Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 48 (1956)
Heft: 7-9

Artikel: Die geologische Beurteilung von Sperrstellen und Speicherbecken
Autor: Staub, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921500

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: 07.01.2026

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

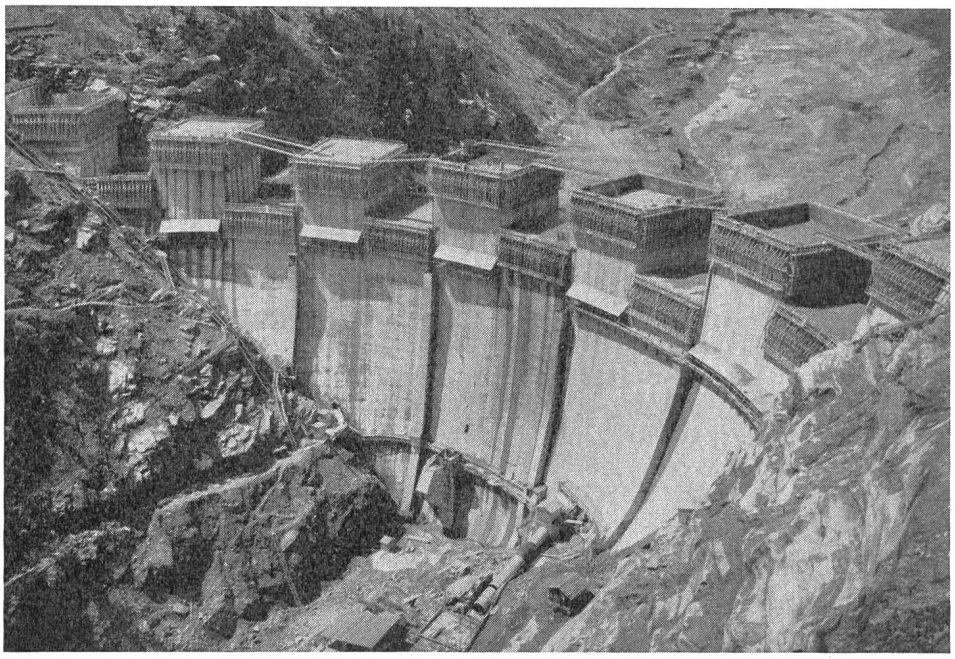

Abb. 14 Staumauer Zervreila, Bauzustand Ende Mai 1956 (siehe vorgängigen Artikel)

Die geologische Beurteilung von Sperrstellen und Speicherbecken

Prof. Dr. *Rudolf Staub*, ETH, Zürich

Sperrstellen und Speicherbecken spielen in unserem Zeitalter einer stürmischen Entwicklung der Energieproduktion durch moderne Wasserkraftanlagen eine entscheidende wirtschaftliche Rolle. Aber nur relativ selten sind jene Sperrstellen und Speicherbecken in unseren Alpen, die sich durch ihre geologische Beschaffenheit zu einer bedeutenden und anhaltend gesicherten Wasseraufspeicherung von Natur aus auch wirklich und ohne weiteres eignen. Gewünscht sind naturgemäß hochgelegene Stauräume; dieselben verfügen jedoch sehr oft nur über ein relativ bescheidenes eigenes Einzugsgebiet und müssen daher vielfach künstlich, d. h. durch oft weitreichende Zuleitungen und ausgedehnte Stollensysteme genährt werden. Ausgedehntere natürliche Stauräume finden sich erst in bereits tiefer gelegenen Talabschnitten, wo indes eine größere Speicherung nur durch Überflutung von Kulturland und selbst Siedelungen möglich wird und daher vielfach auf an sich sicher berechtigten Widerstand stößt. Die Auswahl von Sperrstellen und Speicherbecken muß somit schon aus diesen Gründen eine beträchtlich beschränkte sein, will man nicht von vornherein auf massive Widerstände stoßen oder zu unserem Lande fremden diktatorischen Maßnahmen greifen. Eine kluge Planung wird beides zu vermeiden und den modernen Kraftwerkbau mit dem angestammten Wesen unserer Bergbevölkerung in Einklang zu bringen suchen. Erfreulicherweise haben diese Einsichten in den letzten Jahrzehnten sich immer mehr durchgesetzt und dürfen wir heute im allgemeinen mit einem weitgehenden gegenseitigen Verständnis zwischen Bergbevölkerung und Kraftwerkplanung als einem großen, im Grunde aber eigentlich selbstverständlichen Fortschritt nationaler Zusammenarbeit rechnen. Was die Auswahl an geeigneten Sperrstellen und Speicherbecken aber von Natur aus weiter und oft recht unliebsam beschneidet, sind die jeweils für die betreffenden Räume konkret gegebenen geologischen Verhältnisse. Sie genau zu kennen, ist für eine sinngemäße Beurteilung der technischen Grundlagen und Möglichkeiten unerläßlich, für die Ausarbeitung der konkreten Projekte von oft entscheidender Wichtigkeit, für den dauernden Erfolg schlechthin maßgebend.

Sorgfältige geologische Studien sind darum schon in den ersten Projektstadien einzuleiten; sie können manche Enttäuschung und sogar manchen Mißerfolg vermeiden helfen. Voraussetzung dafür ist allerdings peinlichste Sorgfalt der Untersuchung und ein Inerwägungziehen aller geologisch überhaupt nur denkbaren Möglichkeiten durch den Geologen einerseits, ein williges Eingehen der projektierenden Ingenieure und ihrer Auftraggeber auf geologische Gedankengänge und Folgerungen anderseits. Eine auf gegenseitiges Vertrauen und verständnisvolles Eingehen in die Gedankengänge des anderen fundierte Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Geologen kann ein optimales Ergebnis erzielen. Fehlt dieser Wille zur Zusammenarbeit, ist unnützer Streit, geringerer oder gar Miß-Erfolg samt oft sehr beträchtlichen Mehrkosten nur zu oft die unvermeidliche und wenig gefreute Folge. Ingenieur und Geologe müssen sich verstehen; sie dürfen nicht in unfruchtbarer Diskussion aneinander vorbei eine grundverschiedene Sprache reden: der eine muß die Beweggründe des andern zu respektieren suchen und der andere die Argumentation des einen berücksichtigen. Technische und geologische Belange sind objektiv gegeneinander abzuwägen, um schließlich in gegenseitigem

Verstehen die beste Lösung zu finden. Der Geologe soll nichts behaupten, zu dem er nicht absolut stehen kann; er darf und soll in so und so vielen Fällen offen und freimütig zugeben, daß er das und jenes nicht zu sagen oder zu beurteilen vermag, er muß die Grenzen seines Wissens, die schließlich jedem gesetzt sind, in jedem Falle erkennen und ehrlich dazu stehen. Dann fallen viele Mißverständnisse und Ungefreutheiten von selber weg. Der Ingenieur aber soll wissen, daß auch der erfahrenste Geologe ihm nur ein williger Helfer, aber kein Zauberkünstler sein kann, der die geologisch gegebenen Dinge etwa grundlegend oder vielleicht auch nur ein bißchen zu ändern vermöchte. Der Ingenieur wird die Offenheit des Geologen auf die Länge zu schätzen wissen und ihm in solchen Fällen die notwendige weitere Abklärung durch Sondierungen und zusätzliche Untersuchungen nicht versagen. Gewisse Aufschlüsse, die die Natur ihm einfach nicht gibt, muß der Geologe von sich aus verlangen, sonst darf er mit ruhigem Gewissen kein Urteil fällen. Verständnisvolle Zusammenarbeit von Ingenieur und Geologe ist somit die beste Grundlage für den endlichen und dauernden Erfolg, aber es ist ebenso selbstverständlich, daß für eine sachgerechte Beurteilung aller dieser den Ingenieur interessierenden Fragen nur Geologen mit langjähriger eigener Aufnahmetätigkeit im Gebirge und der nötigen technischen Erfahrung zugezogen werden sollten. Tatsächlich erfreuen sich heute solche Geologen seit einer langen Reihe von Jahren, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, einer solchen verständnisvollen Zusammenarbeit mit den Ingenieuren. Bei dieser Gelegenheit soll einmal der Dank des Geologen an die Ingenieure und die Bauherrschaften für ihr Vertrauen ausgesprochen sein.

* * *

Gewünscht wird im Kraftwerkbau ein möglichst großer Speicherraum und eine möglichst eng gehaltene Sperrstelle, an welcher mit der kleinstmöglichen Kubatur des zu schaffenden Abschlußorgans die größte Speicherung erzielt werden kann. Eine Tal*enge* hat somit prinzipiell vor einem relativ weiten Tal*becken* zu stehen. Talengen und Talbecken können aber auf ganz verschiedene Weise entstehen und ihr Dasein ganz verschiedenen geologischen Vorgängen verdanken, sich in bezug auf ihre Eignung zu gesicherter und dauernder Wasserspeicherung deshalb aber auch sehr verschieden verhalten. Diese grundlegenden Dinge sind heute im allgemeinen zwar wohl an sich bekannt und ohne weiteres auch einem großen Kreise begreiflich, aber die geologische Untersuchung zeigt, daß im Grunde eben jeder konkrete Fall wieder anders geartet und durchaus individuell gestaltet ist. Das mag banal tönen, ist aber unbedingt allgemein zur Kenntnis zu nehmen und wird im modernen Kraftwerkbau ja auch als etwas Selbstverständliches immer mehr berücksichtigt.

Die von der Technik gesuchten weiten Talbecken sind an sich schon früher einmal durch irgendwelche Vorgänge eingestaute Talabschnitte: entweder enthalten diese Becken noch heute gestautes Wasser in Form eines natürlichen Stausees, oder diese einstigen Stauräume sind im Laufe der Zeit verlandet, d. h. mit jüngerem Kies, Sand, Lehm, Moräne und anderem Schutt, oft auch mit Torflagen durchsetzt, bis zum heutigen Überlaufniveau hinauf gefüllt worden. In jedem Falle verdanken diese einst «natürlich» geschaffenen Stauräume ihre Entstehung einem die alten Talgewässer am normalen Ablauf hindernden Abschluß, der an sich aber auf sehr verschiedene Weise zustande gekommen sein kann. Abstauung eines Talabschnittes durch ins Haupttal vorgeschobene Schuttkegel der Seitenbäche, Abstauung durch Moränenwälle einstiger eiszeitlicher Gletscher, Abstauung durch lokale Rutschungen der Seitengehänge, Stauung des Talgewässers durch Bergsturz- oder auch nur durch langsam abgesackte Felsmassen, Aufstau durch vordringende Seitengletscher, das alles sind Dinge, die einen Stauriegel als solchen wohl schaffen können, der aber in allen diesen Fällen nur aus Schutt bzw. im einen Fall aus Eis besteht, somit aus an sich durchaus vergänglichen und recht mobilen Massen. Eine ganz andere Art von Abstau der natürlichen Talgewässer entsteht durch verschärfte Auskolkung weniger restistenzfähiger Gesteinszonen hinter einem dieser Auskolkung stärker widerstehenden Gesteinskomplex durch selektive Erosionswirkung eines über den heterogen zusammengesetzten Felsgrund hinweg vorstoßenden Gletschers, d. h. durch die sog. «glaziale Übertiefung» eines Tallaufes. Es werden durch diese glaziale Erosion die weicheren Gesteinspartien ausgeräumt, d. h. in verstärktem Maße abgeschliffen, während die härteren Gesteinszonen infolge ihrer Resistenzfähigkeit im allgemeinen Abschliff und damit auch Abtrag zurückbleiben und von da an mehr oder minder breite Schwellen zwischen weit tiefer ausgeräumten Felswannen bilden. Nach dem Rückzug der eiszeitlichen Gletscher aus den betreffenden Gebieten oder schon während desselben füllen sich dann die übertieften Räume mit Wasser und Schutt bis zur tiefsten Überlaufstelle des nächsten talabwärts folgenden Felsriegels, der durch das Talgewässer dann abermals so lange neu zerschnitten wird, bis der normale Abfluß wieder vonstatten gehen kann und dem alten, nun mit Schutt erfüllten Becken damit ein schluchtartiger enger Talabschnitt folgt.

Es können somit am unteren Ende eines zur Speicherung an sich volumenmäßig geeignet erscheinenden Talbeckens ganz verschiedene natürliche Abschlußobjekte vorhanden sein: im einen Falle ein nur relativ wenig zersägter, im übrigen aber durchaus fester Felsriegel; im anderen Fall jedoch nur eine Schuttmasse, d. h. Bergsturz-, Moränen- und Rutschmassen oder auch bloß Schuttkegel. Es kann ein solcher Beckenabschluß aber auch nur *scheinbar* aus Fels bestehen, d. h. etwa aus der Umgebung der höheren Talgehänge *abgesacktem* und durch diesen Vorgang *stark zertrümmertem* Fels, der dann aber nur noch als sog. «Fels» zu bewerten ist. Die großen, heute zur Speicherung in Frage kommenden Talbecken sind durch Felsriegel, durch Bergsturz- und Sackungsschutt oder Moränen, aber auch durch einst mobile, heute jedoch mehr oder weniger zur Ruhe gekommene Rutschmassen abgestaute Räume, während eigentliche Schuttkegel-Abschlüsse nur relativ kleine und unbedeutende «Stauräume» zu erzeugen vermögen oder vielleicht etwa noch rein sekundäre Erhöhungen von stauenden Objekten der ersten Kategorie produzieren können.

Die erste Aufgabe des Geologen besteht somit in der Feststellung: handelt es sich beim heutigen Beckenabschluß um einen anstehenden Felsriegel aus effektiv «gewachsenem» Gebirge, oder wird der Beckenabschluß

durch eine der genannten Schuttmassen-Kategorien oder vielleicht gar durch verschiedene, oft recht heterogene Arten von Schutt gebildet? Im ersten Fall *kann* — unter weiteren günstigen Umständen — ein künstlicher Abschluß und Aufstau des Talbeckens durch eine *Staumauer* in Frage kommen und näher studiert werden; im zweiten Fall ist der Bau einer eigentlichen Stau*mauer* von geologischem Standpunkt aus ausgeschlossen und kann im besten Falle ein *Damm*abschluß auf seine konkreten Möglichkeiten hin weiter geprüft werden. In beiden Fällen aber, ob Schuttabschluß oder Felsriegel, ist die konkrete Zusammensetzung, die Entstehung und die Struktur desselben weiter von entscheidender Bedeutung.

Fels kann gut oder schlecht sein, sich eignen für einen sicheren und vor allem auch wasserdichten Abschluß oder nicht, aber dasselbe gilt im Prinzip auch von einer das Talbecken einstauenden Schuttformation. Gesunder, wenig gequälter, d. h. tektonisch kaum in Anspruch genommener Granit ist nicht dasselbe wie zerklüfteter Kalk oder Sandstein oder Nagelfluh, ist naturgemäß nicht dasselbe wie Mergel und Schiefer. Aber auch Bergsturz oder versackter Fels ist nicht dasselbe wie lehmige Moräne oder Blockmoräne oder eine durch Niedergleiten von solchen Moränen zustande gekommene Moränenrutschung. Im einen Fall ist ein wenigstens im großen dichter künstlicher Abschluß und damit die Schaffung eines Stauraumes im dahinter liegenden Talbecken möglich, im andern Fall aber ist dies völlig aussichtslos.

Zur Beurteilung einer Sperrstelle gehört in erster Linie die Feststellung der näheren Natur des alten, von der Natur gegebenen *Stauriegels*, auf den das neue Sperrobjekt, ob nun Mauer oder Damm, gestellt werden soll. Erst wenn die geologische Untersuchung — und dazu gehören selbstverständlich auch die vom Geologen zu weiterer Auskunft verlangten Sondierungen — für die eigentliche künftige *Sperrstelle* ein günstiges oder doch wenigstens noch einigermaßen zu Hoffnungen berechtigendes Ergebnis gezeitigt hat — genügende Dichtigkeit des Untergrundes, genügende Tragfähigkeit und Stabilität desselben —, erst dann wird es sich lohnen, auch über die Wasserundurchlässigkeit des eigentlichen *Beckens* und der zum Einstau gelangenden *Beckenflanken* nähere Untersuchungen anzustellen. Liegt vor einem an sich durchaus wasserdichten, etwa mit Moräne oder altem Seeton angefüllten alten natürlichen Becken eine lose gefügte Bergsturz- oder Sackungsmasse, dann ist der Fall praktisch aussichtslos; er ist dies aber nicht, wenn ein dichter oder wenigstens mit einigermaßen normalen Mitteln dichtbarer Felsabschluß existiert, oder wenn der Beckenabschluß durch eine stark lehmige Moräne oder selbst durch eine Moränenrutschung von lehmiger Zusammensetzung gebildet wird. In diesem letzteren Falle wird nur die Frage akut: bestehen genügend Garantien dafür, daß diese Moränenmassen oder diese Moränenrutschungen stabil und durch natürliche Setzungen so weit tragfähig geworden sind, daß sie die Auflast eines Dammkörpers auf die Dauer zu ertragen vermögen, oder ob diesen Schuttformationen noch eine gewisse Mobilität eigen ist. Die Frage genügender Tragfähigkeit einer solchen an sich dichten Moränenmasse wird Gegenstand gründlicher erdbaumechanischer Untersuchungen sein müssen; eine eventuell noch vorhandene Mobilität derselben wird durch sorgfältige Fein-Nivellements — natürlich an bestimmt nicht gesondert spazierenden Objekten, unsicheren Gesteinsblöcken etwa — zu überprüfen sein; Sondierstollen haben auch über die effektive Durchlässigkeit und den tatsächlichen Wasserdurchfluß in diesen losen Massen Auskunft zu geben und sind wiederum sehr sorgfältig weiter zu beurteilen. Auch der Einfluß der künftigen Seespiegelschwankungen auf solche Lockermassen oder die Belastung derselben durch den künftigen Straßenverkehr ist schon im Stadium der ersten Untersuchungen gebührend in Rechnung zu stellen. Endlich wird durch ausgedehnte Sondierarbeiten die an sich schon rein aus der Entstehung dieser Lockermassen heraus durchaus verständliche heterogene Natur und Zusammensetzung solcher Schuttmassen sehr eingehend studiert werden müssen. Man hat beispielsweise zu versuchen, darüber Klarheit zu erlangen, ob unter einem auch durch recht beträchtliche Schachtsondierungen als an sich dicht befundenen Schuttuntergrund der gewachsene Fels direkt folgt oder nicht, ob dieser gewachsene Fels selber wasserdicht oder wasserzügig sei oder nicht, welche Stabilität diesem selber zukommt oder ob unter einer für sich selber durchaus dichten Schuttmasse des Abschluß-«Riegels» doch etwa noch ein wasserführender Kies- oder Sandhorizont folgt, der unter Umständen in Verbindung stehen könnte mit Sand- und Kiesschichten im dahinter gelegenen Staubecken, wodurch später eine gefährliche Wasserzirkulation aus dem aufgestauten Seebecken unter dem aufgeführten Abschlußdamm möglich würde. In diesem Falle bliebe durch weitere Aufschlußarbeiten abzuklären, ob einem solchen eventuellen Durchfluß vom Becken unter dem Damm hindurch durch technische Mittel, Einfügung von Betondiaphragmen oder Injektionsarbeiten oder beidem, mit genügendem Erfolg gesteuert werden könnte oder nicht.

Gestaltet sich so die Beurteilung einer Sperrstelle auf Schuttabschluß, d. h. die Abklärung der Möglichkeiten einer eigentlichen *Erddammsperre* zu einem höchst komplexen Problem, zu dessen Lösung gründliche erdbaumechanische Untersuchungen unumgänglich sind, so liegt das Problem einer Sperrstelle auf *Fels* oder sog. «Fels», d. h. auf einer *Felssackung*, zwar gleichfalls nicht gerade einfach, aber doch bedeutend einfacher. Versackter Fels wird sich nie oder nur sehr selten zu einer Sperrstelle eignen; solche sog. Sperrstellen sind radikal auszuschalten und andere Möglichkeiten zu suchen. Wer dies nicht glaubt, mag natürlich sondieren, aber nur mit größter Umsicht und unter Betreuung durch einen erfahrenen Geologen, der auch die sog. «Witze» der Natur kennt und mit solchen rechnet. Gewisse Bohr- oder Stollenergebnisse mögen vielleicht an sich beruhigend wirken; doch darf man sich durch solche Ergebnisse keineswegs beruhigen und zufriedenstellen lassen, denn diese Sondierergebnisse können immer noch bloße «Zufallstreffer» sein und an sich zwar gute, aber durchaus falsche Hoffnungen erwecken, zu denen sie für die ganze Sperrstelle keinesfalls berechtigen. Bohrsondierungen in Bergsturz- und Sackungsmassen, die zwar an sich mit großen Schwierigkeiten und Kosten verbunden sind, aber bei denen vielleicht bis in große Tiefe hinab das Bohrwasser stets verloren geht, können hier äußerst nutzbringend sein, weil sie die absolute Unmöglichkeit eines Bauvorhabens in der betreffenden Region ohne weiteres dartun und dasselbe damit gewis-

sermaßen von selbst und sicher mit viel geringeren Kosten erledigen, als wenn ein solches Objekt mit allen seinen bösen Folgen wirklich zur Ausführung käme.

Von entscheidender Wichtigkeit aber wird die geologische Untersuchung eines Absperr-Riegels aus *gewachsenem* Fels, der einem heutzutage ja oft gewaltigen Mauerabschluß als absolut sicheres Fundament zu dienen hat. Tragfähigkeit des Felsens, Stabilität desselben, Wasserdichtigkeit und eventuelle Abdichtbarkeit durch Injektionsarbeiten, die Frage der möglichen Auslösung von Felsbewegungen beim Bauvorgang, allgemeine Sicherheit der Sperrstelle während der verschiedenen Bauetappen und späterhin, daneben wohl meist auch noch die Frage der effektiven Felstiefe im Gesamtbereich der Staumauer, Vorhandensein alter, mit Schutt gefüllter, unter Umständen recht tiefer schmaler Abflußrinnen, eigentlicher Cañons, diese Dinge bilden wohl die Hauptpunkte für die Beurteilung einer solchen Sperrstelle auf Fels. Was für Faktoren spielen hier eine oft ausschlaggebende Rolle?

Selbstverständlich die Gesteinsart an sich, jedoch lange nicht ausschließlich. Die rein petrographische Bestimmung ergibt sehr leicht ein stark verzerrtes, oft sogar durchaus falsches Bild. Denn zu den bloß petrographischen Eigenschaften irgendeines *Gesteins* gesellen sich vor allem die *Eigenschaften des Gebirges*, das aus diesen Gesteinsarten besteht, und diese Gebirgseigenheiten können die petrographischen Eigenschaften eines Gesteins oft ganz grundlegend verändern, ja dieselben sogar bis ins Gegenteil verkehren. Der Grad der Verwitterung, das Ausmaß der Zerklüftung, der nähere Charakter und die Richtung der Klüfte, das Maß und die Art der tektonischen Beanpruchung des betreffenten Gesteinskörpers, die Anzahl der verschiedenen von diesem Gesteinskörper erlittenen tektonischen Beanspruchungen und abermals deren Richtung, ob die betreffende Beanspruchung unter großer Belastung und bei relativ hohen Temperaturen in einer gewissen Tiefe einst vor sich gegangen ist, oder mehr näher der Oberfläche, wo größere Ausweichmöglichkeiten zu einer ungleich stärkeren Auflockerung des Gebirges führten als in größeren Tiefen, alle diese Dinge sind, nebst den möglichen Einflüssen der lange andauernden Talbildung, auf das sorgfältigste zu untersuchen, denn sie haben eine oft weittragende und in vielen Fällen entscheidende Bedeutung. Dasselbe gilt von der Lagerung, von der Schichtstellung, dem Streichen und Fallen der Schichten im Sperriegel, dem näheren Grad der internen Zusammenstauung, der Durchfältelung, der Durchscherung, den Clivage-Erscheinungen, der Zerschneidung durch eigentliche Bruchsysteme, der Rolle der Verwerfungen im Gebirge und vielem anderen mehr. Alte Gesteine des kristallinen Grundgebirges haben naturgemäß weit mehr Gelegenheit zu allen möglichen tektonischen Veränderungen gehabt als die jüngeren Sedimente; doch zeigen manchmal auch diese eine für den mechanischen Zustand des Gesteins grundlegend maßgebende tektonische Beanspruchung von verschiedenen Richtungen her. Der Gesteinskörper kann in solchen Fällen, ganz gleichviel, ob Gneiß oder Kalk oder Granit oder Sandstein oder Schiefer, ganz gleich, ob an sich hart oder weich, ob an sich petrographisch gut oder schlecht, regelrecht zerschnitten, ja eigentlich zerschnetzelt und in einzelne Bruchstücke, Klötze oder Scherben von ganz verschiedenen Dimensionen, von ganz verschiedener Festigkeit und auch von ganz wechselnder Wasserdurchlässigkeit aufgelöst worden sein. An sich ganz ausgezeichnete Gesteine, wie etwa Granit oder Gneiß oder Amphibolit oder Kalk oder Dolomit, können dadurch in hohem Maße gebräch, wasserdurchlässig, in gewissen Fällen selbst ausgesprochen druckhaft werden, so daß die Eigenschaften, die ein Handstück oder auch eine größere Gesteinsprobe aus einem solchen Gebirge zeigt, oft direkt in ihr Gegenteil verkehrt werden. Es ist daher bei der Beurteilung einer Sperrstelle nicht nur der rein petrographischen Zusammensetzung oder gar der mikroskopischen Struktur der Gesteine des Sperriegels, sondern vor allem auch deren geologischen Geschichte, deren tektonischen Deformation und dem tektonischen Deformationsgrad volle Aufmerksamkeit zu schenken. Daß mit zunehmender Zerklüftung und tektonischer Zerbrechung die Wasserdurchlässigkeit des Gebirges zunimmt, ist selbstverständlich und eine Binsenwahrheit; daß aber mit zunehmender Zerstückelung des Gesteinskörpers auch die Verwitterung ganz automatisch in bedeutend größere Tiefe eindringt als im unzerklüfteten Gebirge, ist gleichfalls von Wichtigkeit und bei einer Prognose zu berücksichtigen.

Der Felscharakter an einer Sperrstelle muß daneben auch in bezug auf Auflockerungen oberflächlicher Natur und auf Möglichkeiten zu solchen Vorgängen genau geprüft werden. Auch da spielt die Lagerung der Schichten, deren Tektonisierungsgrad und natürlich auch der Verwitterungsgrad eine beträchtliche Rolle. Aber auch der «äußere Anschnitt» der Schichten im Talquerprofil spielt hier seine große und entscheidende Rolle. Unterschnittene Felslager können Tendenzen zu Plattenrutschungen erhalten, wenn auf der betreffenden Talseite die Schichten talwärts einsinken. Die Schichtplattenseite einer Sperrstelle verhält sich wesentlich anders als die Schichtkopfseite. Desgleichen ist nicht gleichgültig, zu welchem Zeitpunkt zum Beispiel der betreffende Talabschnitt beim Rückzug der diluvialen Gletscher definitiv eisfrei geworden ist. Je später, um so besser; je früher, um so eher hat spätere fluviatile Unterschneidung das Gleichgewicht der Hänge stören und damit den Felsverband bis in eine gewisse Tiefe auflockern können. Solche an sich bloß rein oberflächlich aufgelockerte, im übrigen durchaus einwandfreie Felsgehänge können dann leicht den Eindruck von recht mobilen Plattenrutschgebieten erwekken und so auf den ersten Blick suspekt erscheinen. Sorgfältige und gründliche Stollensondierungen sind hier unerläßlich, will man nicht zu einem falschen Urteil kommen und damit eine an sich gute Sperrstelle in unverdienten Mißkredit bringen.

Wichtige und willkommene Resultate liefert hier auch die seismische Untersuchung mit der Bestimmung der Elastizitätsmodule des Felsens. Hier lassen sich gewachsener und versackter Fels gut voneinander unterscheiden, was an einer Menge von offensichtlichen Beispielen belegt ist. So haben die seismischen Untersuchungen im Gebiet eines erst später zur Ausführung gelangten Schrägstollens, d. h. die vorher aus den Sondierstollen heraus festgestellten Elastizitätsmodule des Gebirges in durchaus verblüffender Art mit dem Charakter des nachher dann effektiv durchfahrenen Gebirges übereingestimmt. Die seismische Untersuchung der Sperrstelle liefert somit wichtige Hinweise in be-

zug auf die innere Auflockerung des Gebirges. Daß die klassischen Sondiermethoden daneben aber dennoch unerläßlich sind, dies auch zur konkreten Überprüfung der seismischen Ergebnisse und Berechnungen, ist selbstverständlich. Kein Geologe und kein Ingenieur darf auf die Seismik gewissermaßen unbesehen abstellen, so wenig wie auf den oberflächlichen Aspekt des Gebirges. Bohrungen, verbunden mit Wasserabpreß- und mit Injektionsversuchen, unter Umständen auch kombiniert mit Färbungen, sind an jeder Sperrstelle unerläßlich. Bei der geringsten Unsicherheit aber sind eigentliche Stollensondierungen vorzunehmen, nach Angabe und unter Kontrolle durch den die Untersuchung leitenden Geologen.

Aber andere Dinge sind hier gleichfalls im Auge zu behalten. Es gibt auch hier an sich zwar witzige, aber in konkreto bedauerliche Zufälle. Die topographisch und geologisch vielleicht bestbefundene Sperrstelle kann deswegen in ihrem Endeffekt doch eine schlechte sein. Die Sperrstelle kann geologisch sogar ausgezeichnete Eigenschaften aufweisen, nützt aber dennoch nichts, wenn aus den *Flanken* des dahinter aufgestauten Beckens spätere Wasserverluste möglich sind. Es ist deshalb nie die Sperrstelle an sich und für sich allein zu beurteilen, sondern ganz begreiflicherweise das ganze Speicherbecken mit seinem tieferen Untergrund und seinen unter dem künftigen Stauziel liegenden Flanken. Erst wenn auch das *Speicherbecken* in seinem *Untergrund* und auf der *ganzen Erstreckung seiner Flanken* als wasserdicht oder wenigstens praktisch wasserdicht oder auch nur als abdichtbar befunden werden kann, erst dann kann ein Stauprojekt als günstig empfohlen oder, bei gegenteiligem Befund, als ungünstig abgelehnt werden.

Die Untersuchung oder Abklärung der *Dichtigkeit eines Speicherbeckens* verlangt in vielen Fällen noch ausgedehntere Untersuchungen als die Beurteilung einer Sperrstelle. Liegt das Speicherbecken mitsamt seinen Flanken in *kristallinem* Gebirge, d. h. Granit, Gneiß, Glimmerschiefer u. dgl., so darf man im allgemeinen, abgesehen von Klüften, an denen sich Verluste wohl vollziehen, aber relativ leicht durch Abdichtung unterbunden werden können, beruhigt sein. Im *Kalkgebirge*, das an sich, am bloßen feststellbaren Porenvolumen gemessen, praktisch gleichfalls meist wasserdicht sein könnte, spielt die tektonische Zerklüftung und Verscherung eine viel bedeutendere Rolle. Das Zerreibsel der kristallinen Gesteine an Kluftsystemen führt meist zur Bildung von tonig-lehmigen Beschlägen, die Klüfte werden dann mit Zerreibungslehm gefüllt und damit schon auf natürliche Weise weitgehend und zum großen Teil ausgezeichnet gedichtet. Im Kalkgebirge, aber auch im Dolomit, wird das Kluftzerreibsel hingegen vom Wasser aufgelöst, die Klüfte bleiben offen, das Wasser durchrinnt und durchströmt dieselben, weitet sie durch sukzessive Auflösung immer stärker aus, es können damit mannigfache offene Gänge, Spalten, Höhlen und Karstkanäle sich bilden, wie ja hinlänglich bekannt ist. Es ist daher gerade im Kalkgebirge der Zerklüftung, den Bruchsystemen, Scherflächen u. dgl. samt deren konkreten Lage im Gebirgsbau die größte Aufmerksamkeit zu schenken. Auch hier werden ausgedehnte Sondierarbeiten unerläßlich sein, desgleichen Färbungen mit einem unter Umständen weit gespannten Beobachtungsnetz. Dazu ist auch das ganze Wasserregime eines solchen Gebietes an sich sehr genau zu untersuchen, vor allem dahin, ob jeweilen auffallende Differenzen in den Abflußmengen gleichwertiger benachbarter Einzugsgebiete auf unterirdische Karstverluste zurückzuführen sind oder ob nicht lokal weit geringere Niederschläge hier ihre Rolle spielen.

Endlich kann der Ablauf der langen Talgeschichte eines Gebietes von großer Bedeutung für die Beurteilung einer Sperrstelle und eines Speicherbeckens werden. Das ist dann der Fall, wenn ältere und jüngere, d. h. sog. epigenetische Talläufe nicht miteinander übereinstimmen und einander kreuzen. Ältere, mit Schotter oder auch mit durchlässiger Moräne oder gar Bergsturzmaterial gefüllte Talläufe oder Schluchtrinnen dürfen in einem Speicherbeckenabschluß nicht vorkommen, ohne daß die Gefahr von Wasserverlusten durch diese Rinnen besteht, die sich mit der Zeit durch weitere Ausspülung des Lockermaterials immer mehr verstärken können. Es ist somit ein Speicherraum naturgemäß auch auf solche Möglichkeiten hin genau zu untersuchen.

Noch manches andere spielt bei der Beurteilung von Sperrstellen und Speicherbecken eine wichtige Rolle: die Anwesenheit von besonders leicht löslichem Material im Gebirge, von Anhydrit, Gips, Steinsalz etwa, deren Auslaugung zu gefährlichen Setzungen, ja eigentlichen Einstürzen führen kann, oder der Gehalt der Gewässer an betonschädigenden Sulfaten, die örtliche Anwesenheit oder Abwesenheit von dichtem Kernmaterial bei Dammbauten, die Beschaffenheit der im Speichergebiet zur Verfügung stehenden Zuschlagstoffe, die Beurteilung der Sicherheiten gegenüber Bergsturz, Eissturz, Steinschlag, Lawinen und dergleichen. Auch das Quellenregime des Gebietes ist genau zu untersuchen, samt den Einflüssen des technischen Eingriffes auf dasselbe. Das ist besonders wichtig in Gebieten mit wertvollen Mineralquellen, es ist aber auch wichtig zur Beurteilung der Beeinflussung der Grundwasserströme in den tiefer liegenden Talabschnitten. Die *Grundbedingung* für den Bau einer *Talsperre* aber bleibt die Tragfähigkeit, die Stabilität und die Wasserdichtigkeit des Untergrundes, wobei die Verhältnisse naturgemäß verschieden liegen bei Erddämmen, bei Gewichtsmauern oder bei Bogenmauern. Erste Voraussetzung für einen *Speicherraum* hingegen ist seine *Wasserdichtigkeit*. Nur wenn diese Grundbedingungen erfüllt sind, wird einem Projekt Erfolg beschieden sein. Ist dies nicht der Fall, so ergeben sich unbefriedigende, ja unter Umständen selbst gefährliche und kritische Zustände. Solche aber sind von allem Anfang an, schon in der Grundkonzeption, mit allen Mitteln zu vermeiden.

Der geologischen Untersuchung von Sperrstellen und Speicherbecken ist damit grundsätzliche Bedeutung zuzulegen; sie darf nicht vernachlässigt oder auch nur nachlässig an die Hand genommen werden. Das aber ist heute erfreulicherweise zur allgemeinen Einsicht im Kraftwerkbau geworden. Ich bin mir wohl bewußt, mit diesem kleinen Beitrag keine weltbewegenden Neuigkeiten aus dem Gebiet der Kraftwerkgeologie zusammengetragen zu haben, betrachtete es aber dennoch als meine Pflicht, dem Ansuchen des verehrten Redaktors dieser Zeitschrift entsprechend, einige meiner langjährigen Erfahrungen in der geologischen Beurteilung von Kraftwerken, von den ersten Projektstadien bis zum Abschluß der Bauten, hier zusammenzustellen.