons. Bisher ist man praktisch so vorgegangen, dass die beiden Grenzstaaten Schweiz und Baden-Württemberg (bzw. Grossherzogtum Baden bei den alten Werken) sich abgesprochen und der Kraftwerkgesellschaft je eine praktisch gleichlautende Konzession über die ganze Staustufe erteilt haben.

Die grenzüberschreitende Zusammenarbeit stützt sich auf die «Übereinkunft betreffend Wasserverkehr auf dem Rhein von Konstanz bis unterhalb Basel vom 10. Mai 1879». In Art. 5 dieser Übereinkunft ist eine bilaterale Konsultation über alle geplanten Baumassnahmen am und im Rhein festgelegt. Diese Nebenbestimmung hat immer mehr an Bedeutung gewonnen und 1920 zur Bildung einer Kommission geführt, die alle grundsätzlichen, rechtlichen und wirtschaftlichen Fragen zu behandeln hat.

In dieser sogenannten *Grossen Kommission* ist der Kanton Aargau durch die Baudirektion vertreten. Sie wird auf Schweizer Seite vom Bundesamt für Wasserwirtschaft geleitet und hat bis jetzt 32 Sitzungen durchgeführt. Schon an der ersten hat sie eine Subkommission gebildet, die sogenannte *Kleine Kommission.* In dieser sind die Rheinkantone durch ihre Verwaltungsabteilungen vertreten. Die Leitung hat ebenfalls das Bundesamt für Wasserwirtschaft. Diese Kleine Kommission hat bis jetzt 165mal getagt. Sie behandelt in der Regel zweimal jährlich die laufenden Probleme und kommt abwechslungsweise in der Schweiz und in Deutschland zusammen. Auf deutscher Seite sind Fachleute des Regierungspräsidiums Freiburg Kommissionsmitglieder.

In allen Konzessionen für Rheinkraftwerke sind, vor allem auf Betreiben der Schweizer Seite, sogenannte Heimfall- und nach 1917 auch Rückkaufsbestimmungen aufgenommen worden.

Die *Heimfallbestimmungen* regeln das Schicksal des Werkes nach Ablauf der Konzession, die in der Regel auf 80 Jahre erteilt ist. Die Konzession beinhaltet immerhin ein wertvolles sogenanntes wohlerworbenes oder eigentumsähnliches Recht an einem öffentlichen Gut, eben der Wasserkraft. Der Staat als Vertreter der Allgemeinheit darf ein solches Recht nicht für immer aus der Hand geben. Nach Ablauf der Konzession kann er die Anlagen beseitigen lassen, dem bisherigen Konzessionär oder einem neuen übertragen oder das Werk selber betreiben. Wenn man sich nicht einigen kann, so tritt der Heimfall an den Staat automatisch ein, und zwar gehen die baulichen Anlagen entschädigungslos an die Staaten über, während für die Einrichtungen zur Erzeugung und Fortleitung der Energie

[1] Vortrag, gehalten am 22. März 1980 an einer Tagung über Energiefragen in Zurzach; Ergänzung vom 30.7.1980.