

Erlebte Geologie. Bauen in der Tiefe.

Von Dipl. Ing. Dr. Leopold Müller, Salzburg.

Vortrag, gehalten am 22. Jänner 1947.

In seinem Tagebuch der ersten Studienjahre kritisiert Hans Carossa die Einstellung seiner Zeit zur Geschichte: „Wir alle lebten damals in einem verhängnisvollen Irrtum, als wären alle Kriege und Wirren vergangener Jahrtausende nur dazu dagewesen, um uns Menschen des 20. Jahrhunderts endgültig ein ruhiges Leben zu sichern.“

Mit einer ähnlich naiven Einstellung sehen wir vielfach auch die Ereignisse der Erdgeschichte, als gehörten alle ihre weltgestaltenden Ereignisse der Vergangenheit an, wären im Gegenwärtigen abgeschlossen und wir lebten nunmehr in einer Art Schlußformation in der Entwicklung des Planeten. Zwar entspricht eine solche Einstellung im allgemeinen nicht den wissenschaftlichen Anschauungen unserer Zeit schlechthin; aber sie kennzeichnet immerhin das, was von diesen Anschauungen Allgemeingut geworden ist und sich unserem allgemeinen Weltbild eingefügt hat. Die meisten Wissenschaftler selbst sind allerdings von einer weitergehenden oder doch zumindset erst ausklingenden Erdentwicklung

überzeugt, wenngleich die Anschauungen über einen Vergleich der heutigen geologischen Geschehnisse mit denen früherer Epochen, weit auseinandergehen.

Aktualisten versuchten darzutun, daß Ablagerungen am Meeresgrund oder aus dem Winde auch heute noch und unter gleichen Bedingungen vor sich gehen, wie in früheren Epochen der Erdgeschichte und daß auch heute noch flüssige Schmelze aus dem Kern der Erde in Vulkanen zu Tage gefördert wird und daß alles, was heute in der Erdrinde vor sich geht, nach denselben Gesetzen abläuft, wie ähnliche Vorgänge in vergangenen Zeiten. Auch die Gegner solcher aktualistischen Auffassungen glauben freilich nicht ernsthaft an eine völlige Beruhigung des Planeten und an ein frühes Ende seiner Entwicklung. Aber sie bezweifeln, ob unter geänderten Bedingungen ähnliche Vorgänge analog ablaufen könnten, ja etliche ziehen sogar die Gültigkeit der heute herrschenden Naturgesetze für andere Zeiten und unter anderen Bedingungen des Druckes, der Temperatur und des stofflichen Aufbaues in Zweifel.

Sind nicht alle die verschiedenen Anschauungen des Aktualismus oder Historismus, sind nicht auch statische oder dynamische Auffassungen usw. und alle die vielen anderen Standpunkte im Grunde Unterschiede dem Erlebnis nach? Schauend erlebt der eine die Natur, erkennend der andere, in ihr arbeitend ein Dritter und es kann nicht wunder nehmen, daß sie alle nach der Verschiedenartigkeit ihres

Naturerlebnisses zu verschiedenartigen Anschauungen und Begriffen gelangen. Das unmittelbarste Naturerlebnis, das die Arbeit in der Natur selbst, in den Tiefen des Gesteins und an den Hängen ihrer Gebirge gewährt, hat der bauende Ingenieur als einen bedeutenden Gewinn aus seiner Tätigkeit zu buchen, der seine Spuren in die Erdrinde gräbt und ihr seine Bauwerke anvertraut und der sich oft und oft bei seinem Tun dem Haß der Elemente gegen alles Gebilde von Menschenhand preisgegeben sieht.

In der nahe gelegenen Stadt meiner Baustelle, der Hochgebirgsstrecke einer Alpenstraße, erreicht mich die Nachricht von einem schweren Unglücksfall. Ein bedeutender Bergrutsch hätte eine Arbeitspartie von 40 Mann mit in die Tiefe gerissen. Die Zahl der Toten soll mit acht gemeldet sein.

Das Telefon gibt keine Auskunft, da die Nummern aller betroffenen Stellen, offenbar im Zusammenhang mit dem Unfall, besetzt sind. Rasch, ohne meine Zeche zu bezahlen, ohne den Chauffeur zu suchen, springe ich in den Wagen und fahre, daß die Räder radieren, zur Baustelle.

Am Anstieg teilen sich die Wege; Süd- oder Nordrampe? Dort hat die Bergwacht vor kurzem ihren Weg genommen: also nach! Ich schinde den Motor die Straße hinauf. Anrainer, die mich kennen, deuten mit vielsagenden Gebärden hinauf auf den

Berg. Es muß sich wirklich Schreckliches ereignet haben.

Das erste Rettungsauto fährt talwärts. Schon 600 m über dem Talboden ist das fahrbare Straßenstück zu Ende. Zu Fuß geht es weiter über den grobstückigen Unterbau. Verletzte werden auf Bahnen getragen, die Gesichter mit Tüchern verdeckt. Eine rasche Frage ergibt, daß die Zahl der tödlich Verunglückten nicht acht, sondern drei sein dürfte. Weiteres Fragen wäre Zeitverlust. Schweißgebadet weiter aufwärts. Vielleicht kann am Ort noch etwas geholfen oder weiteres verhindert werden.

Das angestrengte Blut jagt durchs Gehirn und treibt eine wilde Jagd von Gedanken vor sich her. Alle Anordnungen, die gegebenen, wie die versäumten, stehen plötzlich klar vor dem Bewußtsein. Alle Pläne, Änderungen, Briefe, Fehler, die begangen, andere, die vermieden worden, sind mir gegenwärtig.

Wen trifft eine Schuld? Wen meiner Leute? Vielleicht mich? Lauter, eindringlicher und unausweichlicher ist dieses erste Selbstverhör, als später das des Richters sein wird, aber noch habe ich immer keine Vorstellung von dem, was eigentlich geschehen ist.

Da: ein wilder Knäuel von Bäumen, Felsblöcken, Rohren, Leitern, stellt sich dem überraschten Blick in den Weg, wo sich am Tag zuvor ein beinahe fertiges Straßenstück dem Felsenhang anschmiegte. Nicht wiederzuerkennen ist der Ort. Mit bestürzten Gesichtern stehen Leute dort und da herum, auf

denen noch die Spur eines großen Schreckens zu lesen ist. Einige Leichtverletzte liegen noch auf Bahren, ihnen wende ich mich zu, aber der Polier hat sie bereits versorgt. Er gibt nun endgültigen Bericht. Von den drei tot Gesagten, hofft man zwei durch raschen Abtransport noch durchzubringen. Einer wurde auf der Stelle von umstürzenden Bäumen erschlagen. Weitere 20 Mann tragen schwere und leichtere Verletzungen.

Was war eigentlich geschehen? Der Straßenabschnitt entlang einer ca. 200 m langen Felswand war so gut wie fertiggestellt. Während der ganzen Arbeit hatte sich nichts Verdächtiges begeben. Am Unfalltag wurde nur noch mit 40 Mann aufgeräumt, Leitungen abgetragen und Restarbeiten besorgt. Da hieß der Polier plötzlich, einer ihm selbst fast unbegreiflichen Eingebung folgend, ohne etwas Verdächtiges wahrzunehmen, die Leute ihre Werkzeuge aufzunehmen und an einer anderen Stelle arbeiten. Als sie eben abzogen, ging, ohne sich anzukündigen, aus dem Schichtverband bergseits der Straße ein Felsblock von ca. 7000 m³, so groß etwa wie ein Alpenhotel, in die Tiefe. Was nicht schon abgezogen war, oder noch fliehen konnte, riß er mit sich fort, Männer und Gerät: ein wilder Steinschlag großer Blöcke prasselte auf die Arbeiter nieder. Bäume stürzten durcheinander und gefährdeten noch die, die vom talfahrenden Block abzuspringen versuchten.

Wahrlich ein Glück, daß nicht, wie die erste Nachricht wissen wollte, alle vierzig Mann unter den Trümmern lagen!

Ich wende mich den städtisch gekleideten Fremden zu. Eine kurze Vorstellung, mißtrauische, prüfende Blicke. Staatsanwalt, Polizei und Bürgermeister, auch ein Arzt darunter. Dazu gesellt sich ein Ingenieur der staatlichen Bauaufsicht, der nicht versäumt, sofort alle Verdachtmomente einer Schuld auf die ausführende Unternehmung und damit auf mich zu lenken. Es folgt eine Einvernahme und eine kurze Debatte, welche schließlich mit meinem Vorschlag endet, das Gutachten eines Geologen einzuholen. Dieser soll entscheiden, ob das Ereignis vorzusehen und zu verhindern gewesen wäre, oder nicht. Denn danach wird das Urteil schuldig, oder nicht, zu lauten haben.

Als der Geologe eintrifft, ergibt seine Untersuchung folgenden Befund:

Einige 100 m lang wurde die Straße in eine Felswand eingesprengt. Das Gestein ist Dachsteinkalk, standfest und massig, in großer Mächtigkeit gebankt. Die Bankungsfugen haben etwa 40° Neigung und bilden im großen und ganzen die Oberfläche des Geländes. Sie sind kaum deutlich ausgebildet.

Obwohl es lange bekannt ist, daß talwärts fallende Steinschichten eines Berghanges nicht, oder nur unter vorsorglichen Vorkehrungen angeschnitten

werden sollten, damit ihnen der Fuß nicht entzogen wird, konnte man hier, im Vertrauen auf die große Mächtigkeit der Bänke und darauf, daß die Schichten ja bereits von der Natur angeschnitten waren und doch gehalten haben, von dieser Regel abgehen.

Monatelang war der Bau in dieser Weise vorgenommen worden, ohne daß sich etwas ereignet hätte. Da geschah just am Ende dieser Felswand das Unvorhergesehene. Das Gestein dieser letzten 30 m, welches zu Tal gegangen ist, war von dem vorigen Bereich durch eine saiger stehende Verwerfung abgetrennt. In diesem letzten Teil ist die Bankung des Gesteins nur noch von geringer Mächtigkeit. Dünne Bänke von 50 bis 80 cm liegen dort aufeinander und die Fugen sind zudem mit Lehm sozusagen geschmiert. Zwar wurden diese dünnen Bänke von der Liniengleichheit der Straße nur wenig angeschnitten, aber das wenige hatte genügt, den darüber liegenden Bänken den Halt zu nehmen. Wild durcheinander liegende, jedoch von Wald überwachsene Felsblöcke am Fuße des Hanges deuten darauf hin, daß vor Jahrhunderten wohl ähnliche Bergstürze an dieser Stelle zu Tal gegangen sind. Die Verwerfung war unter dem dichten Bestand des Waldes nicht zu erkennen gewesen, sie konnte bestenfalls während der Sprengarbeit festgestellt werden. Gleichfalls zeigte sich die dünnerne Bankung des Gesteins erst im Verlauf der Sprengarbeiten. Niemandem, weder dem Projektanten, noch der ausführenden

den Unternehmung kann nach dem Urteil des Geologen eine Schuld oder eine Fahrlässigkeit vorgeworfen werden.

Studienhalber, um aus dem Schaden klug zu werden, wird eine eingehende tektonische Kleinststudie gemacht. Da lehrt der Vergleich zweier Kluftmessungen vor und hinter der Verwerfung, daß eine solche Aufnahme, vor Baubeginn veranlaßt, ein andermal geeignet sein wird, zumindest Verdacht-momente aufzuzeigen und zu besonderer Vorsicht anzuraten. Denn während im dickbankigen Gebiet ganz wenig Klüfte in Richtung der Bankung festgestellt werden, so durchziehen solche in großer Zahl das Gestein des dünnbankigen Bereiches und bilden in der statistischen Aufnahme der Klüfte ein deutliches Häufigkeitsmaximum.

Für den weiteren Bau ergaben sich aus diesen Beobachtungen wichtige Folgerungen.

Im nächsten Bauabschnitt, in dem die geologischen Verhältnisse ganz ähnlich lagen, wurde eine ähnlich rutschgefährdete Strecke untertunnelt. Zwar hätte auch die Möglichkeit bestanden, die Trassenlinie weit aus dem Berg herauszurücken, die Straße also auf Brücken und Pfeiler zu setzen, um den Hang möglichst zu schonen, aber die zahlreichen Rippen und mauerartigen Formen des Geländes und die dazwischenliegenden Runsen, denen sich das Band der Straße nicht genügend eng anschmiegen

konnte, ohne auf eine zügige Fahrlinie zu verzichten, ließen eine solche Lösung nicht zu. Man hätte entweder sehr große Brücken oder eine schlechte Linie in Kauf nehmen müssen. So war es zwar teurer, aber besser, unter Tag zu fahren. und zwar wurde der Tunnel so projektiert, daß er möglichst tief im Berg zu liegen kam, wo der Stein gesünder zu werden verspricht, als außen.

Ein Stollen wurde vorgetrieben und später zum vollen Profil ausgeweitet. Wäre an dieser Stelle gleich zu Beginn der Projektierung ein Tunnel vorgesehen worden, so hätte man die Möglichkeit gehabt, ihn in mäßiger Steigung auszuführen; dazu war es nun schon zu spät, da unterhalb wie oberhalb dieser Strecke bereits fertige Straßenteilstücke Zwangspunkte der Linienführung bildeten. So mußte eine Steigung von 14% (d. i. so viel wie die Maximalsteigung der Glocknerstraße) aufgefahren werden, was der Förderung der Bergmassen beträchtliche Schwierigkeiten bot.

Abermals brachten die geologischen Aufschlüsse große Überraschungen. Man hatte festen Fels vermutet, aber ein äußerst bewegungssüchtiges Gebirge angefahren. Aufgeklüftet in Blöcke von Hausgröße, zerlegt durch oft meterweit geöffnete Klüfte, leer oder mit Lehm gefüllt, neigte das Gebirge während des Stollenvortriebes zu starken Bewegungen und erschwerte den Vortrieb trotz geringer Überlagerung durch ungeheueren Gebirgsdruck, da die ein-

zelnen Blöcke sich untereinander nicht verspannten, sondern mit ihrem ganzen Gewicht auf der Zimmerung des Stollens lagen. Noch 30 m unter Tag fanden sich Knochen abgestürzter Tiere, darunter das Skelett eines ganzen Schafes, noch mit dem Glöckchen um den Hals.

Deutliche Spuren verschiedenen Alters in verschiedenen Kluftfüllungen zeigten, daß die Gebirgsbewegungen jetzt noch andauern.

Um die rechten Vorkehrungen zu treffen, mußte die Natur und Herkunft dieser Gesteinsklüftung studiert werden. Der Erfolg dieses Studiums war, daß der Tunnel trotz großer Schwierigkeiten in erstaunlich kurzer Zeit durchgeschlagen und fertiggestellt werden konnte und daß sich bei seinem Bau nur ein einziger Unglücksfall ereignete. Dieser hatte übrigens seine Ursache nicht im Verhalten des Gebirges, sondern in der großen Steigung, die nur mehr mit Schrägaufzügen befahren werden konnte.

Fast alle geöffneten Klüfte standen senkrecht (unter Tag sagt man: saiger). Die Klüfte anderer Richtungen waren geschlossen geblieben. Diese Bruchstruktur in einen Bewegungsvorgang übersetzt, gibt das Bild eines Auseinanderfließens des Gesteins, denn es stand fest, daß die Klüfte nicht durch Auswaschung geweitet waren. Dazu waren ihre Schnittufer zu deutlich parallel geblieben. Die einzelnen Blöcke waren völlig parallel auseinander

gerückt. Das Gebirge hatte sich offensichtlich nach den Seiten hin gedehnt.

Der Dachsteinkalk dieses Massivs sitzt in einer Mächtigkeit von mehreren hundert Metern bis 1500 m auf Haselgebirge der Werfener Schichten auf. Rechnet man nach, daß 3,5 m Gesteinssäule auf ihre Unterlage einen Druck von einer Atmosphäre ausüben, so ergeben sich für die Grenzschichten zwischen Dachsteinkalk und Werfener Schichten Drücke von mehreren hundert Atmosphären, unter denen das Steinsalz, der Gips und Anhydrit dieser Schichten bereits plastisch nachgeben. Man wird an folgenden Vergleich aus der technischen Materialprüfung erinnert:

Ein Probewürfel aus Stein oder Beton, wie man solche in Prüfmaschinen zerdrückt, um über die Festigkeit des Materials etwas zu erfahren, bricht für gewöhnlich nach Diagonalbrüchen zu einem Doppelkegel. Legt man aber zwischen die Stahlbacken der Druckpresse und den Würfel Blei- oder Gummiplatten, welche seitlich nachgeben und ausweichen können, so spaltet der Würfel nach Bruchflächen parallel zur Druckrichtung auf.

In unserem Vergleich entspricht der Dachsteinkalk der unteren Hälfte eines solchen Würfels, das Haselgebirge einer solchen Bleiplatte. Es gibt dem Dachsteinkalk durch seine hohe Plastizität die Möglichkeit des Ausweichens und erklärt so die zahlreichen senkrecht stehenden und weit geöffneten

Klüfte. Die Druckbeanspruchung wird bei der Presse durch Öldruck, im Gebirge durch das Lasten des Gewichtes der ungeheuren Gebirgsmassen erzeugt.

Durch konsequente Überlegung waren die möglichen Gegenmaßnahmen gefunden. Die Beweglichkeit verursachte den Druck auf die Zimmerung. Ich ließ über Tag mit Sondiereisen systematisch allen offenen Fugen nachspüren und sie vergießen mit hunderten von Kubikmetern eines breiigen Betons. Dann wurden die Spalten wieder mit Rasen abgedeckt, um nicht unnötig Regenwasser eindringen zu lassen. Wo an den Hängen offene Klüfte zu Tage traten, und der breiige Beton wieder herausquellen konnte, wurden diese mit zahlreichen Mauerplomben geschlossen. Es wurde tatsächlich erreicht, daß der Ausbruch des vollen Querschnittes gegen weniger starken Druck anzukämpfen hatte, als beim Stollenvortrieb im kleineren Profil aufgetreten war. Ohne eine solche Maßnahme wäre der Gebirgsdruck ohne Zweifel noch größer gewesen als im Stollenvortrieb. Als Strecken besonderer Schwierigkeit blieben die beiden Mundlöcher des Tunnels zu überwinden. Ihnen wurde dadurch begegnet, daß von innen nach außen fortschreitend erst die gemauerte Tunnelröhre fertiggestellt wurde, welche dem Gebirge den nötigen Halt und Stütze gab. Zuletzt erst wurden die Voreinschnitte abgebaut.

Ein anderer Felskopf, der ebenfalls zu untertunneln war, war durch eine schräge nach außen

fallende Kluft durchschnitten, die just die Tunnelröhre querte. Auf ihr drohte bei der Durchführung des Tunnels der ganze hangende Teil des Felskopfes abzugleiten, zumal die Kluft mit Letten gefüllt, also sehr bewegungssüchtig war. Ein Ausweichen durch Verlegen der Trasse war in diesem Falle aus Gründen einer zügigen Linienführung nicht möglich. Hier wurde vor Beginn des Tunnelbaues der obere Teil des Kopfes durch einen 1000 m³ großen Mauerpfiler gestützt. Dann konnte ohne weitere Beschwerden der Tunnel ausgebrochen werden.

An der Unfallstelle selbst wurde der oberhalb des Rutschgebietes noch hängen gebliebene Fels durch einen riesigen liegenden Brückenbalken aus Beton vor einem nochmaligen Abrutsch gesichert. Starke Bündel von Eisenbahnschienen, in tiefe Schächte gestellt und mit Beton vergossen, nagelten diesen Brückenbalken auf seiner Unterlage fest.

Höchst persönlich und innerlich beteiligt, dramatisch fast erlebt der bauende Ingenieur die Probleme der Tiefe. Kräften, welche über alles Maß und Vorstellung gehen, muß er Halt und Widerstand bieten. In der Anwendung seiner Kunstmittel, die an menschlichen Maßstäben gemessen, groß und oft großartig sind, winzig aber und fast lächerlich im Vergleich mit den Dimensionen der Gebirge, deren Ruhe er aufstört, gelangt er zu einer bescheidenen Wertung der menschlichen Mittel und zur Ehrfurcht

vor den Kräften der Natur. Will man sich da wundern, wenn der Bauingenieur nach einer dynamischen Auffassung geologischer Probleme verlangt? und wenn er, der sich mit den Kräften der Natur zu messen hat, fordert, daß man diese messend verfolge? Man kann es, und zwar nach den Gesetzen, welche die Physik und im besonderen die Mechanik zur Erforschung von Bewegungen, Kräften, Kräftespielen und Kräfteplänen aufstellt. Wenn man weiß, wie wenig reine Fachgeologie von heute solchen berechtigten Wünschen nachkommt, versteht man den Ruf des Ingenieurs nach einer eigenen „Ingenieurgeologie“.

Die tektonischen Probleme, die Fragen des Gebirgsbaues sind zu einem sehr großen Teil Kraft-Körper-Probleme. Körpermassen von gewaltigem Ausmaß sieht sich der Geologe wie der Techniker gegenüber, die bewegt, verformt, zerbrochen und verfrachtet wurden und noch werden. Allenthalben tragen sie die Spuren dieser Ereignisse. Sie zu lesen ist eine reine Aufgabe der Mechanik, welche alle stofflichen Eigenschaften dieser Körper, ihre Elastizität und Plastizität, ihre Härte und Weichheit, Sprödigkeit und Zähigkeit eindeutig definiert und zueinander wie auch zum Verhalten der Körper unter dem Einfluß von Kräften und Bewegungen, in Beziehung setzt.

Ich glaube, es steht heute schon fest, daß nicht nur eine Mechanik für Geologen wird geschrieben

und gelesen werden müssen, sondern daß darüber hinaus eine Geomechanik als eigener Wissenszweig an der Naht der beiden einander leider so fremden Zweige der Mechanik und der Tektonik, wird angesetzt werden müssen; erst dann wird eine Lücke geschlossen werden können, deren Bestehen heute schon allenthalben peinlich empfunden wird.

Die ersten Ansätze zu einer solchen Geomechanik liegen vor. Bereits nach diesen ersten Versuchen darf man sich eine bedeutende wechselseitige Befruchtung für beide Gebiete, für die Tektonik vor allem eine schärfere Fassung ihrer charakteristischen Fragen versprechen. Wenn dieser Wissenszweig erst weiter ausgebaut sein wird, dann werden ohne Zweifel viele Fragen beantwortet werden können, die man heute kaum exakt zu stellen in der Lage ist. Denn ohne Zweifel wird eine solche physikalisch fundierte Behandlung geologischer Erscheinungen ein weiterer Schritt in Richtung einer vermehrten Exaktheit dieser Wissenschaft sein. Denn die Sprache und Symbolik der Physik sind wie die der Mathematik unmißverständlich und eindeutig scharf. Die Erdrinde aber ist voll solcher Probleme des Kräftespiels und der Kräfteübertragung. Allenthalben unterliegen die Schollen ihrer Kruste Spannungen, die bis zum Bersten hoch sind.

Bei einem Eisenbahnbau entlang den Fjorden Nordnorwegens überraschte uns das Auftreten von

Knallgebirge, in einem Gestein, dem niemand ein solches Verhalten zugetraut hätte. (Unter Knallgebirge wird das tückisch plötzliche Ablösen von Gesteinsplatten von der Firste, d. i. von der Decke des Stollens oder Tunnels, verstanden, welches oft mit lautem Knall vor sich geht und sehr gefährlich werden kann).

In demselben Tunnel, aber auch in anderen, war schon aufgefallen, daß an manchen Orten die Sprengschüsse weit stärker streuten als gewöhnlich. Bis 80 m weit flog das Haufwerk, das sonst gewöhnlich vor der Brust des Stollens liegen bleibt. Überraschender Weise gab es auch Stollenvortriebe in dieser Gegend, wo das Entgegengesetzte beobachtet wurde; eine ganz unerklärlich geringe Sprengwirkung bei gleicher Menge, gleich guter Munition; ja sogar ein Ausbleiben der erwünschten Wirkung. Der Zufall lieferte mir eine günstige Gelegenheit in die Hand, dieser Erscheinung auf den Grund zu gehen. Es waren zwei Stollen in nahezu aufeinander senkrechten Richtungen anzulegen, beide unmittelbar benachbart und im selben Gestein gelegen. Die Sprengwirkung, bzw. der Munitionsverbrauch in beiden Stollen verhielt sich etwa wie 1 : 2,5. Der Anfall an Arbeitsstunden für den Kubikmeter gelösten Felsens sogar wie 1 : 4,5. Sogar die reine Bohrarbeit mit den bekannten Preßlufthämmern ging in einem Stollen weniger gut vonstatten als im anderen.

Zunächst lag nahe, den Unterschied auf das gerichtete Gefüge und die unterschiedliche Bindung der Körner, aus denen sich das Gestein aufbaut, zurückzuführen. Denn tatsächlich lag der Stollen mit der guten Leistung normal zur Schieferung des Gesteins, welches als Karbonat-Gneis angesprochen wurde, der mit der schlechten Vortriebsleistung im Streichen der Schieferung. Jedoch reichen solche Unterschiede bei weitem nicht hin, eine so sehr verschiedene Wirkung zu erklären, zumal die gleichen Richtungsunterschiede an anderen benachbarten Orten nur ganz unmerkliche Abweichungen in der Bohr- und Gewinnbarkeit des Gesteins ergeben hatten.

Ein Kesselschuß führte mich auf die Spur. (Unter einem Kesselschuß versteht man eine geballte Sprengladung in einem Bohrloch, dessen Ende kesselförmig ausgeweitet wird und dadurch eine große Menge Munition aufnehmen kann; das Ausweiten dieses kleinen Kessels geschieht durch „Schnüren“, d. h. durch Abschießen kleiner, sehr brisanter Ladungen, welche das Gestein im kleinen Umkreis zertrümmern, so daß durch Auskratzen oder Ausblasen der Kessel vom Gesteinsmehl und Grus geleert werden kann.) Beim Schnüren eines solchen Kessels löste sich unter Wirkung dieser ganz geringen Schnürladung unerwartet ein großer Gesteinsbalken aus dem Verband seiner Umgebung, und zwar reckte sich dieser zuvor deutlich gekrümmte Balken nun

gerade und gestreckt in die Luft. Ich rechnete die Spannung nach, welche notwendig sein mochte, ihn in seiner zuvor gebogenen Stellung zu halten. Die Rechnung ergab unerklärlich hohe Werte, die die Festigkeit des Gesteins gegen Biegung bei weitem überschritten. Sie konnten nur erklärt werden, wenn man annahm, daß dieser Biegespannung eine erhebliche Druckspannung überlagert ist, welche in der ganzen Gegend herrschen muß. Der Spannungszustand wurde weiter rechnerisch verfolgt und erklärt tatsächlich sowohl das knallende Ablösen von Gesteinsstücken von der Stollenfirste, wie auch die verschieden gute Sprengwirkung in den beiden Stollen verschiedener Richtung. Diese war einmal durch die latente Verspannung des Gesteins begünstigt, in der Richtung quer dazu abgeschwächt.

Durch diese glückliche Entdeckung aufmerksam geworden, suchte ich die Umgebung der Baustelle nach geologischen Details ab. Dabei fand sich eine Kluft im Gestein, klein und anscheinend unbedeutend, aber doch so geartet, daß sie allein imstande gewesen wäre, allen nötigen Aufschluß zu geben, wenn man sie früher beachtet hätte.

Die Kluft, etwa $1\frac{1}{2}$ m lang, messerscharf gerade und völlig geschlossen, beißt schräg zur Schieferung des Gneises an der Oberfläche aus. Die Schiefertextur ist durch die Verwitterung deutlich herauspräpariert und gestattet ein seltenes Mal die Rela-

tivverschiebungen beider Klufränder gegeneinander messend zu verfolgen. Denn es ist, trotzdem sie an beiden Enden blind im Gestein endet, ohne etwa durch andere Klüfte abgegrenzt oder abgeschnitten zu sein, eine Verschiebungskluft, d. h. eine Kluft, längs der sich die benachbarten Gesteinspartien glatt aneinander verschoben haben.

Die mathematische Untersuchung, die sehr ins Einzelne ging, würde hier nur einen Teil der Anwesenden interessieren, es sei deshalb lediglich das Ergebnis mitgeteilt: beide Klufränder haben sich nicht, wie zu erwarten, gleichmäßig oder symmetrisch gegeneinander verschoben, sondern die Verschiebung des einen Kluftufers konzentriert sich nahezu auf einen einzigen kleinen Bereich nahe dem einen Ende, die des anderen auf einen kleinen Bereich am entgegengesetzten Kluftende. Mechanische Betrachtungen gestatten daraus direkt den Mechanismus einer solchen Kluftbildung, ihre Anlage und Weiterbildung abzulesen. Gleich einer Welle gehen demnach angesammelte Spannungen durchs Gestein, in deren Spannungsschatten unmittelbare Entlastung folgt. Vor und hinter der Kluft ist weder eine Verbiegung der Schieferungszeichnung, noch sonst eine Störung zu bemerken. Ein solches Nebeneinander stark verformten und nahezu unverformten Materials kann aber nur durch sehr beträchtliche Eigenspannungen erklärt werden, welche latent im Gestein vorhanden sind.

Es war dieses Beispiel eine seltene Gelegenheit, latente Gesteinsspannungen geradezu mit rechnerischer Sicherheit nachzuweisen; vorhanden sind solche jedoch auch ohne Zweifel an ungezählten Orten, an denen ein solcher Nachweis nicht oder noch nicht gelingt.

Unter hohen, ja unter höchsten Spannungen, unter Zerrungen und Pressungen steht allenthalben das Material der Erdkruste und nur wenige Teile sind davon minder berührt, keiner ausgenommen. Gewaltsame Volum- und Gestaltänderungen sind der Kruste aufgezwungen. Bis zur völligen Erschöpfung seiner Festigkeit ist ihr Material beansprucht und wir sehen es allerorts geborsten, von Klüften und Spalten durchzogen, durch und durch zerbrochen und noch brechend. Nur der langsame Ablauf der Ereignisse, — langsam, gemessen an unserer Lebenszeit — lässt uns dies letztere häufig übersehen. Doch erinnern uns Erdbeben und recente tektonische Erscheinungen an eine notwendige Korrektur unserer Vorstellungen. Je tiefer wir in die Erscheinungswelt der geomechanischen Abläufe eindringen, desto mehr werden wir unser Erdbild sozusagen auf höhere Spannungen transformieren müssen; wir werden lernen müssen, zu sehen, wie das Material der Kruste fast stets bis an seine Bruchgrenze beansprucht ist.

So weit auch die Kruste im Gleichgewicht verharrt — oder noch im Gleichgewicht zu verharren scheint — ist dieses Gleichgewicht beileibe nicht immer ein solches der Ruhe, sondern meist ein Gleichgewicht der Bewegung. Wir müssen dieses Gleichgewicht als umso empfindlicher gegen Störungen, umso labiler ansehen, je höhere Spannungen und Beanspruchungen in der Materie herrschen. An einem Gleichgewichtssystem großer Kräfteansammlungen genügen oft schon kleine Kraftäußerungen, um die größten Veränderungen lawinenartig auszulösen.

Es ist der Vorteil der exakten mechanischen Behandlung tektonischer Probleme im mathematischen Gewand, daß ihre Beweise prüfbar und ihre Erkenntnisse bar aller gefühlsmäßig erfaßten Meinungen sind; und doch ist es notwendig, um dieses Verfahren mit Erfolg anzuwenden, sich zunächst ein feines Gefühl für die Vorgänge im Inneren der Materie erworben zu haben. In Spannungen zu denken, ist das erste Ausbildungsziel angehender Techniker und wie überall, so gilt auch hier, daß man etwas selbst erlebt haben muß, um es wahrhaft zu erkennen.

Man muß mit wachsender Spannung vor der Zerreißmaschine gestanden haben, in der ein arm-dickes Stahldrahtseil gereckt wird, bis es mit einem lauten Knall zerreißt, um es mitzuempfinden, wie die Materie alle ihre inneren Widerstände, die wir

Spannungen nennen, mobilisiert, um so die Formänderung, die dem Körper von außen aufgezwungen wird, möglichst lange ohne Bruch zu erdulden. Man muß einem Druckversuch plastischer Körper beigewohnt haben, um zu sehen, wie diese fließend und selbst brechend noch das Bestreben, wenn wir so sagen dürfen, fortsetzen, unter Aufgabe sinnlosen Widerstandes das Äußerste zu vermeiden. Wer es so erlernt hat, in Spannungen zu denken, die Anstrengung der Materie nachzuempfinden, der sieht, wenn auch nur mit dem geistigen Auge, wie sich eine Brücke unter der Last eines fahrenden Zuges um ganze Zentimeter durchbiegt, um diese Last ertragen zu können, der meint zu sehen, wie sich ein Teil ihrer Fachwerkstäbe verkürzt und verdickt, ein anderer Teil hingegen schlanker dehnt, um diese Riesenbeanspruchungen, die mehr als die Hälfte der Bruchlast ausmachen, auszuhalten.

Man muß einsam im finsternen Stollen hunderte von Metern unter Tag gehört haben, wie sich von den Ulmen (so heißen die Wände im Stollen) die Steinchen mit kicherndem Geknister ablösen, um ein Gefühl für die ungeheure Beanspruchung zu bekommen, welche im Gestein der Tiefe herrscht und welche groß genug ist, im Laufe der Jahrhunderte alte Stollen immer enger und enger werden zu lassen, so daß man heute kaum noch drinnen kriechen kann, wo man im Mittelalter zumindest gebückt gehen konnte.

Im Tunnel durch das Mittertörl an der Großglocknerstraße stellten wir die Hölzer des Verbaues — die wir Zimmerung nennen — Mann an Mann und wir nahmen die stärksten, die erhältlich waren. Und doch preßten sie sich und verbissen sich unter dem Druck des Gebirges ineinander, daß das Wasser herauslief und daß sie oft S-förmig und schlangenförmig derart verbogen wurden, daß die Verbiegung von weitem mit freiem Auge zu sehen war. Wir verstärkten sie mit stählernen Trägern und dennoch zersplitterten sie wie Zündhölzer und der Tunnel stürzte eines Tages ein und hielt die Männer, die drinnen arbeiteten, über einen Tag verschüttet.

Ein solcher Einsturz geht nicht nieder, ohne sich vorher anzukündigen. Die Hölzer knistern und knakken, ein Ächzen und Stöhnen ist tagelang zuvor hörbar. Das Holz spricht, sagt der Mineur.

Unter Moränensanden allerdings erlebte ich am Bau eines unterirdischen Großbauwerkes in 24 m Tiefe einmal auch einen Einsturz einer Baugrubenzimmerung, der wie ein Schlag erfolgte, ohne sich vorher anzukündigen. Der Sand ist tückischer als der Stein. Er fließt, wenn die Bedingungen der inneren Reibung dafür durch Feuchtigkeit oder Auflockerung erreicht sind, wie Wasser. Damals splitterten 16 cm starke Balken beinahe zu Fasern auf.

Auf der Kanalinsel Guernesey ereignete sich ein Tunnelverbruch, der ein beredtes Beispiel dafür ist,

wie manches Unheil durch eine geeignete geologische Voruntersuchung verhütet werden könnte.

Wir hatten dort von zwei alten verlassenen Steinbrüchen aus in den praekambrischen Diorit, einen Stein von ungemein großer Härte und Zähigkeit, Stollen vorzutreiben und auszuweiten. In beiden Steinbrüchen war der Stein so gesund, daß niemand im Inneren des Berges etwas anderes anzutreffen gedachte. Eine geologische Untersuchung unterblieb daher zunächst, bzw., wie sich nachträglich herausstellte, war sie vor Beginn der Arbeiten durchgeführt, aber der Unternehmung nicht zugänglich gemacht worden. So dachte man auch nicht daran, mit besonderer Vorsicht beim Bau vorzugehen. Der Stollen war mit Erfolg durchgeschlagen und hatte auch weiter keine Überraschungen gebracht, als die, daß doch wider Erwarten der Stein nicht überall gesund war, sondern in manchen Strecken verbaut werden mußte.

Bei der Ausweitung zum großen Profil stürzte plötzlich und unvermutet an einer Stelle die Decke ein. Mit überraschender Heftigkeit gingen große Verbruchmassen nieder, so daß Steine und Hölzer und zur allgemeinen Überraschung auch Erde in einem unbeschreiblichen Chaos durcheinander lagen. Glücklicherweise kam trotz dieses raschen Verlaufes niemand dabei zu Schaden, weil der Einsturz in der Arbeitspause um Mitternacht geschah (wie über-

haupt der größte Teil der Unglücksfälle im Tunnel in der Nacht geschieht).

Ich wurde geweckt und als wir vorsichtig in den Hohlraum über dem Verbruch hineinkrochen, befanden wir uns in einer hohen weiträumigen Glocke, von deren Decke unaufhörlich Steine und Erdklumpen niederpatschten. Die Überlagerung war nur etwa 14 m mächtig und es bestand Gefahr, daß die Glocke so rasch nach oben wüchse, daß vielleicht schon in ein oder zwei Tagen das darüber stehende bewohnte Haus und der Tennisplatz darin verschwinden würden. Hier war schnell zu handeln. Ich ließ die Stelle des Verbruches ober Tag einmessen, über ihr ein Bohrrohr abteufen und durch dasselbe Sand und Mörtel wagenweise eingießen, so lange bis der schädliche Hohlraum zum größten Teil ausgefüllt war und wir in Ruhe durch das Gewirr von Hölzern, Stein und Erde einen neuen Stollen von innen her vorstreiten konnten.

Nun rückte auch der Bauherr mit der geologischen Voruntersuchung heraus. Durch Probebohrungen war von oben her die Felslinie festgestellt worden und diese zeigte an der Stelle, an der sich später der Verbruch ereignete, ein altes Tal im Felsen eingeschnitten, dessen Sohle wir bei der Erweiterung des Gesteins zum Tunnel angefahren hatten. Es war in späteren Zeitschichten mit dem erdigen Boden seiner Hänge zugefüllt worden. Dieses erdige Material bildete, ob seiner geringen Verspannung und Festig-

keit, einen bedeutend höheren Druck auf die Zimmerung des Tunnels aus und brachte diese zum Einsturz. Anhand einer Detail-Aufnahme stellte ich fest, daß wie so oft die eine Flanke dieses Tales einem Zerrütterungsstreifen gefolgt war, die andere Talflanke ließ mich das Ende des einsturzgefährlichen, weil zerrütteten Streifens vermuten, was sich denn auch wirklich beim Vortrieb bestätigte.

Dieses Beispiel zeigt übrigens mit großer Eindringlichkeit, mit welch sicherem Gefühl die Menschen, die vor 800 Jahren diese Steinbrüche angelegt haben, im weiten Umkreis den rechten Ort für den gesündesten Stein zu finden wußten. Wenige Meterzehner daneben stand gebrächer Fels an. Wir Heutigen, die wir gesunden Fels für unsere Bauten suchten, haben ein solches Gefühl nicht mehr und tappten just in den Bereich zerrütteten Gesteins hinein.

Ein Drang und Zwang ist alles, ein unentwegtes Pressen, Zerren, Bersten, Fließen, ein Schieben und Geschobenwerden, ein Spiel und Widerspiel von Kräften, einerlei ob Ruhe oder Bewegung in den Teilen herrscht. Das alles ist zwar hinreichend bekannt, und ist es doch noch nicht so allgemein wie es sollte. Wohl denkt der Geologe an dieses Spiel ungeheurer Kräfte, wenn er die großen gebirgsbildenden Fasen der Erdgeschichte vor Augen hat. Mag er sie sich aber revolutionär, katastrophenartig

oder evolutionär, als zügige Entwicklung vorstellen, denkt er sich doch im übrigen, nach Abschluß solcher Gebirgsbildung für gewöhnlich Ruhe und verwechselt diese überdies nicht selten mit Spannungslosigkeit. Der Techniker erlebt es anders. Von seiner Theorie her weiß er schon, wie in jedem gegossenen, geschmiedeten, oder sonst wie bearbeiteten Körper nach Abschluß seiner Formgebung unvermeidliche, ganz beträchtliche Spannungen, Eigenspannungen, Gußspannungen, zurückbleiben. Im Gebirge erlebt er täglich die Auswirkung solcher recenter Spannungen.

Eine wirkliche Ruhe aber gibt es kaum. Denn schon diese zurückbleibenden Spannungen und Beanspruchungen, welche von den wirksamen Kräften in gleicher Weise wie von der Körperform abhängen, müssen sich nicht nur ändern, so oft die Kräfte ihre Größe oder Richtung wechseln, sondern auch schon dann, wenn die Körperform eine andere wird. Dies ist aber infolge von Verwitterung, Abtrag oder Sedimentation fortwährend der Fall, wenngleich diese Geschehnisse langsam vor sich gehen.

Alle diese Veränderungen im Beanspruchungsplan unserer Erde übersehen wir leicht, die wir in unserer Kurzlebigkeit gerne uns selbst zum Maß der Dinge machen. Wenn wir das Bild der Erde betrachten, haben wir die gewohnten täglichen Maßstäbe zu verändern. Mit physikalischer Notwendigkeit gehört zu den Riesendimensionen des Raumes

ein ihnen angemessener Maßstab der Zeit. Der Geologe muß mit dem Auge des Zeitraffers sehen. Er war es ja, der uns überhaupt erstmalig einen Maßstab der Zeit zu entwerfen vermochte, welcher nicht von unserem kurzen Leben gegriffen war.

Vom Maßstab der Zeit aber hängt es ab, ob wir eine mechanische Erscheinung noch als ein statisches Phänomen, als ein Spiel ruhender Kräfte betrachten dürfen, oder es unter Einschluß der ablaufenden Bewegung als ein dynamisches anzusehen haben. Denn Statik setzt ein unendlich langsames Anwachsen von Kräften voraus. Sie schaltet die Zeit im mechanischen Geschehen aus. Dynamik berücksichtigt Bewegung und damit die Zeit. Denn Bewegung ist Veränderung in der Zeit. Für sie, die die Wirklichkeit erfaßt und ihr in höherem Maße gerecht wird, ist die statische Betrachtung lediglich eine Fiktion, eine Denkvereinfachung.

Bekennen wir uns zu dynamischen Auffassungen in der Geomechanik, so weicht die Symmetrie der Formen und der Abläufe aus unseren Vorstellungen. Man könnte den Satz wagen:

Eine Kraft A und ihre Gegenkraft B sind dynamisch gesehen nicht mehr schlechthin entgegengesetzt gleich groß und im Gleichgewicht; in den Dimensionen der Erdrinde bestand ein solches Gleichgewicht gar nie; hätte es bestanden, dann wäre niemals etwas passiert. Kraft und Bewegung

sind ja Begriffe, die nur fiktiv von einander gelöst und für sich betrachtet werden können, denn es gibt in der Wirklichkeit strenge genommen keine Kraft ohne eine Bewegung, wie es keine Bewegung ohne eine Kraft geben kann. Beide sind von einander nicht zu scheiden, denn sie sind nur abstrakte, abstrahierte Denkkomponenten des der Materie innenwohnenden Impulses.

Kommt eine materielle Masse von einer gewissen Impulsgröße mit einer anderen in Berührung, so will sie dieser ihren Impuls aufzwingen. Die andere sammelt Widerstände, mobilisiert ihre inneren, dann ihre äußeren Reaktionen, „Kräfte“ werden spürbar, aus der Bewegung geboren. In gleichem Maße regen sich nun erst auch in dem Körper, von dem die erste Ursache, die Aktion ausging, solche Gegenkräfte. Zwischen Aktion und Reaktion aber schaltet sich die Zeit und so erst wird das Gefüge der Welt in Gang gehalten. (Wir kennen ein ähnliches ja auch im Leben des Menschen, des einzelnen, wie seiner Völker). In unserer Kurzlebigkeit merken wir an den geologischen Abläufen das Rinnen der Zeit nicht oder kaum, und es besteht für uns zwischen ihren Aktionen und Reaktionen oft genug eine Ungleichung statt einer Gleichung. Das Gleichheitszeichen, das in den Berechnungen des Kräftespiels der Statik symmetrisch nach beiden Seiten lesbar ist, bekommt in der Dynamik sozusagen eine Richtung, es gibt so etwas wie eine Entropie der Bewegungs-

äußerungen. Dieser asymetrischen Kraftübertragung entsprechen asymetrische Formen der Gebirgsbildung: Aufschoppungen, Zusammenschoppungen, Wulstungen, anstatt symetrischer Falten mit Mulden und Sätteln.

Und so fügt der, der die Abläufe der Geschehnisse dynamisch sieht, dem Panta rhei des Philosophen die Erkenntnis des Technikers hinzu: Alles ist Kraft; und er geht der Kausalkette von Ursachen und Wirkungen nach und erlebt bewundernd, wie diese weder Anfang noch Ende zu haben scheint und alles „sich im ganzen trägt.“

Aktion und Reaktion sind in einer solchen Schau der Dinge dann kaum mehr zu unterscheiden. Ihre Scheidung gilt streng genommen nur für einen gewissen menschlichen Standpunkt, nicht aber absolut.

Je nach dem Standpunkt, den wir den Dingen gegenüber einnehmen, erhalten wir ein verschiedenes Bild von ihnen und umgekehrt enthält ein jedes Bild in nuce den Standpunkt, von dem aus es betrachtet wird. Keinen Standpunkt aber gibt es für uns, von dem aus man alles unverzerrt sehen könnte. Streiten wir darum nicht, welcher Standpunkt der richtige sei, und begnügen uns damit, daß der unsere ein richtiger sei. „Alles ist Weg“ sagt Morgenstern. Bemühen wir uns aber stets aus den ursprünglichen Quellen zu schöpfen: aus dem Erlebnis. Die Wissenschaft, zu der wir diese Quellen fassen, wird lebendig und darum fruchtbar sein.