

Geologische Probleme des Baues und der Erhaltung von Talsperren

Von Otto Ampierer, Wien.

Zu den gewaltigsten Bauwerken, welche menschlicher Geist und menschliche Arbeit ersonnen und erschaffen haben, gehören die großen Talsperren.

Es sind hier nicht nur die Höhe und Breite des Mauerwerks, welche wie bei den „Pyramiden“ unser Staunen erwecken, sondern vor allem die oft ganz gigantischen Wassermassen, welche hinter diesen Sperrn gefangen liegen und so einem Winke des schöpferischen Menschen gehorsam geworden sind. Die Bändigung der Naturgewalten hat wohl kaum bei einer anderen Gelegenheit so großartige Formen und eine so glückliche Lösung gefunden wie bei diesen Wasserwerken, sei es, daß die gespeicherte Kraft zur Erzeugung von elektrischen Strömen führt, welche Länder und Städte erhelten und bedienen, sei es, daß die Wassermassen zur Befuchtung und Fruchtbarmachung von Trockengebieten verwendet werden, welche neuem Leben die Tore öffnen.

Der Bau von solchen Talsperren ist aber erst durch die Benützung des Betons in großen Massen mit verhältnismäßig geringen Kosten und in relativ kurzen Bauzeiten möglich geworden.

Natürlich ist durch die Errichtung von so großen Bauwerken in derart gekürzten Bauzeiten die Möglichkeit eines Versagens derselben und damit ihrer Zerstörung sehr viel näher gerückt worden.

Zahlreiche und oft verhängnisvolle Katastrophen infolge zerbrochener Talsperren weisen darauf hin, wie dringend nötig bei diesen Bauten die Beachtung aller Möglichkeiten sowohl beim Entwurfe der Projekte als auch bei der tatsächlichen Bauausführung bleibt.

In diese verantwortliche Rolle haben sich in erster Linie der Bauingenieur und der beratende Geologe zu teilen. Nur aus ihrer feinfühligsten Zusammenarbeit kann hier die Sicherheit und Zweckdienlichkeit des Bauwerkes entspringen.

In dem hier folgenden Aufsätze soll nun versucht werden, wenigstens in Umrissen, diese Mitarbeit des Geologen zu beschreiben. Diese Mitarbeit des Geologen beginnt bereits bei der Auskundschaftung einer geeigneten Sperrstelle.

Die Grundforderung für eine Sperrstelle erscheint zunächst sehr einfach. Eine möglichst enge Talstelle, hinter welcher sich ein möglichst großer Stauraum befindet.

Dieser menschlichen Fragestellung steht die Natur mit zahlreichen Bejahungen, aber auch mit noch weit zahlreicheren Verneinungen gegenüber. Es ist von vornherein klar, daß in einem gut ausgeglichenen Talsystem sich keine besonders geeigneten Stellen für einen solchen Eingriff befinden werden. Nun sind aber solche gut ausgeglichene Talsysteme gar nicht so häufig, als man erwarten könnte. Dies ist zunächst in der Lebendigkeit der tektonischen Bewegungen begründet, deren Mitspiel bis in unsere Gegenwart herein zwar wohl die Erdbeben und die Vulkanausbrüche immer wieder schreckbar deutlich verkünden, das aber doch vor allem auf diese zwei Äußerungen beschränkt erschien. Hier hat sich nun im Laufe der letzten Jahre eine neue Einsicht zwar langsam, aber unaufhaltsam Bahn gebrochen, die darin besteht, daß die Festigkeit und Ruhe unserer Erdkruste nur eine Täuschung unserer Kurzsichtigkeit und Kurzlebigkeit und vielmehr alles in Bewegung begriffen ist.¹⁾

Von der philosophischen Einsicht, daß alles fließt, bis zum Nachweise der jungen Verbiegungen der Täler, der Verschiebungen und Verwerfungen, der Hebungen von großen und kleinen Schollen, bis zu den Abweichungen in den Angaben der Präzisions-Nivellements ist allerdings ein sehr weiter Weg gewesen.

Wie sich die Angaben über Veränderungen des sogenannten festen Untergrundes vermehren und daher einer Prüfung und Sichtung bedürftig werden, geht daraus hervor, daß auf der Versammlung der Direktoren der Geologischen Landesanstalten Deutschlands im Jahre 1932 in Jena Herr

Prof. W. v. Seidlitz den Antrag stellte, die Preussische Geologische Landesanstalt möge in ihr künftiges Arbeitsprogramm die Feststellung und Beobachtung heutiger Niveauveränderungen aufnehmen. In der Geologie hat die Beobachtung von Niveauveränderungen an Meeresküsten ja schon seit langer Zeit eine wichtige Rolle gespielt. Unter der Führung von E. Suess war aber die Lehre entstanden, daß es sich bei diesen Niveauänderungen vor allem um Einbrüche und Senkungen handle. Heute wissen wir aber, daß die Hebungen den Senkungen wahrscheinlich ziemlich gleichberechtigt gegenüberstehen und sicherlich erst das Wechselspiel von Hebung und Senkung die Morphologie der Erdoberfläche entscheidend beeinflußt. Wir wissen aber auch, daß mit dem vertikalen Bewegungsspiel die Erscheinungen der Erdoberfläche noch lange nicht erschöpft sind, sondern daß hier auch noch ein horizontales dazutritt, dessen Beträge bei weitem über die des vertikalen hinausragen.

Auch wenn man nicht mit Wegener an eine Trift der Kontinente glaubt, so liegt doch in den Faltegebirgen der Erde eine riesige Summe von gewaltigen Horizontalverschiebungen aufbewahrt. Diese Gebirge wären ja ohne große Horizontalverschiebungen überhaupt mechanisch unverständlich. Wir müssen also mit einer Fortdauer von Bewegungen rechnen, deren Ursprung in dem heißen Innern der Erde zu suchen ist. Diese Bewegungen sind es nun auch, welche gar nicht selten bereits ausgeglichene Talsysteme durch Verbiegungen so stark beeinflußt haben, daß einerseits Talstücke ihr Gefälle verloren, andererseits Talstrecken ein viel steileres Gefälle erhalten haben.

Bei einer Prüfung jener Orte, welche von der Natur für die Anlage von künstlichen Sperrn geradezu vorbereitet erscheinen, werden wir häufig enge Klammern finden, die sich an Stellen von jungen Hebungen befinden, welche der Fluß gerade durchschneidet. Es handelt sich also in sehr vielen Fällen eben um jene Stellen, welche eine junge Aufwölbung erfahren haben, das heißt mit anderen Worten, um tektonisch besonders bewegliche Zonen. Die Bewegungen, welche hier im Zuge sind, entziehen sich bisher vielfach jeder genau messenden Einschätzung. Sie sind bestimmt an sich nur sehr geringfügig, aber trotzdem von Bedeutung. Ihre Wirkung auf eine Sperre ist natürlich zunächst von der Größe und Form der Aufwölbung sowie von ihren Wachstumsverhältnissen abhängig. Weiter kommt dann die Lage der Achse des Bauwerkes zur Scheitelachse der Aufwölbung sehr in Betracht. Decken sich die beiden Achsen in ihrer Richtung, so kann das Bauwerk selbst bei einer beträchtlichen Aufwölbung in seinem Bestande unbeschädigt verbleiben. Decken sich die Wölbungsachse und die Bauwerksachse aber nicht oder nur unvollkommen, so kommt es zu Schrägstellungen des Bauwerkes, die gefährlich werden können. Eine solche Schrägstellung kann sich ohne außerordentlich genaue Feinmessungen sehr leicht unserer Beobachtung entziehen, aber dennoch die Fundierung einer schwer belasteten Mauer allmählich aus ihrer Gleichwertigkeit bringen. Die Wirkung einer Schrägstellung des Sperrfundamentes ist auf eine hohe, schmale und gerade Sperre am zerstörendsten. Eine breite Mauer und eine Bogenmauer werden von den kleinen, hier zu erwartenden Schrägstellungen viel weniger betroffen.

Die Frage, ob eine gerade oder eine gebogene Stau-mauer vorzuziehen ist, muß also vom Standpunkte der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Verbiegungen des Untergrundes zugunsten der Bogenform entschieden werden. Die Frage, ob eine gewählte Sperrstelle in eine heute noch lebendige Bewegungszone hineinfällt, ist häufig nicht leicht zu beantworten. Meistens setzt sie eine genaue geologische Kenntnis des betreffenden Gebietes sowie auch noch morphologische Studien voraus.

Mit der Erkenntnis der Zugehörigkeit des Bauplatzes zu einer solchen in Jungbewegung begriffenen Zone ist aber allein noch lange nicht alles erledigt. Es würde sich nun

¹⁾ In Oesterreich war neben dem Verfasser vor allem Prof. J. Stiny, der Herausgeber der Zeitschrift „Geologie und Bauwesen“, ein Bahnbrecher dieser neuen Auffassungen.

weiter darum handeln, das räumliche und zeitliche Wachstum dieser Bewegung zu erforschen. Hier stehen wir häufig vor Fragen, die wir mit unseren derzeitigen geologischen Hilfsmitteln nicht zu beantworten vermögen, weil sie nicht feinfühlig genug sind, um so kleine Veränderungen noch anzeigen zu können.

Wenn es sich bei einer Sperrstelle um ein Gebiet der Aufwölbung handelt und nicht um eine an Verwerfungsfugen gehobene Scholle, so läßt sich häufig diese Funktion an der zur Aufbiegung zugehörigen Einbiegung leichter erkennen. Die Einbiegungen der Täler führen wegen der Gefällsverluste gleich zu Aenderungen im normalen Transport des Flußschutttes. So kommen Aufschüttungen in den Tälern zustande, die mehrere Hunderte von Metern betragen können und welche sich durch Bohrungen in ihrer Mächtigkeit genauer bestimmen lassen. Bohrungen sind aber in Schuttmassen je nach der Beschaffenheit der Schotter ziemlich schwierig herzustellen. Wenn es sich darum handelt, die Beschaffenheit der hier übereinander liegenden Schuttarten aufzuklären, so sind dieselben jedoch das einzige verlässliche Mittel. Genügt zur Untersuchung aber schon die Erforschung der Gesamtmächtigkeit der hier dem Grundgebirge aufgelagerten Schuttmassen, so bietet die „Echolotung“ ein viel rascheres Mittel. Diese Lotung, welche die Reflexion von künstlich erzeugten Erdbebenwellen an der Grenze von Schutt und Grundgebirge zur Einmessung benützt, ist in den letzten Jahren bereits sehr verbessert und dadurch leichter anwendbar gemacht worden.

Die Bestimmung der Verschüttungstiefe einer Einbiegung kann mit der nötigen Vorsicht auch zur Einschätzung der benachbarten Aufbiegungen verwendet werden. Es setzt dies allerdings voraus, daß die einzelnen benachbarten Auf- und Einbiegungen im Verhältnis von Mulden und Sätteln einer größeren Wellenbewegung zu einander stehen.

Für die heute z. B. in den Alpen bekannt gewordenen Talverbiegungen und Heraushebungen ist diese Gesetzmäßigkeit zwar wahrscheinlich, aber noch nicht im Detail erwiesen. Die hier in Betracht gezogenen Verbiegungen verlaufen im wesentlichen quer auf die Talrichtung, in welcher sich die Sperrstelle mit ihrem Stauraum befindet. Es gibt aber auch Verbiegungen, welche der Längsrichtung des Taleinschnittes folgen. Hier haben wir für unser Bauwerk wieder mit ganz anderen Erscheinungen zu rechnen. Trifft die Sperrstelle in die Scheitelung einer parallel mit dem Tale verlaufenden Aufwölbung, so würde eine hier aufgesetzte Sperrmauer im Laufe der Zeit in der Mitte mehr als an ihren Flügeln gehoben. Man hätte also im extremen Falle mit einer Zerrung der Mauer zu rechnen, welche zu Zerreißen derselben führen muß, sobald hier die Dehnung eine gewisse Grenze überschreitet. Bei den modernen Betonmauern, welche schon an und für sich in Teilstücken hergestellt werden, würde diese Aufbiegung voraussichtlich nur zu einer weiteren Oeffnung der vorhandenen Fugen führen und sich daher diese wohl ohne Schaden für das Bauwerk flicken lassen.

Schlimmer ist die Wirkung einer Einbiegung des Fundamentes auf die darauf befindliche Sperrmauer. Im Gefolge einer solchen Einbiegung würden von den beiden Bergseiten her Drucke auf den dazwischen eingespannten Sperrkörper übertragen, denen natürlich kein Mauerwerk widerstehen könnte. Es hängt von der lokalen Form der Mauer und von der Beschaffenheit des verwendeten Mauerwerks ab, wie sich die seitlichen Pressungen der Sperre auswirken. Es können hier seitliche Verschiebungen an Scherflächen auftreten, es können aber auch einzelne schwächere oder schlechter gebaute Teile allmählich zerdrückt und herausgedrängt werden. Man hat bisher bei dem Bau der Talsperren gewiß mit Recht vor allem den Untergrund auf die Frage hin untersucht, ob derselbe imstande sei, die durch die Auflastung der Sperre neu auftretenden Beanspruchungen auszuhalten.

Wie wir hier näher ausgeführt haben, ist aber auch die Umkehrung dieser Frage durchaus nicht ohne Bedeutung, ob nämlich nicht auch vom Untergrunde aus Zerrungen und Drucke auf das Bauwerk übertragen werden. Wie weit bei den verschiedenen Zusammenbrüchen von Talsperren solche

vom Untergrunde aus übertragene Verstellungen und Spannungen mitbeteiligt waren, ist derzeit wohl kaum mit einiger Sicherheit zu entscheiden, weil eben bei der Beurteilung des Versagens der Sperren diese Einflußnahme des Untergrundes auf das Bauwerk nicht ernstlich in Betracht gezogen wurde.

Man kann in dieser Fragestellung aber auch noch weiter gehen und in den Talsperren gewissermaßen ziemlich empfindliche Meßinstrumente großen Maßstabes erblicken, welche vielfach gerade an tektonisch beweglichen Teilen des Gebirges eingebaut wurden und hier bei entsprechend sorgfältiger Beobachtung und Bewachung eine Kontrolle der Bewegungen des Untergrundes ermöglichen.

Wir sind bei unserer Betrachtung der allgemeinen geologischen Probleme der Talsperren zunächst von den engen Klamnstrecken ausgegangen, welche von den Flüssen infolge von jungen Verbiegungen gerade frisch durchsägt worden sind. Eine andere Gruppe von engen Klamnstrecken steht mit vielen der sogenannten „epigenetischen Talstrecken“ in Verbindung. Wird ein Teil eines Fluß- oder Bachsystems von Schuttmassen so stark verschüttet, daß die unteren Leitlinien des Flusses oder Baches verdeckt sind, so können diese Gewässer bei der Durchsägung der Schuttdecke ihre alten Bahnen vielfach nicht mehr finden. So kommt es recht häufig dazu, daß der Fluß eine neue, enge Felsschlucht unmittelbar neben seinem alten, aber mit Schutt verstopften Tale angelegt hat. Die Enge der Schlucht und die Frische der Felsanschnitte sind natürlich Versuchungen für den Sperrbauer, denen der Geologe mit dem Hinweise auf die oft nur schlecht verstopfte alte Talöffnung häufig genug entgegen treten muß. Die Verstopfungen von alten Talbahnen können sehr verschiedenartig sein. Am besten sind dichte Lager von Bänder ton oder von Grundmoränen. Aber auch in solchen Fällen ist man noch zu künstlichen Schürfungen gezwungen, weil gar nicht selten unter den Tonlagen oder den Grundmoränen noch wasserdurchlässige Sande und Schotter eingeschaltet sind, welche die Wirkung eines Stauraumes ganz oder teilweise aufheben können.

Weit sicherer sind die von den alten Gletschern oft wunderbar schön herausgearbeiteten Felsstufen und Felsbecken. Diese Form der Talstufelung ist auf die ehemalig vergletscherten Gebirge der Erdoberfläche beschränkt, aber trotzdem sehr verbreitet und wegen ihrer Vollkommenheit auch sehr wichtig. Wenn auch z. B. in dem für die Alpen grundlegenden Werke von Penck und Brückner „Die Alpen im Eiszeitalter“ die ausschleifende Wirkung der großen Talgletscher bei weitem überschätzt erscheint, so bleibt doch noch eine beträchtliche ausschleifende Wirkung der bewegten Eismassen ein gesichertes Beobachtungsgut.

Was die auf eiszeitliche Felsschwellen gegründeten Sperren besonders auszeichnet, ist die Frische und die Festigkeit der Fundamentgesteine. Dieselbe beruht einerseits darauf, daß das Eis eben vor allem die festesten Gesteinszüge als Schwellen bestehen ließ, während die weicheren Zonen zu Mulden ausgeschliffen wurden, anderseits darauf, daß durch die vieltausendjährige Abschleifung das oft tief verwitterte Oberflächengestein entfernt wurde. Indessen bieten auch solche, vom strömenden Eise abgeschliffene Felsschwellen für den Bau der Sperren noch genug geologische Probleme.

Die Gletscher, welche über eine höhere Felsstufe herabziehen, sind von mächtigen Spalten zerschnitten. In diese Spalten stürzen sich zur Zeit der Schneeschmelze Gletscherbäche, welche reichlich mit Schutt beladen sind, und in lebhaftem Wirbel das Gestein des Untergrundes wie große, starke Bohrer angreifen. So können in einer völlig mit Gletscherschliffen eingedeckten Felsschwelle mächtige, mit Schutt erfüllte Auskolkungen vorhanden sein, deren Ausräumung und Ausbetonierung große unvorhergesehene Kosten verursachen kann. Eine Bedrohung der Standfestigkeit ist durch solche Kolke meist nicht vorhanden.

Im allgemeinen bieten die Gletscherschliffe eine sehr gute und verlässliche Bausohle. Wegen ihrer Glätte ist man aber zu einer künstlichen Aufrauung gezwungen, um dem Beton das Festsitzen zu erleichtern. Es kommt aber vor,

daß diese Eisschliffe nicht nur senkrechte, sondern sogar überhängende Felsflächen bedecken. Hier können sich für die Betonierung des Sperrenfundamentes aus der Ungleichmäßigkeit der Sohle beim Schwinden des Betons kleinere Nebenspannungen ergeben. Neben den Kolken und Schliffen gehören auch noch aufgelagerte Moore häufig zu den Eigenheiten dieser Felsschwellen. Räumt man die oft vertorften Moore ab, so findet man darunter den geschliffenen Fels, von den Humussäuren angegriffen und zermürbt. Im allgemeinen reicht aber diese Gesteinsauflösung nicht tief bergein.

Eine andere noch ungelöste Frage ist die, ob die Gesteine, welche Jahrtausende unter Eisbedeckung lagen, dadurch nicht doch dauernde innere Veränderungen erlitten haben. Man unterzieht heute sowohl Beton als auch Natursteine vor der Bauverwendung einer gründlichen Frostprobe, die vielfach sehr wirksam ist. Die Vergletscherungen mit allen ihren Schwankungen waren und sind noch heute für große Gesteinsbereiche eine Frostprobe von gigantischen räumlichen und zeitlichen Ausdehnungen. Nach meiner Einsicht haben die Gesteine unter dieser Riesenfrostprobe sehr gelitten und dauernde Veränderungen und Schädigungen davongetragen. Am deutlichsten ist mir eine solche Einwirkung an granitischen Gesteinen aufgefallen, die sich in einer tiefgreifenden Schalenbildung und Absplitterung parallel den Talwänden hin äußert. Eine nähere Untersuchung dieser Frage steht zur Zeit noch aus.

Die vom Eise abgeschliffenen Felsschwellen lassen mit Hilfe dieses Schliffüberzuges etwaige tektonische Veränderungen seit der letzten Abschleifung am besten erkennen. Ich habe an vielen Stellen die Gletscherschliffe glatt über Verschiebungsklüfte weglafen gesehen, was beweist, daß diese Klüftflächen seit dem Rückzuge des Eises nicht mehr tektonisch belebt waren. Ein entscheidendes Urteil kommt jedoch diesem Befunde nicht zu, weil gerade bei diesen Felsschwellen die Uebergangsstellen in die seitlichen Steilhänge fast immer von Schutt verkleidet sind. Diese Winkel sind aber für Verbiegungen gerade die empfindlichsten Stellen.

Aus Gründen verschiedenster Art hat sich der menschliche Unternehmungsgeist nicht damit begnügt, Talsperren nur an von der Natur dazu bevorzugten Stellen zu errichten, sondern solche Bauwerke auch an weniger geeignete Orte verlegt. Hier sind die Schwierigkeiten für den beratenden Geologen meist noch dichter gesät. Die Errichtung solcher Bauwerke auf nicht genügend tragfähigem oder wasser-durchlässigem Untergrunde kann auf die Dauer nur gelingen, wenn man durch künstliche Eingriffe dem Untergrunde jene Eigenschaften verschaffen kann, die ihm eben von Natur aus gerade fehlen. Die technische Wissenschaft hat auf diesem Gebiete bereits große Erfolge zu verzeichnen, sowohl was die Verhärtung des Untergrundes als auch was seine Abdichtung betrifft.

Allgemeine Regeln lassen sich hier nicht aufstellen. Es muß wohl jeder Fall für sich aufs neue studiert und erprobt werden. Dabei hat sich ergeben, daß die rechnerische Behandlung der vorliegenden Probleme weniger rasch zum Ziele führt als die experimentelle Behandlung derselben. Hier hat Prof. K. v. Terzaghi als Meister der Erdbaumechanik der Weiterforschung viele neue Wege gewiesen.

Wir haben uns im ersten Teile dieses Aufsatzes mit einigen geologischen Problemen beschäftigt, welche vor allem die ganze Platzfrage einer geplanten Talsperre betreffen. Es bleibt uns nunmehr als weitere Aufgabe, eine Reihe von geologischen Problemen zu besprechen, welche mit der Detailausführung von solchen Bauwerken in engerer Beziehung stehen.

Alle Taleinschnitte kann man als mehr oder weniger scharfe Kerben auffassen, welche den Zusammenhang der beiden Talseiten sowohl in bezug auf die Schichtfolge als auch in bezug auf die vorher entstandene Tektonik zerschneiden. Es handelt sich also bei den Taleinschnitten um typische Verletzungen geologischer Bauwerke. Durch den Einbau von Sperren in die Taleinschnitte werden also, mit anderen Worten gesagt, Teile von bereits vorhandenen Kerben wieder künstlich geschlossen. Die Erkenntnis der Bedeutung und der

Wirksamkeit von Kerben ist von der experimentellen Technik erst auf die Geologie übertragen worden. In der Bearbeitung und Beanspruchung des Materials spielt der Eingriff von Kerben aller Art eine sehr große Rolle. Die Beachtung der Kerbwirkung hat aber auch für die Geologie und besonders für die Tektonik zu wichtigen Fortschritten geführt. Auch bei der Beurteilung eines Taleinschnittes kann man ohne diese wichtige Einsicht nicht weiter kommen. Die Wirkung der Talkerbe ist hier eine ziemlich mannfaltige.

Zunächst wird durch die Kerbe die Verteilung der Spannungen in den Gesteinskörpern verschoben. Hierbei spielen auch Größe und Form der Kerben eine wesentliche Rolle. Weiter beeinflussen aber die Talkerben den Ablauf alles weiteren tektonischen Geschehens in ihrem ganzen Bereiche. Durch tiefe Einkerbungen können in den Kerbenwinkeln so hohe einseitige Druckspannungen entstehen, daß die Gesteinsfestigkeiten endlich überwunden werden und Bergstürze niederbrechen. Die Ueberwindung der Festigkeit von derartig einseitig belasteten Felsmassen erfordert je nach dem Gestein eine sehr verschiedenen lange Einwirkungszeit. Zumeist erkennt man solche Ueberbeanspruchungen an dem Beginn einer Zerklüftung und Absplitterung der Felsen. Das ist jedoch meistens ein schon weit vorgeschrittenes Stadium, wo menschliche Eingriffe häufig bereits erfolglos sind.

Leider vermögen wir heute noch nicht, den Ermüdungszustand einer Gesteinsmasse genauer zu bestimmen. Es ist aber wohl zu hoffen, daß es vielleicht ähnlich wie bei den Metallen mit Hilfe von Röntgenstrahlung gelingen werde, die Uebermüdungszustände eines Gesteins, welche seiner Zerbrechung vorausgehen, genauer zu erforschen. Es würde auch für den Bau der Talsperren einen großen Fortschritt herbeiführen, wenn man den Ermüdungszustand des Felsgrundes richtig beurteilen könnte, dem dann das Bauwerk der Sperre anvertraut werden soll.

Die Gesteine besitzen aber für ihre Verletzungen, soferne dieselben nicht zu große Dimensionen annehmen, ihre eigenen Wundheilmittel. Es kann eine in Trümmer gegangene Gesteinslage durch die Zuführung von Minerallösungen nicht nur ganz verheilt, sondern in vielen Fällen sogar wesentlich verstärkt werden. Neben diesem Wundheilmittel der Minerallösungen besitzen die Gesteine noch ein zweites Verheilungsmittel von Fugen, das in der Bildung von feinerriebenem Gesteinsmehl oder Letten an Verschiebungsfächen besteht. Durch solches Zerreibsel können sogar ziemlich weitklaffende Spalten recht dicht und verlässlich geschlossen werden. Man begegnet solchen durch die Bewegung selbst geschaffenen Kluftverschmierungen in den Stollen und Bergbauen auf Schritt und Tritt. Die menschlichen Bauwerke besitzen diese Wundheilmittel nur in weit bescheideneren Grenzen, weil denselben vor allem die riesigen Massen von Nachbargesteinen fehlen, aus denen die Minerallösungen stammen. Immerhin spielen bei der Abdichtung von Talsperren die Eindringungen von fein verteiltem Schlamm eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Ueber die Geschwindigkeit der Heilungsvorgänge an Zerreißen sind wir heute bei den verschiedenen Gesteinsarten noch im Unklaren. Es gibt wohl keine Gesteine, die nicht Verheilungen von Klüften aufweisen. Die Art der Verheilung ist für gewisse Gesteine regelmäßig dieselbe, so daß man aus dem Verheilungsnetz oft auf das sonst vielleicht schwer erkennbare Muttergestein schließen kann. Die Einleitung für den Beginn eines Sperrenbaues bildet gewöhnlich die Abräumung des Felsgrundes von der darauf befindlichen Schutt- und Vegetationsdecke. Diese Arbeiten bieten häufig wertvolle Einblicke in die verschiedenen Stadien der Verwitterung der Gesteine des Untergrundes, weil man hier nackte Gesteinsflächen unmittelbar neben solchen finden kann, welche von Schutt oder Vegetation bedeckt waren. Dadurch bietet die Abräumung die meist nicht wiederkehrende Gelegenheit, recht verschieden starke Einflüsse von Verwitterung an den Fundamentgesteinen miteinander vergleichen zu können.

Die Aussprengung der Baugrube erfordert eine ständige

Ueberwachung und Leitung, weil hier ein Zuwenig der Ausräumung ebenso schädlich werden kann wie ein Zuviel. Außerdem pflegt jede Baugrube ihre eigenen Ueberraschungen zu bringen. Sehr störend ist das oft ganz unvermutete Auftreten von Quellen in der Baugrube, deren Ableitung schwere Mühe verursachen kann.

Eine besonders wichtige Angelegenheit ist bei jedem Sperrenbau das möglichst dichte Anschmiegen des Betons an das Grundgebirge. Zu diesem Zwecke ist vor der Betonierung eine gründliche Reinigung der Felsoberflächen von allen Arten von Schlamm und Schmutz unbedingt nötig.

Ueber die Beschaffenheit und Herstellung eines allen Anforderungen genügenden Betons finden wir in dem begleitenden Aufsatz des bekannten Betonforschers M. Spindel die wichtigsten Grundsätze erhellt. Die Geologie ist an diesen Fragen nur insofern beteiligt, als ihr die Ausforschung ge-

eigneter Zuschlagstoffe obliegt. Mit der Herstellung der Sperrmauer endigt im allgemeinen die beratende Rolle des Geologen. In gewissem Sinne ist dies verfrüht, weil man jeder Sperre bis zu ihrer Bewährung eine Beobachtungsfrist zumessen sollte. Schließlich hat jeder große Bau doch seine Eigenheiten und Schwächen, welche man erst in jahrelanger Erprobung voll zu erfassen vermag. Deshalb wären alljährliche Kontrollbesichtigungen und Nachmessungen der stark beanspruchten Teile der Talsperren unbedingt zu empfehlen, bei denen auch erfahrene Geologen mitzuwirken hätten.

Solange man eine derartige wissenschaftliche Kontrolle der Talsperren nicht systematisch in Angriff nimmt, werden sich die feineren Uebergänge zwischen wirklich gesunden, bestandfähigen Bauwerken und den kranken, hinfälligen Geschöpfen sehr leicht unserer Einsicht und Voraussicht entziehen.