

Über einige zu wenig beachtete Gefahren für den Bau von Wasserkraftanlagen in den Alpen

Von Hans Peter Cornelius, Wien

Die Alpen unterscheiden sich von den deutschen Mittelgebirgen nicht nur dadurch, daß sie absolut und relativ höher, daß ihre Gehänge steiler sind, ihre Täler ein größeres durchschnittliches Gefälle besitzen. Sondern sie sind auch — mindestens in gewissen Teilen — in viel höherem Grade lebendiges Gebirge.

Wir wissen heute, daß die tektonischen Bewegungen, welche die Alpen geschaffen haben, bis in sehr junge geologische Vergangenheit angedauert haben: bis in die Eiszeit. Maßgebende Alpengeologen, wie O. Ampferer oder J. Stiny¹⁾, sind der Ansicht, daß sie auch heute noch (in zahlreicheren Teilgebieten wenigstens) fort dauern. Dem ist grundsätzlich auch gewiß zuzustimmen. Im Einzelfall freilich ist ihre Fortdauer zumeist schwer exakt nachzuweisen; immerhin gibt es einen Fall, bezüglich dessen sich alle Beobachter aus den letzten Jahren einig sind: es sind die Karawanken, die heute noch langsam gegen das Klagenfurter Becken nach Norden vorrücken.

Wir müssen also grundsätzlich jedenfalls mit der Fortdauer tektonischer Bewegungen in den Alpen rechnen. Und zwar können wir sie — wenn wir absehen von ihrer Bedeutung für den Gebirgsbau und nur nach dem Ablauf des Bewegungsvorganges fragen — in zwei Gruppen teilen:

1. Stetige Bewegungen: stetig zunächst, was den zeitlichen Ablauf betrifft, der mit äußerster Langsamkeit erfolgt, so daß wir — mindestens ohne besondere Hilfsmittel — gar nichts davon merken. Und im großen ganzen werden die Bewegungen dieser Art an der Erdoberfläche auch räumlich stetig verlaufen, d. h. zwei beliebige Punkte mit unendlich kleinem Abstand werden auch im Verlauf der Bewegung stets den unendlich kleinen Abstand beibehalten. Es sind vor allem relative Hebungen und Senkungen, mit denen wir zu rechnen haben; oder wohl in den meisten Fällen beide miteinander verknüpft zu wellenförmigen Verbiegungen großer Spannweite. Zum Beispiel sprechen manche Beobachtungen dafür, daß das Becken von Zell am See mitsamt den benachbarten Talweitungen des Pinzgaues sich abwärts bewegt, während die Glocknergruppe, welche die durchschnittliche Gipfelhöhe der benachbarten Zentralalpen um mehrere 100 m überragt, sich in entsprechendem Aufstieg befindet.

Bewegungen dieser Art bedeuten für die Technik im allgemeinen nicht allzu viel. Am ehesten werden sie sich auf langen Stollenstrecken bemerkbar machen, deren Gefälle sie vergrößern oder verringern werden; gewöhnlich vergrößern, da ja die Stollen normalerweise vom Berg zum Tal, d. h. vom Hebung- zum Senkungsbereich geführt werden. Fallweise, z. B. bei Überleitungen in ein fremdes Talgebiet, wird aber auch mit Gefällsverringerungen zu rechnen sein. Doch wird man kaum befürchten müssen, daß nun etwa ein Stollen plötzlich wegen Umkehr des Gefälles seinen Zweck nicht mehr erfüllen wird; denn es werden ja Jahrzehnte, vielleicht Jahrhunderte vergehen, bis man da überhaupt etwas merkt; und im schlimmsten Falle wird wohl stets durch eine kleine nachträgliche Korrektur der Stollensohle dem Übel abzuhelfen sein.

2. Unstetige, ruckweise Bewegungen. Sie sind dem Nicht-Geologen viel geläufiger, da auch er sie als Erdbeben zu spüren bekommt. Wenn von ihrer Bedeutung für die Wasserbautechnik bei uns noch wenig die Rede gewesen ist, so wohl deshalb, weil sie als verhältnismäßig seltene Erscheinung gelten.

Das ist jedoch ein Irrtum. Ich führe allein aus den zwölf letzten Jahren aus den deutschen Ostalpen folgende stärkere Beben an (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne Berücksichtigung der vom italienischen Alpenabhang, vom Laibacher und Wiener Becken ausgehenden Erschütterungen):

- 14. 5. 1929: Erdbeben im Gailtal und in den Hohen Tauern;
- 8. 10. 1930: Erdbeben von Namlos in den Lechtaler Alpen;
- Herbst 1935: } Beben im südlichen Koralpengebiet;
- Frühjahr 1936: }
- 3. 10. 1936: Erdbeben von Obdach und Reichenfels im Lavanttal;
- Oktober 1939: Erdbeben von Bruck an der Mur;
- Herbst 1939: Erdbeben im Gebiete des Wiener Schneeberges.

Von diesen Beben haben das von Namlos und das von Obdach-Reichenfels den Stärkegrad 8 erreicht, der durch Bildung von Mauerrissen, Herabfallen von Schornsteinen usw. bezeichnet ist. — Habituelle Schüttergebiete sind insbesondere die Zone des Gail- und Drautales (wohl zusammenhängend mit der Nord-Bewegung der Karawanken; vergl. oben!) und die Mur-Mürz-Furche. Aber Erdbeben sicher ist kein Teil der Alpen!

Fragen wir nach der Bedeutung der Erdbeben für den Bau von Wasserkraftanlagen, so können wir — insbesondere nach Erfahrungen in anderen, noch mehr erdbebengefährdeten Ländern (Italien, Kalifornien) — sagen, daß eine solid gebaute, auf einheitlichen gesunden Fels gegründete Sperrmauer durch Beben der bei uns vorkommenden Stärkegrade kaum ernstlich bedroht werden wird. Aber nicht überall sind die Bodenverhältnisse günstig; und es ist ja vielfach das Bestreben der Technik, auch ungünstige Verhältnisse zu meistern. Solange sie nur statische Beanspruchungen ins Auge fassen muß, solange ist dagegen auch nichts einzuwenden (sofern natürlich mit der nötigen Sorgfalt vorgegangen wird). Aber gefährlich kann die Sache werden, wenn dynamische Beanspruchungen hinzutreten.

Der wohl gefährlichste Fall sei hier näher ausgeführt: der Fall, daß eine größere Verwerfung eine Sperrstelle quert. Eine Verwerfung ist bekanntlich eine meist mehr oder minder steilstehende Bewegungsfuge in der Erdrinde, deren beide Seiten in horizontaler oder vertikaler Richtung — gewöhnlich beides zugleich — gegeneinander verschoben sind. Größere Verwerfungen zeigen sich meist nicht als einfache glatte Schnitte im Fels, sondern als Zerrüttungsstreifen bis zu 100 m Breite und darüber. Da sie den von außen einwirkenden zerstörenden Kräften weniger Widerstand entgegensetzen als der gesunde Fels, sieht man sie in der Gebirgsoberfläche häufig in Gestalt von Scharten, Rinnen, auch von Bändern und Terrassen, wo sie dem Steilgehänge parallel austreichen; in tieferen Lagen folgen ihnen gerne die vom Wasser eingeschnittenen Täler, und hier vor allem macht die Wasserbautechnik Bekanntschaft mit ihnen. Hier aber entziehen sie sich auch mit Vorliebe der Aufmerksamkeit des Geologen, weil sie unter dem Talschutt austreichen, während er ihre Fortsetzung am Talgehänge oder gar in der Hochregion gewöhnlich ohne künstliche Aufschlüsse wird feststellen können.

Hieraus ergibt sich als erste Forderung: keine Planung, ohne daß eine genaue geologische Aufnahme nicht nur der unmittelbaren, sondern auch der weiteren Umgebung der Sperrstelle vorliegt! Das mag eine Selbstverständlichkeit scheinen; aber da in den Zentralalpen für große Gebiete — und gerade für solche, deren Wasserkräfte gegenwärtig im Vordergrund des Interesses stehen — die letzten geologischen Aufnahmen 50

¹⁾ Der auch schon ähnliche Folgerungen hieraus gezogen hat wie der Verfasser; vgl. J. Stiny, Bewegungen der Erdkruste und Wasserbau; »Die Wasserwirtschaft« (Wien) 1926, Nr. 7 u. f.

und mehr Jahre zurückliegen, ist es notwendig, mit allem Nachdruck darauf hinzuweisen.

Die weitere Forderung ist: gründliche Voruntersuchung der Sperrstellen, soweit nicht der Felsuntergrund zusammenhängend aufgeschlossen ist. Neben der Aushebung von Probeschlitzen — einzelne Bohrungen genügen zumeist nicht! — wird man hier oft mit Vorteil das geoelektrische Meßverfahren heranziehen.

Im allgemeinen werden nun solche, Verwerfungen begleitende Zerrüttungstreifen unter den Gesichtspunkten verringerter Standfestigkeit und Tragfähigkeit, erhöhter Wasserdurchlässigkeit betrachtet. Aus ihrer Entstehungsweise aber geht eine weitere, unangenehme Eigenschaft hervor: als Bewegungsfugen des Gebirges können sie dort, wo die Bewegungen noch nicht abgeschlossen sind, z. B. in den Alpen, auch in Zukunft noch Verstellungen ihrer beiden Seiten gegeneinander erleiden; und das sind eben die Bewegungen, die als Erdbeben fühlbar werden.

Zwei Fälle sind da zu unterscheiden: entweder nimmt das Beben seinen Ausgang von der an der Erdoberfläche sichtbaren Verwerfung. Bekanntestes Beispiel: die großen kalifornischen Beben, die auf Verschiebungen an der (der Küste parallel verlaufenden) St. Andreas-Verwerfung zurückgehen; jenes von 1906, das San Francisco zerstörte, war dort von Verschiebungen im Betrage von 3—4 m begleitet. So große Bewegungen kommen nun bei uns zum Glück nicht vor; aber mit solchen von Zentimetern, vielleicht von Dezimetern wird zu rechnen sein. Bei diesem Ausmaß entziehen sie sich — von besonders günstigen Fällen abgesehen — der unmittelbaren Wahrnehmung leicht; zu ihrem exakten Nachweis wäre es notwendig, sich entsprechende Punkte zu beiden Seiten der Verwerfung zu markieren und dauernd durch Feinnivellement zu kontrollieren.

Der andere mögliche Fall ist der, daß die von irgendwoher an die Verwerfung herankommenden Erdbebenwellen an ihr verstärkt werden; das kann man sich wohl am leichtesten in der Weise vorstellen, daß der jeweilige Schwingungszustand zu beiden Seiten der Verwerfung verschieden ist. Am schönsten zu sehen war solches bei dem süddeutschen Erdbeben vom 16. November 1911, das von der Schwäbischen Alb seinen Ausgang nahm, an einer ganzen Reihe von zum Teil recht weit ab liegenden Verwerfungen — Bodensee, badisches Rheintal usw. — aber wieder wesentlich höhere Intensitäten erreichte als in den Zwischengebieten.

Die Voraussetzung dafür, daß einer der beiden genannten Fälle eintritt, ist nun wohl die, daß die betr. Verwerfung tief in die Erdrinde hineinreicht. Tektonische Erdbeben nehmen ja niemals von oberflächennahen Regionen ihren Ausgang. Ein gewisses Maß für den Tiefgang — der sich an sich ja unserer Feststellung im allgemeinen entzieht — bietet die streichende Erstreckung der Verwerfungen: die zahllosen kleinen Sprünge mit Verstellungsbeträgen von meist nur wenigen Metern, die viele Teile des Gebirges zu Hunderten und Tausenden durchziehen, sich aber selten weiter als einige 100 m im Streichen verfolgen lassen — sie reichen bestimmt auch nicht tief hinab und sind im allgemeinen harmlos. (Höchstens ist der Fall denkbar, daß ein Zug solcher, sich gegenseitig ablösender Sprünge einer größeren einheitlichen Bewegungsbahn in der Tiefe entspricht; eine Möglichkeit, die wieder unterstreicht, wie notwendig es ist, die geologische Kartierung für jedes Projekt über ein räumlich nicht zu enges Gebiet auszudehnen!)

Können wir aber eine Verwerfung bzw. ein Verwerfungsbündel, womöglich mit größerem, in die Hunderte von Metern gehendem Verstellungsbetrag (Verstellungsbeträge von mehr als 1000 m sind in den Alpen sehr selten!), über weitere Strecken, von einigen Kilometern, verfolgen, dann ist mit der Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß dieselben auch entsprechend tief hinabreichen, so daß die oben angedeuteten Gefahrenmomente vorliegen. In solchen

Fällen wird die Technik den Ehrgeiz, auch mit schwierigen Untergrundverhältnissen fertig zu werden, zügeln: denn nur das Bauwerk ist von wahren volkswirtschaftlichem Werte, das nicht u. U. zu einer tödlichen Bedrohung für die Talstrecken zu seinen Füßen wird.

Nicht nur in bezug auf tektonische, aus den Tiefen des Gebirges stammende Bewegungen sind die Alpen ein lebendiges Gebirge. Auch bezüglich der Massenbewegungen, die sich an der Oberfläche abspielen, gilt dasselbe: auch sie erreichen in den Alpen ganz andere Ausmaße und Häufigkeiten als im Mittelgebirge.

Es soll hier nicht eine erschöpfende Übersicht dieser ja schon oft behandelten Erscheinungen gegeben werden. Nur auf wenige Punkte sei hingewiesen.

Jedes Steilgehänge ist im Grunde genommen instabil: es ist stets — solange es nicht durch Eingriffe von außen, z. B. am Fuß angreifendes Wasser, erneuert wird — im Übergang zu geringerem Böschungswinkel begriffen. Nur vollzieht sich dieser Übergang wieder in vielen Fällen so langsam, daß wir unmittelbar nichts davon merken: durch allmähliches Abbröckeln, Stein für Stein. In anderen Fällen aber kommt es zu Bergstürzen.

In Nicht-Geologenkreisen begegnet man häufig der Vorstellung, die Bergstürze würden durch Erdbeben heruntergeschüttelt wie die Äpfel von einem Baum. Das kann vorkommen, muß aber nicht sein. Ein bekanntes Beispiel für einen durch Erdbeben ausgelösten Bergsturz bietet jener der Villacher Alpe von 1348; kleinere Felsstürze, Schuttrutschungen usw. löst jedes stärkere Beben aus. Weit aus die meisten größeren historischen Bergstürze aber haben sich ohne Erdbeben ereignet. Um bei dem Vergleich mit dem Apfel zu bleiben: wie dieser schließlich von selbst abfällt, wenn er reif ist — so auch der Bergsturz. In sehr vielen Fällen geben Schneeschmelze oder außergewöhnliche Niederschläge den letzten Anstoß; die Ursache aber liegt letzten Endes doch darin, daß die Steilformen auf die Dauer instabil sind.

In den Hohen Tauern läßt sich nun die Beobachtung machen, daß die Quertäler, welche das Schichtstreichen unter mehr oder minder großem Winkel schneiden (z. B. Kaprunertal) von größeren Bergstürzen im allgemeinen frei sind: trotz der oft enormen Steilheit der Gehänge ist deren Instabilität vergleichsweise gering. Anders in den Längstälern: die NO-Seite des Mölltales unterhalb Heiligenblut, die N-Seite des Virgentales bei Prägraten sind mit alten Bergstürzen geradezu gepflastert. Und auch dort, wo ein Quertal vorübergehend in die Streichrichtung der Schichten einlenkt, sind sofort Bergstürze da; z. B. auf der N-Seite des Gschlöß (Venediger Gebiet).

In allen diesen Fällen handelt es sich um die Talseite, auf welcher die Schichten gegen das Tal zu einfallen. Wo das Einfallen flacher ist als die Gehängeneigung, die geneigten Schichtflächen also ins Freie austreichen, da ist dies leicht verständlich: außer der Reibung auf den Schichtflächen wirkte da nichts einer Gleitung entgegen. Wo das Einfallen aber steiler ist als die Gehängeneigung, da ist wohl meistens anzunehmen, daß ein ehemals noch steileres Gehänge durch den Bergsturz bereits seinen Ausgleich — mindestens vorübergehend — gefunden hat.

An Gehängen der ersten Art aber läßt sich sehr oft feststellen, daß außer den bereits niedergegangenen Bergstürzen noch weitere in Vorbereitung begriffen sind. Darauf deuten oft sehr tiefgehende Abreißklüfte sowie andere dem Geologen bekannte Anzeichen hin.

Leider läßt sich nun zwar sagen, daß in solchen Fällen eine Bewegung im Gange ist, nicht aber in welchem Ausmaße, noch auch, wann sie zum Niedergehen eines Bergsturzes führen wird — ob das in einem Jahr geschehen wird oder erst in hundert. Auch Beobachtung mit Hilfe von Feinnivellement hilft da nicht viel: sind doch Fälle bekannt, daß auch eine bereits sehr bedrohliche derartige Bewegung

mindestens vorübergehend wieder zum Stillstand gekommen ist. Aber grundsätzlich wird es gut sein, jedem derartigen Hang zu mißtrauen und die Entscheidung darüber, ob an seinem Fuß gebaut werden darf, von einer sorgfältigen fallweisen Prüfung abhängig zu machen. Sollte sich eine Durchörterung mit Stollen nicht vermeiden lassen, so wird es notwendig sein, dieselben so tief in den Berg hinein zu verlegen, daß der in Bewegung befindliche Teil unterfahren wird — sofern sich dieser abgrenzen läßt.

Auch das langsame, allmähliche Abbröckeln einer Felswand kann u. U. zur Gefahr für eine Stauanlage werden, wenn diese über der Felswand errichtet werden soll. Dies ist ein Fall, der in Anbetracht der günstigen Staumöglichkeiten in hochgelegenen Karbecken verhältnismäßig oft vorkommen wird. Die Sachlage ist in solchen Fällen ja meist derart, daß ein Hochtalsee hinter einer Felsbarre liegt, die talwärts mit einer oft viele hundert Meter hohen, mehr oder minder steilwandigen Stufe abbricht. Genaue Betrachtung zeigt nun — ganz allgemein! — viele Felswände weit stärker verwittert und von Klüften durchsetzt, als man ihnen zunächst, auf flüchtigen Augenschein hin, zutraut. Und im Laufe längerer Zeiträume greift die Zerklüftung und Verwitterung immer weiter in den Berg hinein, während an der Wand Block um Block ausbricht. Es wird also nötig sein, zwischen Staumauer und talwärtigem Felsabbruch einen Sicherheitsspielraum zu lassen, dessen Breite mit etwa 50—100 Metern wohl im allgemeinen hinreichend be-

messen sein wird, um den Bestand der Staumauer auf Jahrhunderte hinaus zu gewährleisten.

Endlich sei noch auf eine der Allgemeinheit ganz geläufige Massenbewegung hingewiesen, die sich im Hochgebirge abspielt: die der Gletscher. Heute liegen die Dinge ja noch so, daß eher ihr von Jahr zu Jahr fortschreiten-der Rückgang dem Wasserbau Sorgen macht. Aber dies kann, schneller als man glaubt, anders werden — über die klimatischen Periodizitäten, welche den Gletscherschwankungen zugrunde liegen, wissen wir ja noch so gut wie gar nichts. Es ist jedenfalls zu raten, innerhalb der (meistens sehr gut kenntlichen) Endmoränen aus dem vorigen Jahrhundert keine Stauanlagen zu errichten, da es sehr leicht möglich ist, daß in absehbarer Zeit einmal ähnliche Gletscherstände wieder erreicht und damit solche Anlagen außer Funktion gesetzt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Zu widerraten ist die Errichtung von Staumauern 1. über größeren, tief reichenden Verwerfungen in Gebieten, in welchen mit fortdauernden tektonischen Bewegungen gerechnet werden muß; 2. in Talstrecken, welche von Bergstürzen bedroht sind; 3. in allzu großer Nähe der talwärtigen Abstürze von Karriegeln; 4. innerhalb der Moränenkränze zeitlich nicht weit zurückliegender Gletscherstände. Zu fordern ist in allen Fällen gründliche geologische Voruntersuchung, nicht nur der Sperrstelle selbst, sondern auch ihrer weiteren Umgebung.