

Die Veränderungen der Gebirge und ihre Beobachtung.

Von Prof. Dr. R. Hoernes.

Es soll in den nachfolgenden Zeilen nicht erörtert werden, wie die Gebirge entstanden sind, und welchen Processen wir die heutige Gestaltung derselben zuzuschreiben haben; es soll vielmehr versucht werden, zu zeigen, dass sie auch in der Gegenwart gewaltigen Veränderungen ausgesetzt sind, deren Beobachtung vom grössten Interesse für alle jene sein muss, welche sich, wenn auch nur flüchtig mit Gebirgsland beschäftigen. Jeder Ausflug in die Berge kann dazu verwendet werden, die unablässig arbeitenden Kräfte an ihrem Werke zu belauschen und die Fortschritte desselben zu controlliren.

Es ist klar, dass im Wesentlichen dieselben Kräfte, welche die Kettengebirge bildeten, auch heute noch verändernd auf sie einwirken. Wenn wir in Uebereinstimmung mit den meisten und namhaftesten Geologen, welche sich in letzter Zeit mit der Frage nach der Entstehung der Kettengebirge beschäftigten*), annehmen, dass dieselben durch Horizontalschub in Folge der Rindenrunzelung des Planeten entstanden seien, weil für den allmählig sich abkühlenden und zusammenziehenden Kern die längst erstarrte Rinde zu weit wurde, so müssen wir zugeben, dass es a priori als höchst unwahrscheinlich bezeichnet werden muss, dass diese gebirgsbildende Kraft heute gänzlich erloschen sein sollte. Im Gegentheile müssen wir erwarten, dass sie sich heute noch in irgend einer Weise fühlbar mache, da ja erwiesener Massen gebirgsbildende Verschiebungen einzelner Stücke der Erdrinde bis in die jüngsten geologischen Epochen herauf sich fühlbar gemacht haben und einer der ersten Grundsätze der modernen Geologie dahin lautet, keinen geologischen Vorgang der Vorzeit, so gewaltig er uns auch scheine, durch irgend eine grosse, unbekannte, plötzlich wirkende Kraft zu erklären, sondern die Erklärung, ohne Annahme einer gewaltigen Katastrophe, nur durch Voraussetzung sehr lang dauernder Einwirkung noch heute zu beobachtender Factoren zu suchen.

Hinsichtlich einer anderen Gruppe von Erscheinungen, welche der durch Horizontalstauung erfolgenden Emporwölbung einzelner Theile der Erdrinde entgegenarbeiten, indem sie die emporgerichteten Gebirge abzutragen bestrebt sind, erhält man bei einer flüchtigen Musterung der

*) Ich beschränke mich, auf E. Suess: „Entstehung der Alpen“, und A. Heim: „Mechanismus der Gebirgsbildung“ (im Anschlusse an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe) zu verweisen.

einschlägigen Stellen in geologischen Fachwerken sowohl, als in topographischen Schilderungen und Reisebeschreibungen den Eindruck, als ob man im Allgemeinen den bezüglichlichen thatsächlichen Verhältnissen Rechnung trage, und geneigt wäre, die umbildenden, zerstörenden und wegschaffenden Wirkungen der Verwitterung und der Auswaschung als heute noch in eben der Weise fortgehend anzuerkennen, in welcher sie die gefalteten, zusammengeschobenen und dadurch relativ gehobenen Theile der Erdrinde zu jenen Kettengebirgen modellirten, welche wir heute wahrnehmen. Und doch unterschätzt man, und zwar, wie die Geschichte der österreichischen Gebirgsbahnen leider nur zu deutlich zeigt, nicht bloß theoretisch, sondern auch praktisch fast allgemein die enorme Wirkung, welche jahraus, jahrein durch Verwitterung und Auswaschung auf die Berge ausgeübt wird.

Wenn auch die Lehren der durch Ch. Lyell begründeten, modernen Geologie allgemein anerkannt werden, nach welchen keine plötzlichen, grosse Theile der Erdoberfläche umfassenden, und äusserst gewaltsamen Umwälzungen, sondern oft äusserst langsam, aber durch unmessbar gross scheinende Zeiträume fortwirkende Kräfte die Gestaltung der äusseren Hülle unseres Planeten bedingen und verändern, so zieht man daraus doch fast allgemein nicht die nothwendigen Consequenzen. Alles, auch die scheinbar unveränderlichsten Dinge, die auf der Erdoberfläche sich befinden, verändern sich thatsächlich, die einen schneller, die anderen langsamer, sei es in Bezug auf ihre Substanz oder ihre Lage. Es gilt dies auch von den anscheinend seit Ewigkeit her so fest und unerschütterlich gegründeten und so wenig der Zerstörung unterliegenden Bergen. Wir können nach den vorausgesandten Worten die Veränderungen, welchen die Gebirge unterliegen, in zwei Gruppen bringen, deren erste die durch innere Vorgänge veranlassten, mit der Fortdauer der gebirgsbildenden Thätigkeit zusammenhängenden Veränderungen umfasst, während die zweite die durch äussere Einwirkung, durch Verwitterung und Auswaschung herbeigeführten Umwandlungen begreift. Wir wollen uns zuerst mit der Frage beschäftigen, ob die Fortdauer der gebirgsbildenden Thätigkeit in den Kettengebirgen sich noch geltend macht, und auf welche Weise dieselbe direct beobachtet werden könnte; — dann werden wir uns der Betrachtung der zweiten Gruppe von Veränderungen zuwenden, welchen die Gebirge unterliegen. Es ist wohl selbstverständlich, dass die unmittelbare Beobachtung jener Erscheinungen, welche dieser zweiten Gruppe angehören, weitaus einfacher ist, als jene der gebirgsbildenden Bewegungen, dennoch hoffe ich zeigen zu können, dass auch die letztere nicht absolut unmöglich ist, dass wir im Gegentheile in manchen Erscheinungen (z. B. in den Erdbeben) bedeutsame Belege für die Fortdauer der Verschiebungen in der Erdrinde zu sehen haben, und dass wir endlich aller Wahrscheinlichkeit nach die letzteren direct zu beobachten und sogar zu messen im Stande sein werden.

I. Fortdauer der gebirgsbildenden Thätigkeit und Beobachtung der durch sie hervorgerufenen Veränderung der Gebirge.

Es kann, wie schon Eingangs bemerkt wurde, nicht unsere Aufgabe sein, näher auf das Problem der Gebirgsbildung einzugehen, wir wollen uns begnügen, einen Blick auf jene gebirgsbildenden Vorgänge zu werfen, welche erwiesenermassen sehr jung sind und den letztverflossenen geologischen Epochen angehören; denn diese Vorgänge machen es höchst unwahrscheinlich, dass die ihnen zu Grunde liegende Ursache, welche wir in der Contraction des sich abkühlenden Erdinneren suchen *), heute bereits erloschen und unwirksam geworden sei.

E. Suess hat in seinem Werke über die Entstehung der Alpen das Vorhandensein geologisch junger Störungen ausführlich besprochen — er erwähnt z. B. dass das bekannte Vorkommen von Torf- und Landschnecken in grosser Tiefe unter Venedig deutlich eine grosse Senkung verräth, die in jüngster Zeit eingetreten sei, und wirft die Frage auf, ob die auffallenden Sandmassen der Inseln Unnie und Sansego nicht die Reste des alten Nordufers der Adria seien; — er erwähnt der grossen Brüche, Senkungen und Einstürze, welche im südlichen und mittleren Italien auftreten, und nennt als die merkwürdigste aller dieser Einsenkungen jene, welche durch die peripherische Kluft abgegrenzt wird, die auf Calabrien und Sicilien die Liparischen Inseln umgibt und sich durch den Verlauf grosser Erderschütterungen verräth. Alle diese Senkungen hält Suess aber nur für untergeordnete Nebenerscheinungen und nicht für die Ursache der Aufrichtung der Gebirgsketten. Uebergehend zur Bestimmung des Alters der Alpen, oder richtiger gesagt „der Epoche ihrer Aufrichtung“ bemerkt er, dass diese Frage von einem ganz anderen Standpunkt als ehemals betrachtet werden müsse.

„Was festgestellt wurde, ist die allerdings für die ältere Anschauung ziemlich überraschende Thatsache, dass in den Alpen noch nach Ablagerung eines Theiles der mitteltertiären Schichten eine sehr allgemeine Bewegung der Alpen stattgefunden hat.

„Bald fand man aber im Appennin, in den Pyrenäen, in den Karpathen dasselbe; im Kaukasus nehmen sogar sarmatische Schichten an den grössten Störungen Theil. Hieraus folgt nun, dass die Bewegungen, welche die Aufrichtung dieser Ketten herbeigeführt haben, bis in eine verhältnissmässig junge Zeit angedauert haben. Dass aber dieselben Regionen schon viel früher und zu wiederholten Malen ähnliche Bewegungen erlitten haben, geht deutlich genug aus den zahlreichen, transgredirenden Vorkommnissen jüngerer Sedimente auf den ältesten Fels-

*) Dieser Grundgedanke der modernen Lehre von der Gebirgsbildung wurde übrigens bereits durch A. v. Humboldt ausgesprochen, und zwar mit den Worten: „Ungleicher sticulusar Wärmeverlust der Erdrinde und des Erdkernes bewirkt eine Faltung (Runzelung) der starren Oberfläche.“ -- Kosmos, 1845, I. pag. 312.

arten derselben Ketten hervor. *) Wir folgen Suess nicht in der Aufzählung einiger, diese Thatsache beweisenden Fälle, **) sondern wenden uns zu der, uns zunächst interessirenden Frage: ob die Ursachen, durch welche Kettengebirge entstanden sind, nicht auch heute noch wirksam sind.

„Diese Frage,“ sagt Suess, „glaube ich in Uebereinstimmung mit Dana und anderen Vorgängern bis zu einem gewissen Grade bejahen zu sollen. Allerdings zeigen die Alpen keine deutliche Spur einer seit der Diluvialzeit eingetretenen grösseren Aenderung. Wenn aber die Gesamtheit der Erscheinungen, die Bewegung der Massen, die Senkungen der Innenseiten und die vulcanischen Erscheinungen an denselben in Betracht gezogen werden, muss das Urtheil anders lauten. Eine gewisse mangelnde Stetigkeit des Bodens oder eine Neigung zum Spaltenwerfen tritt vielfach an der Innenseite der Ketten hervor. Die ausgedehnte Senkung der unteren Po-Ebene fällt sicher in eine ganz junge Zeit. An der Innenseite des Appennin stehen heute noch thätige Vulcane. Die Innenseiten dieser Gebirgsketten werden oft von heftigen Erdschütterungen betroffen.“

Wir kommen später noch auf die Bedeutung der Erdschütterungen eingehender zurück und beschränken uns an dieser Stelle darauf, die Meinung von Suess zu registriren, nach welcher dieselben Aeusserungen der fortwirkenden, gebirgsbildenden Kraft sind. Suess bemerkt, dass Darwin schon vor vielen Jahren die Gründe darlegte, welche es wahrscheinlich machen, dass die grossen Erdbeben Süd-Amerika's durch Spaltenwerfen in der Tiefe des Erdkörpers erzeugt werden. „Wenn eine Masse sich in dem Zustande hoher Spannung befindet, werden von Zeit zu Zeit Sprünge entstehen, welche normal auf der Richtung der Spannung stehen und möglicherweise, wie das bei dem Spaltenwerfen auf Gletschern der Fall ist, Erschütterungen hervorbringen mögen, welche ausser Verhältniss stehen zu der geringen Breite der neu entstandenen Kluft.“

Suess bespricht sodann die Thatsache, dass manche Erzgänge von Pflibram nach ihrer Ausfüllung mit symmetrisch gelagerten Mineralzonen nochmals der Länge nach aufgerissen worden seien, weil die normale symmetrische Ausfüllung unterbrochen wurde, und eine neue, ebenfalls symmetrische, zonenweise Ausfüllung, also gewissermassen ein zweiter Erzgang gebildet wurde; — er erwähnt ferner, dass, wie Rossegger gezeigt hat, drei ziemlich heftige Erdstösse, welche in den Jahren 1854 und 1855 Schemnitz erschütterten, sämmtlich von dem grossen Spitaler Hauptgange ausgingen. „Die Häufigkeit der Erdbeben in der Nähe der Innenseite; nicht nur des südlichen, sondern auch des nördlichen Appennin, z. B. bei Borgo S. Sepolcro; der Westalpen, z. B. bei Pignerol; des

*) Entstehung der Alpen, pag. 55.

**) Zur Orientirung über alle die Gebirgsbildung betreffenden Fragen verweise ich Jene, denen die Originalwerke von Suess und Heim nicht zur Hand sind, auf die von Letzterem herausgegebene kurze Zusammenfassung des wichtigsten Resultate aus seinem Werk „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“ welche unter dem Titel „Ueber die Stauung und Faltung der Erdrinde“ 1878 in Basel erschien, und auf Prof. Fr. Toula's Vortrag „über den Bau und die Entstehung der Gebirge“, Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, Wien, 1876—77.

Bakony-Gebirges, z. B. am Berge Csóka; der Karpathen, z. B. bei Sillein, oder an den Grenzen der einzelnen Zweige, aus welchen der Hauptstamm der Alpen gebildet ist, wie bei Visp oder Villach, deuten Vorgänge in der Tiefe an, welche vielleicht nur in einem wiederholten Spaltenwerfen bestehen.“ Da wir an anderer Stelle die Bedeutung jener Erderschütterungen, welche mit der Gebirgsbildung im Zusammenhang stehen, zu erörtern haben, wenden wir uns zur Uebersicht jener Erscheinungen, welche Suess als Beispiele jüngerer Störungen von gebirgsbildender Bedeutung anführt:

„Vor nicht gar länger Zeit galt es als eine ganz erstaunliche Thatsache, dass grosse Gebirge erst während der Miocän-Zeit sollten aufgerichtet worden sein, aber neue Beobachtungen weisen auf ein noch weit jüngeres Alter mancher Störungen. Nach Prestwich ist die Faltung auf der Insel Portland und bei Weymouth erst nach der Diluvialzeit erfolgt. Die gewaltsamen Faltungen der Kreide auf der Insel Moën und auf Rügen sind gewiss nach dem Vorhandensein des arktischen Meeres in diesen Gegenden entstanden, und die Horizontalität der Bewegungen ist so klar, dass Johnstrup, ausser Stande die richtig beobachteten Thatsachen über Gebirgserhebung zu vereinigen, in der Bewegung von Eismassen die Quelle der grossen verschiebenden Kraft gesucht hat. Nach Leconte ist die grosse Cascade-Range im westlichen Nordamerika erst nach der Eiszeit aufgethürmt worden, und ergiesst sich die grosse Lavafluth an ihrer Westseite über die Driftblöcke. Derselbe Beobachter sieht die langen unterseeischen Rücken, welche den Golfstrom an der amerikanischen Ostküste begleiten, als ein in der Ausbildung begriffenes Faltengebirge an. Nach der Beschreibung von Bartle Frère würde die Bildung des Allah-bund oder Gottesdammes während eines Erdbebens im Runn of Cutch sogar einen ähnlichen Vorgang in unseren Tagen darstellen, welcher nur den obersten Theilen der Erde angehören würde. Wenn nun auch zugegeben werden muss, dass manches dieser von Suess angeführten Beispiele die Fortdauer der eigentlichen gebirgsbildenden Kraft nicht mit vollständiger Sicherheit zu erhärten vermag, da z. B. die Auffassung der langen unterseeischen Rücken an der amerikanischen Ostküste als ein in der Ausbildung begriffenes Faltengebirge als eine willkürliche Annahme bezeichnet werden könnte, oder die Terrainverschiebungen im Indus-Delta bei dem Erdbeben von Cutch als Folgewirkung des Gleitens einzelner Theile des Delta aufgefasst werden könnten; — so ersehen wir doch, dass gebirgsbildende Vorgänge noch in den letztverflossenen Zeiträumen sich geltend machten, und aller Wahrscheinlichkeit nach auch in der Gegenwart fortwirken werden.

Einen höchst interessanten Beleg für die Wirksamkeit der gebirgsbildenden Kräfte in jüngster Zeit haben wir nach Mojsisovics' neuer Theorie der Karstbildung*), im Karstphänomen zu sehen, welches der-

*) Vergl. „Grundlinien der Geologie von Bosnien-Herzegovina“, pag. 60 — und „zur Geologie der Karsterscheinungen“, Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins 1880, pag. 111.

selbe in den Karstgegenden des östlichen Bosniens studirte. Er fand sich veranlasst, gegenüber der auffallenden Thatsache, dass die Karsterscheinungen nicht allgemein überall da auftreten, wo reine Kalke in grösseren Massen vorkommen, die Frage aufzuweisen, auf welchen Voraussetzungen denn eigentlich das Karstphänomen beruht? Die grossartige Durchlöcherung der Kalkformationen, die unterirdischen Flussläufe und die durch diese theils chemische, theils mechanische Auswaschung bewirkten theilweisen Einstürze sind es nach Mojsisovics nicht, welche das Karstphänomen bedingen; sie sind vielmehr nur die sichtbaren Aeusserungen des Karstprocesses. Da das Karstphänomen, wo es auftritt, keine localisirte Erscheinung ist, sondern über weite Districte gleichmässig verbreitet ist, so kann nur eine auf weite Strecken hin gleichmässig wirkende Kraft die Ursache des Karstprocesses sein. Diese Kraft aber kann keine andere sein, als der horizontale Gebirgsschub. Seine Theorie der Karstbildung spricht Mojsisovics mit folgenden Worten aus:

„Wenn in Gebirgsgegenden die mechanische Arbeit der Thalbildung durch fortdauernde oder mehr weniger intermittirende Gebirgsfaltung gestört oder unterbrochen wird, so wird die nächste Folge die Abdämmung von Thalstrecken zu Seebecken sein. Besteht das Gebirge aus im Wasser unlöslichen Gesteinen, so kann erst die Ausfüllung der Seebecken durch Neubildungen oder die mechanische Ausfeilung einer Abflussrinne das Seebecken wieder trocken legen. Besteht dagegen das Gebirge aus einem im Wasser relativ leicht löslichen Gesteine, wie reinem Kalk, welcher überdies leicht zur Zerklüftung neigt, so kann sich das Wasser zunächst durch chemische, in späteren Perioden aber durch vereinigt chemisch-mechanische Erosion unterirdische Abflusswege öffnen. Die der unterirdischen Erosion vorarbeitende Zerklüftung der Kalkfelsen kann selbstverständlich durch die fortdauernde Gebirgsfaltung herbeigeführt oder beschleunigt werden. Hört die Gebirgsstauung auf, oder lässt die Intensität derselben bedeutend nach, so werden sich nach und nach in Folge des Nachstürzens des Deckgebirges und der fortschreitenden subaërischen Denudation die unterirdischen Flussläufe in subaërische Abflussrinnen transformiren — und der Karstprocess, welcher als eine besondere Form der Erosion in reinen Kalkgebieten erscheint, ist beendet.“ — „Störung der begonnenen Thalbildung in Kalkgebirgen durch Gebirgsfaltung wäre sonach die erste Veranlassung zur Herausbildung des Karstphänomens.“

Mojsisovics sieht in den zumeist von jung-tertiären Süsswasserbildungen erfüllten Becken des bosnischen Karstlandes einen schlagenden Beweis für die Richtigkeit der von ihm aufgestellten Theorie. Durch die geologische Untersuchung Bosniens hat sich ergeben, dass dieses Land erst nach der Eocänperiode über den Meeresspiegel emporgefaltet wurde. In die Zeit zwischen dieser Trockenlegung und der Bildung der jung-tertiären innerbosnischen Seebecken fällt die Hauptarbeit der Faltung

und der Denudation. Die letztere schuf ausgedehnte Thalsysteme, ehe die Bildung der Süßwasserbecken begann, welche nur durch Absperrung der alten Thalböden durch Gebirgsbewegung verursacht werden konnte. Die Störungen, welche die jungtertiären Bildungen innerhalb der Becken zeigen, beweisen, das der Gebirgsschub aber auch noch in jüngster Zeit in diesen Ländern in ausgiebiger Weise thätig war.“

Die Bedingungen für den Karstprocess waren daher bis in die neueste Zeit herauf gegeben. Ob dieselben auch heute noch in so hohem Grade und überall vorhanden sind, ist schwierig zu entscheiden. In einigen Gegenden scheint der Process abgelaufen zu sein, aber wer vermag zu bestimmen, ob sich das alte Spiel, welches local sich oft wiederholt haben mag, nicht nochmals erneuern wird?

Einen ziemlich sicheren Beweis für das Fortwirken der gebirgsbildenden Kräfte in der Gegenwart sehen wir in den zahlreichen Erderschütterungen. Erdbeben können wohl durch verschiedene Ursachen hervorgebracht werden, und man kann der Hauptsache nach dieselben in drei Gattungen bringen: 1. Einsturz - Erdbeben. Wenn auch nicht geleugnet werden kann, dass die Bildung grosser unterirdischer Höhlen und das Einstürzen ihrer Decke, wie wir beides im grossartigsten Maassstabe im Karst wahrnehmen, zu local ziemlich bedeutenden Erschütterungen Anlass geben kann, so ist es doch keineswegs gerechtfertigt, die gewiss selten und nur local auftretende Thatsache zur Erklärung häufiger und weitverbreiteter Erscheinungen in Anspruch zu nehmen. Einsturz-Erdbeben sind seltene und auf Höhlen-Districte (wie der Karst) beschränkte Erscheinungen. 2. Vulcanische Erdbeben. Die hierher gehörigen Erscheinungen werden lediglich durch die Stösse verursacht, welche durch entweichende Gase (vorwaltend überhitzten Wasserdampf) in vulcanischen Essen entstehen. Diese Erderschütterungen, welche an Vulcanen grossen Eruptionen voranzugehen pflegen, sind auf die grössere oder kleinere Umgebung des Schlundes beschränkt, und müssen trotz ihrer Furchtbarkeit als untergeordnete, locale Erscheinungen bezeichnet werden. 3. Diejenigen Erdbeben, welche durch ihre Häufigkeit, durch ihre weite Verbreitung und ihr Gebundensein an gewisse Linien, auf welchen sie wiederholt beobachtet werden können, auffallen, scheinen unmittelbar mit der Gebirgsbildung zusammenzuhängen. Ich habe ihnen, weil sie in der Entstehung und dem Aufbau der grossen Kettengebirge ihren Grund haben, den Namen der *tektonischen Erdbeben* gegeben*). Noch bezeichnender nennt sie A. Heim**), welcher in ganz ähnlicher Weise die Erdbeben nach ihrer Ursache eintheilt: *Dislocations- oder Staunungs-Erdbeben*.

Die meisten Geologen, welche sich in letzter Zeit mit der Untersuchung der Erdbeben und ihrer Ursachen beschäftigten, sind zu dem

*) Erdbeben-Studien, Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 1878, 28. Bd. pag. 387.

**) Die Erdbeben und deren Beobachtung. Basel 1880.

Resultate gekommen, dass die zahlreichsten, stärksten und ausgedehntesten Erschütterungen als unmittelbare Folgewirkung des Faltenwerfens und der Verschiebung der Erdrinde zu betrachten seien. So spricht sich H. Credner hinsichtlich der voigtländisch-erzgebirgischen Erdbeben folgendermassen aus: „Das Erzgebirge ist nur ein Theil eines ausgedehnten Falten-systems, welchem jede centrale, sogenannte Hebung-axe fehlt, es bietet vielmehr das Bild einer durch einseitigen Druck verursachten Gruppe von Falten. In Folge der seitlichen Pressung mussten zahlreiche Sprünge und Spalten entstehen, durch welches Spaltenwerfen Erschütterungen hervorgerufen werden mussten.

Da aber die gebirgsbildenden Ursachen durch enorme Zeiträume hindurch von den ältesten bis zu den jüngsten Perioden sich bethätigt haben, so ist die Möglichkeit gegeben, dass die ziemlich zahlreichen erzgebirgisch-voigtländischen Erdbeben auch dieses Jahrhunderts sich ebenfalls auf eine derartige Ursache zurückführen lassen, also zu erklären sein dürften als Aeusserungen der Gebirgsentstehung und unterirdischen Spaltenbildung in Folge seitlichen Druckes.“ *)

Ganz ähnlich äussert sich A. Bittner gelegentlich seiner Untersuchung über das Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873: „Der gewaltige gegenseitige Druck und die Spannung der sich verschiebenden Gebirgsmassen, das Entstehen neuer und die Erweiterung schon bestehender Klüfte und Spalten bilden hinreichende Ursachen, die sowohl einzeln als zusammenwirkend die meisten unserer Erdbeben zu erzeugen im Stande sein mögen.**)

A. Heim spricht sich nach Discussion der mit Stauungs- oder Dislocations-Erdbeben vergesellschafteten Erscheinungen folgendermassen aus: „Halten wir alle diese Erscheinungen zusammen, so ist der Schluss fast unabweislich, dass die Erdbeben die Aeusserungen der fortdauernden Gebirgsstauung sind, welche Spannungen der Erdrindenstücke erzeugen, die dann oft plötzliche Auslösungen, wie Verschiebungen, Brechen und Reissen etc. erzwingen, und dadurch eine weit fühlbare Erschütterung hervorrufen.“ ***)

In der That werden wir zu dieser Annahme gezwungen, wenn wir sehen, dass die Linien, auf welchen Erdbeben auftreten, mit Störungslinien des Gebirgsbaues zusammenfallen, und dass die Erschütterungen gerade dort am häufigsten auftreten, wo geologisch junge Stauungen in der Erdrinde stattgefunden haben. In einigen Fällen hat man die Veränderungen der Erdrinde, welche nicht als begleitende Nebenerscheinung, sondern als Ursache der Erschütterung aufzufassen sind, direct beobachtet. Heim sagt diesbezüglich: „An vielen von Erdbeben

*) Das Voigtländisch-erzgebirgische Erdbeben vom 23. November 1875. Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften, 48. Bd. 1876.

***) Beiträge zur Kenntniss des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873. Sitzungsbericht der k. Akademie der Wissenschaften. 69 Bd. 1874.

****) Am bereits citirten Orte, pag. 19,

stark heimgesuchten Küsten haben wir die Beweise für ruckweise Hebungen, welche sich schon zu bedeutenden Beträgen summirt haben. Bei heftigen Erdbeben bilden sich oft ganze Systeme von Spalten den Gebirgsketten parallel, und selbst plötzliche, starke, nicht nur verticale, sondern auch horizontale Verschiebungen von Erdrindenstücken sind öfters bei Erdbeben beobachtet worden. Bei Polistena in Calabrien wurde 1783 ein Landstrich, auf welchem über 100 Häuser standen, eine halbe Meile vom Platze verschoben; ein Quartier von Castanzaro wurde ohne Beschädigung gegen den übrigen Theil der Stadt verrückt etc.* — Indessen muss zugegeben werden, dass es oft schwierig sein mag, die primären, durch gebirgsbildende Kraft verursachten Bewegungen der Erdrinde von jenen zu unterscheiden, welche secundär durch die blosse Erschütterung oberflächlich bewirkt werden, sei es durch Abstürzen zerklüfteter Kalkmassen, die nur eines geringen Anstosses bedurften, um als gewaltige Bergstürze zu Thal zu gehen, sei es durch Abrutschen auf geneigter Fläche (Schichtauslösungen, Absitzungen junger Anschwemmungen an Meeresküsten u. dgl.). Der gewaltige Bergsturz, welcher an der Südseite des Dobratsch am 25. Jänner 1348 stattfand, an welchem Tage ein gewaltiges Erdbeben Friaul verheerte, und in Venedig und Villach zahlreiche Gebäude zerstörte, dürfte trotz seiner Grossartigkeit*) zu diesen Erscheinungen zu stellen sein, ebenso wie die so vielfach citirten und besprochenen Bewegungen, welche an dem Indus-Delta gelegentlich des Erdbebens vom 16. Juni 1819 bemerkbar wurden (Senkung des Forts und des Dorfes Sindree, Verwandlung eines Landstriches von 2000 engl. Quadratmeilen in ein Binnenmeer, Erhebung des Allah-bund) sich möglicherweise nur auf eine Bewegung in den angeschwemmten Schichten des Delta, die durch das Erdbeben ins Gleiten gebracht, auf ihrer Unterlage sich nach abwärts bewegten, zurückführen lassen. Sehr scharf und treffend hat E. S u e s s in seiner Untersuchung der Erdbeben des südlichen Italien den Gegensatz zwischen diesen oberflächlichen und secundären gegenüber den primären Bewegungen der Tiefe hervorgehoben: „Die Ansicht, dass Erdbeben durch ein Spaltenwerfen im Inneren der Erde entstehen, welche D a r w i n in so scharfsinniger Weise befürwortet hat, lässt sich zur Erklärung einzelner Erschütterungen, wie z. B. jener vom M. Casino anwenden, vorausgesetzt, dass nicht kleine Erschütterungen an der Oberfläche der Erde, welche durch untergeordnete Ursachen herbeigeführt werden, mit diesem Spaltenwerfen in der Tiefe verwechselt werden. Zu diesen untergeordneten Erscheinungen der Oberfläche dürften trotz ihrer Grossartigkeit die Spaltungen der

*) S c h a u b a c h (Die deutschen Alpen, V., Seite 70) sagt über ihn: „Dieser Bergsturz gehört, so unbekannt er ist, zu den fürchterlichsten Erscheinungen dieser Art, und der grosse Bergsturz am Rossberge erscheint unbedeutend gegen diesen. Zwei Märkte und siebzehn Dörfer wurden begraben, das Gailthal zu einem See gedämmt, und nur mit Mühe konnte sich der Fluss eine Bahn durch die Trümmer brechen. Noch jetzt sumpft das Thal aus dieser Ursache. Noch oft stösst man auf Häuser und in ihnen auf Gerippe.“

calabrischen Tertiärgebilde und wohl auch ihre Ablösung vom älteren Gebirge im Jahre 1783 zu zählen sein.

„Will man Einstürze als die Ursache der Erdbeben ansehen, so kann diese Ansicht als gerechtfertigt angesehen werden, so lange man die Einsenkung im Grossen, z. B. über das ganze tyrrhenische Gebiet hin als die erste Veranlassung der Brüche ansehen will. Aber hier hat man noch öfter als im vorhergehenden Falle die untergeordneten Erscheinungen der Oberfläche mit den grossen Vorgängen der Tiefe wechselt.“ — „Es mag sein, dass ein Nachsinken eines Theiles der Anden die erste Veranlassung der dortigen Erdbeben sei; so ist gezeigt worden, wie viele Gründe für eine Einsenkung des Gebirges auf dem tyrrhenischen Gebiete sprechen, aber der Einsturz einzelner Anden-Gipfel, oder der Lomnitzer Spitze in den Karpathen, oder des Dobratsch in Kärnten, oder des Pizzo di Ucello in den apuanischen Alpen, oder des Kraterandes des Vesuv im Juli 1805 während des Erdbebens in Molice, oder der Kraterwände des Aetna im Jahre 1693, oder das Abfallen grosser Felsmassen ins Meer bei Scilla im Jahre 1783 haben mit der Entstehung eines Erdbebens nicht mehr zu thun, als der Einsturz eines Thurmes.“ *)

Es ist sonach klar, dass es ziemlich schwierig sein wird, jene Veränderungen unter den zahlreichen übrigen herauszufinden, welche auf die eigentlichen, gebirgsbildenden Bewegungen zurückzuführen sein werden. Es sind indess auch in dieser Richtung bereits Anhaltspunkte vorhanden, welche hoffen lassen, dass es, wenn auch nicht ohne Besiegung namhafter Schwierigkeiten (denn die bezüglichen Versuche dürften sowohl ziemlich viel Zeit als auch Geld in Anspruch nehmen), gelingen wird, das Fortdauern der Faltungen und Verschiebungen in der Erdkrinde durch directe Beobachtung nachzuweisen. In einem Vortrag über die Untersuchung der Erdbeben und deren bisherige Resultate führt Prof. A. Heim als eine Aufgabe für die künftige Erdbebenforschung auf: „Die dauernden Bodenverschiebungen, welche bald in horizontaler, bald in verticaler Richtung stattfinden und wahrscheinlich bei fast allen Erdbeben eintreten, sind durch topographische Messungen direct nachzuweisen. In der Schweiz haben sich schon einige Male zwischen topographischen sehr sorgfältig ausgeführten Vermessungen, welche zwei bis drei Jahrzehnte auseinander lagen, in den Resultaten Differenzen ergeben, welche sich nicht durch Messungs- oder Rechnungsfehler haben erklären lassen. Wenn erst die Nivellements und topographischen Vermessungen mit ihrer heutzutage erlangten Genauigkeit nach einer längeren Reihe von Jahrzehnten revidirt werden, ist mehr Aussicht vorhanden, dadurch dauernde Bodenverschiebungen zu constatiren. Dass deren Kenntniss von grosser technischer Bedeutung ist, leuchtet sofort ein.“

*) Die Erdbeben des südlichen Italien; — Denkschriften der k. Akademie der Wissenschaften. 34. Bd. 1874.

Es würde, wie wir hinzufügen wollen, zur Vornahme derartiger, mit grossem Zeit- und Kostenaufwand verbundenen Unternehmungen eine Gegend zu wählen sein, in welcher Erdbeben häufiger sich zu ereignen pflegen, so dass man mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten dürfte, schon vor Ablauf eines Menschenalters durch Wiederholung der genauen Vermessung eine merkbare Verschiebung zu constatiren. In Niederösterreich wäre eine derartige, von öfteren, wenn auch zumeist nur unbedeutenden Erderschütterungen heimgesuchte Gegend in dem plötzlichen Abfall des Wienerwaldes gegen Osten zu suchen. E. Suess hat die Bedeutung jener Bruchlinie, welche sich vom Steinfeld bei Wiener-Neustadt bis an das Weichbild der Stadt Wien verfolgen lässt, und durch das Zutagetreten zahlreicher Thermen und Schwefelquellen (Winzendorf, Seilerbrunn, Fischau, Brunn, Vöslau, Baden, Theresienbad in Meidling) bezeichnet ist, wiederholt erörtert, und in seiner Schrift über die Erdbeben Niederösterreichs*) gezeigt, dass diese Thermenlinie von Wien ebenso wie jene Linien, welche von ihm als Kamp- und als Mürzlinie bezeichnet wurden, wiederholt Schauplatz stärkerer und schwächerer Erderschütterungen war. Dort, wo die Linien zusammentreffen, in der Gegend von Neustadt, befindet sich die Stelle, welche am häufigsten in Niederösterreich Ausgangspunkt von Erderschütterungen war. „Neustadt wird als Centrum genannt in den Erdstössen von 1281, 18. Mai 1282, 20. September 1587, 27. August 1668, 10. April 1712, 15. und 16. Juni 1718, 8. Juni 1749, Februar 1768, 5. Februar 1769, 3. December 1778, 13. Februar 1783, 18. November 1776, 29. und 30. October 1802, 13. Juli 1841, 28. November 1858, 19. December 1868, — also seit sechs Jahrhunderten, und wenn die Aufzeichnungen so ausführlich wären als für Wien, so wäre die Zahl der bekannten Fälle gewiss eine noch weit grössere.“ — —

Wenn nun in dieser Gegend Erderschütterungen häufig eintreten, so bedeutet dies wohl, dass noch heute an der Bruchlinie von Wien Bewegungen der angrenzenden Schollen der Erdrinde stattfinden. Dass diese Linie einmal der Ort einer der grossartigsten Dislocationen war, welche in den Alpen eintreten, wissen wir aus der geologischen Geschichte der Tertiärablagerungen des Wiener Beckens. Denn während die Ablagerungen der ersten miocänen Mediterran-Stufe auf die ausseralpine Niederung beschränkt blieben, drang mit dem Beginne der Zeit der zweiten Mediterran-Stufe das miocäne Meer in das neu entstandene inneralpine Wiener Becken ein, welches durch eine grosse Dislocation gebildet wurde, vermöge welcher wir heute die Ostalpen von Wiener Neustadt bis Wien in einer höchst eigenthümlichen Linie — eben der oben erwähnten Bruch-, Thermal- und Erdbebenlinie von Wien — abgeschnitten finden.

*) Die Erdbeben Niederösterreichs, Denkschriften der k. Akademie der Wissenschaften, 33. Bd. 1873.

Wenn aber heute noch auf dieser Linie Verschiebungen der angrenzenden Theile stattfinden, so ist ein Umstand geeignet, ihre Beobachtung wesentlich zu erleichtern. Die Basis der niederösterreichischen Landesvermessung liegt bekanntlich auf dem Neustädter Steinfeld an der Strasse von Neustadt nach Gloggnitz. Es unterliegt keinem Zweifel, dass diese Basis und die umliegenden trigonometrischen Punkte in ihrer Lage so genau festgestellt worden sind, dass eine merkliche Veränderung derselben durch eine Wiederholung der Vermessung leicht constatirt werden könnte. Selbstverständlich würde es sich dabei nicht um eine abermalige Messung der Basis, welche sich kaum verändert haben dürfte, handeln, sondern nur darum, ob in der Lage der nächsten trigonometrischen Punkte eine Veränderung an dieser Basis zu bemerken wäre, was mit Hinsicht auf die Natur der Dislocationslinie und auf die häufig an ihr auftretenden Erdbeben nicht unwahrscheinlich ist.

Erdbeben und die damit aller Wahrscheinlichkeit nach verbundenen Dislocationen gehören ferner in jenen ersten Faltenzügen, die an der concaven Seite des Alpengebirges an die venetianische Ebene stossen, zu den häufigeren Erscheinungen. Auch durch Istrien und durch die lang gestreckten Faltenzüge Dalmatiens lässt sich eine Zone der häufigeren Erschütterungen verfolgen. Manche Stellen in diesen südalpinen Schüttergebieten wären zur Vornahme des Versuches, die stattgefundenen Verschiebungen direct nachzuweisen, zu empfehlen, doch will ich auf den Gegenstand nicht näher eingehen, zumal, wie schon Eingangs angedeutet, derartige Unternehmungen mit zu grossen Kosten und Schwierigkeiten verbunden sind, der Erfolg sich aber möglicherweise erst nach Jahrzehnten — ja nach Jahrhunderten einstellen kann; so dass gewiss von Seite einzelner Personen oder selbst alpiner Vereine derartige Unternehmungen kaum in Angriff genommen werden könnten. Dasselbe gilt selbstverständlich von der Ausführung sehr genauer Nivellements quer durch die Alpen. Es ist klar, dass wenn überhaupt in den Alpen heute noch gebirgsbildende Kräfte walten, sie ihre Einwirkung am leichtesten zu erkennen geben werden in verticalen Verschiebungen, welche durch sehr genaue Nivellements, die von Zeit zu Zeit revidirt werden, controllirt werden können. In diesem Sinne erwarten wir wichtige Beiträge zur Lösung der Frage durch die Alpenbahnen der Neuzeit. Die ungeheuren Durchschläge, mit welchen man gegenwärtig die riesigsten Bergketten durchfährt, machen ausserordentlich genaue Vermessungen und Nivellements nöthig, welche für uns um so wichtiger sind, als die betreffenden Bahnlinien zumeist die Alpen geradezu verqueren. Da es auch technisch von der grössten Bedeutung sein muss, das Vorhandensein späterer Störungen zu controlliren, darf man wohl erwarten, dass die betreffenden Nivellements in einiger Zeit revidirt werden.

Wenn nun auch zugegeben werden muss, dass an derartigen Unternehmungen sich weder der einzelne Tourist, so grosses Interesse er auch an der Sache hat, noch ein alpiner Verein, so gewaltig er auch durch

seine Mitglie­derzahl dastehen mag, zu betheiligen vermögen, so können dieselben doch auch ihrerseits zu der Lösung der Frage, ob gebirgsbildende Verschiebungen heute noch stattfinden, beitragen.

Den ersten Anstoss in dieser Richtung hat Freund F. Kraus gegeben, indem er durch einen, in der »Neuen deutschen Alpenzeitung« veröffentlichten Aufsatz dazu anregte, durch directe Beobachtung Veränderungen in der Lage der Berge nachzuweisen. Er dachte dabei zunächst an fixirte, auf einem Bergesgipfel angebrachte, und auf einem zweiten eingestellte Fernrohre, eine Einrichtung, welche ihren Zweck kaum erreicht hätte, wie ich in einer am selben Orte erschienenen Erwiderung zu zeigen versuchte. Fr. Kraus verfolgte jedoch die von ihm erfasste Idee weiter, hielt über die Veränderungen der Berge einen Vortrag im Oesterreichischen Touristen-Club und correspondirte über die bezüglichen Beobachtungsmethoden mit Prof. A. Heim. Aus dieser Correspondenz, welche Kraus mir mitzuthellen die Güte hatte, möchte ich zunächst einen geistvollen Vorschlag des Schweizer Geologen herausgreifen, um seine Durchführung anzuempfehlen.

Heim sagt, dass zunächst sehr genaue Nivellements und Vermessungen, welche nach einer längeren Reihe von Jahrzehnten in ebenso genauer Weise revidirt werden müssten, über die Bewegungen des Gebirges Aufschluss geben könnten. Solche Vermessungen erfordern aber in ihrer Durchführung sehr bedeutende Auslagen, so dass Private sich kaum mit ihnen befassen könnten. Die grossen Alpenseen könnten jedoch mit Vortheil und ohne allzu grosse Kosten zur Controlle etwaiger Bodenbewegungen verwendet werden. Führt man mit Beobachtung der nöthigen Vorsichtsmassregeln an den Ufern dieser Seen genaue Bezeichnungen des heutigen Wasserstandes durch, so erhält man dadurch ein Mittel, nach Jahrzehnten eine etwa stattgefundene Bewegung nachweisen zu können. Denn es ist wahrscheinlich, dass die Gestade eines grösseren Sees nicht in vollständig gleicher Weise von der Bewegung erfasst werden, sondern es dürfte dieselbe an dem einen Ende stärker als an dem anderen sich geltend machen. Wenn nun nach einer Reihe von Jahren ein solcher See, an dessen Ufern genaue Wasserstandsmarken angebracht wurden, wieder auf seinen Spiegel untersucht wird, und man z. B. findet, dass derselbe an dem Nord-Ende nicht wesentlich von dem früher registrirten Stande abweicht, während am Süd-Ende das Wasser um 6 Centimeter höher steht, als es nach der vor Jahren angebrachten Marke stehen sollte, so wird man mit Sicherheit auf eine stattgehabte Veränderung des Bodens schliessen können, die selbstverständlich nur relativ beurtheilt werden kann.

Denn es ist im obigen Falle möglich, dass das Terrain an der Südseite thatsächlich nur um jenen Betrag von 6 Centimeter gesunken ist, — es ist aber auch möglich, dass es um die doppelte Grösse nach abwärts rückte, während an der Nordseite gleichfalls ein Sinken des Terrains, jedoch nur um 6 Centimeter stattfand. Wir erhalten also durch

die Controlle des Wasserstandes an Alpenseen nur Kenntniss von der relativen Grösse der Bewegung, nicht von der absoluten. Demungeachtet wäre die Vornahme derartiger, genauer Wasserstands-Markirungen an unseren Alpenseen äusserst wünschenswerth, zumal da dieselben nicht nur im angedeuteten Sinne benützt werden könnten, sondern auch anderweitig vom grössten Interesse sind, insoferne an diesen Marken auch der grössere oder geringere Wasserreichthum in einzelnen Jahreszeiten, Abhängigkeit von der Menge der Niederschläge und dergleichen abgelesen werden könnte. Im Sinne der anzustrebenden Beobachtung, eventueller Veränderungen der Gestade möchte ich zunächst auf solche Seen hinweisen, die sowohl durch ihre Grösse, als auch durch ihre Lage an Erdbebenlinien, welche häufigere Bodenverschiebungen vermuthen lassen, als besonders geeignet zur Constatirung der letzteren erscheinen. Als solche möchte ich (abgesehen von den schweizerischen Seen) in den Alpen vor allen den Garda-See, den Wörther- und Ossiacher-See und den Gmundner-See bezeichnen. Es ist selbstverständlich, dass auch die Anlage genauer Wasserstandsmarken keine ganz einfache, mühe- und kostenlose Unternehmung ist. Technischer Rath und Beistand wird jederzeit erforderlich sein, und selbst die Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse der Umgebung ist nothwendig, wenn die Arbeit nicht fruchtlos bleiben soll. Zunächst sind natürlich jene Fehler zu vermeiden, welche durch den Einfluss ungewöhnlicher Factoren, starke Winde, übergrossen Zufluss, Verhinderung des Abflusses u. dgl. herbeigeführt werden. Durch länger dauernde Pegel-Ablesungen müsste zuerst festgestellt werden, welcher Wasserstand als der gewöhnliche oder mittlere bezeichnet werden kann, dann erst könnte zur Fixirung desselben geschritten werden, die auf die genaueste Weise (etwa durch eingelassene Metallplatten) zu erfolgen hätte. Wo es thunlich, sollten die Fixpunkte in festem Gestein angebracht werden, und an Stellen, an welchen Veränderungen der Gestade durch oberflächliche und zufällige Einwirkungen (Bergstürze, Abrutschungen u. dgl.) ausgeschlossen erscheinen. Jüngere Anschwemmungen sind ebenso zu vermeiden als steilgeneigte Lehnen brüchigen Gesteines, da an beiden Stellen befürchtet werden darf, dass die angebrachte Marke verloren geht, oder doch in ihrer Stellung verrückt und dadurch unbrauchbar wird. Ich möchte die Vornahme genauer Wasserstandsmarkirungen an Alpenseen als eine der interessantesten und dankbarsten Aufgaben bezeichnen, welche ein Verein, der sich insbesondere mit der Erforschung und Zugänglichmachung der Alpen befasst, sich stellen könne. Wie viel auch der Einzelne in Beziehung auf Untersuchung der Alpenseen zu leisten im Stande ist, hat Professor Simony gezeigt. Einer kann aber nicht alle Alpenseen zum Gegenstand seiner Untersuchungen machen, und getheilte Arbeit ist hier um so mehr nöthig, als jeder See zu seiner genaueren Untersuchung und zur endlichen Anbringung der Wasserstandszeichen ziemlich viel Opfer an Zeit und Arbeitskraft erfordert.

Ich habe oben die meisten Erdbeben als mit den gebirgsbildenden Verschiebungen im Zusammenhange stehend bezeichnet. Es ergibt sich hieraus, dass auch derjenige, welcher zur Erklärung dieser „Dislocations- oder Stauungserdbeben“ einen Beitrag liefert, indirect zur Feststellung und Erklärung der Gebirgsbildung Beihilfe leistet. Ich möchte an dieser Stelle als wenn auch nicht unmittelbar zur Sache gehörig, so doch von weittragendster Bedeutung, die allseitige Theilnahme an der Beobachtung der Erdbeben erwähnen, welche in neuester Zeit von jenen angestrebt wird, welche sich mit der Untersuchung der seismischen Erscheinungen beschäftigen. A. Heim hat auf Veranlassung der Erdbeben-Commission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft eine Instructionschrift über die Beobachtung der Erdbeben verfasst, welche ich bereits oben erwähnte. In der Einleitung derselben heisst es: „Zur Untersuchung jedes Erdbebens bedarf es zahlreicher Einzelbeobachtungen von möglichst vielen verschiedenen Orten. Der Naturforscher ist hier auf die Hilfe der zahlreichen Freunde der Wissenschaft angewiesen. Er wendet sich nicht nur an seine Fachgenossen, an Jedermann, der Interesse an der Naturbeobachtung nimmt. Der Zweck dieser Schrift besteht darin, diesem weiten Kreis von Freunden der Naturbeobachtung das wesentlichste bisher über die Erdbeben Bekannte in kurzen Umrissen mitzutheilen, neue solche Freunde zu gewinnen, und die Anleitung zu geben, in welcher Weise zur weiteren Förderung unserer Erkenntniss beobachtet werden soll.“

Ich möchte Allen, die sich für Naturbeobachtung und insbesondere für alpine Untersuchungen interessiren, die Lecture der Heim'schen Instructionschrift wärmstens anempfehlen, indem ich die Hoffnung ausspreche, dass auch in den Ostalpen die Erscheinung der Erdbeben mit eben jenem Eifer verfolgt werden wird, als dies gegenwärtig in der Schweiz geschieht. Die Schweiz ist das erste Land, in welchem den Erdbeben-Beobachtungen, welche bisher nur von Einzelnen ausgegangen sind, eine dauernde Organisation gegeben wurde, — ein Beispiel, das hoffentlich bald von den Nachbarländern und insbesondere von unserem Vaterlande befolgt werden wird. Jede, und sei sie die beste Organisation, wird jedoch in dieser Hinsicht erfolglos bleiben, wenn sie nicht in der Masse der Bevölkerung Anklang findet, und darum möchte ich zumal die Touristen, welche an Naturbeobachtungen Freude zu haben pflegen, auffordern, der Erscheinung der Erderschütterungen Beachtung zu schenken.

II. Die Veränderung der Gebirge durch Verwitterung und Auswaschung und ihre Beobachtung.

„Wenn ein Bewohner der Ebene oder hügeliger Länder von irgend einem Ding sagen will, es sei sehr fest und unwandelbar, so sagt er gerne „fest wie Fels“. Er ist vielleicht vorübergehend auch schon ins Hochgebirge gekommen; er versuchte dort an einem scharf vorspringenden Felszahn zum Spass zu rütteln, ging dann weg und dachte: „Der

ist für die Ewigkeit hingestellt“, und kehrte später nicht wieder an die gleiche Stelle zurück. Von seiner Heimath aus sieht er, so lange er lebt, in den gleichen Formen die fernen blauen Felsenberge am Horizont stehen, so viel sich auch unterdessen im Gemäuer seiner Stadt geändert haben mag. Dem Gebirgsbewohner hingegen ist nicht der Fels, sondern vielmehr — moralisch und physisch — die von Menschenhand gebaute Mauer das Sinnbild des Festen und Unwandelbaren. Beispielsweise hört man im Kanton Uri oft Redensarten, wie: „Das hat er geglaubt, so fest, wie eine Mauer“, — „auf diesen Felsen darfst du schon treten, der hält wie eine Mauer“, dagegen: „das ist faul wie Felsen.“ Woher dieser Unterschied? Des Letzteren Hüttchen steht vielleicht nahe bei dem Felszahn, von dem der flüchtige Wanderer den Eindruck ewiger Festigkeit mit sich genommen hatte — allein beim nächsten Thauwetter im Frühling poltert der gelöste Fels mit vielen anderen Gesteintrümmern zur Tiefe. An den einzelnen Stellen der Schluchten, Abhänge, Gräte und Gipfel, die der Aelpler jahrelang in der Nähe sieht, beobachtet er ein ewiges Sichverändern, bald langsam, bald erschreckend heftig und ruckweise; vielleicht sieht er Bergstürze, welche Weiden, Vieh und Menschen verschütten. So ist es gekommen, dass die Festigkeit der Felsen so verschieden beurtheilt wird.“

Treffender als diese Worte A. Heim's*) charakterisirt wohl Nichts den Gegensatz zwischen dem Resultate stetiger und flüchtiger Naturbeobachtung.

Wenn wir nun auch in der Lage sind, aus den Theorien der physikalischen Geographie und aus jenen der Geologie Belehrung über die Bedeutung und die Art und Weise der Verwitterungs- und Auswaschungs-Vorgänge zu schöpfen, so vermögen wir uns doch schwer über die Tragweite dieser Vorgänge zu orientiren. Ganz allgemeine Gesichtspunkte helfen uns da sehr wenig. Wenn uns gesagt wird, dass das gegenwärtige, reich gestaltete Relief der Alpen einst ziemlich tief im Inneren einer durch die Rindenrunzelung emporgewulsteten Gesteinsmasse versteckt war, bis es allmählig durch die Einwirkung der Verwitterung und der Auswaschung ausgenagt wurde, so werden wir dies nach einiger Ueberlegung zugeben. Wenn uns dann weiter gesagt wird, dass die heute noch erhaltene Gebirgsmasse der Alpen nur ungefähr die Hälfte derjenigen beträgt, die einst über die Meeresfläche emporgestaut wurde, während die andere Hälfte schon abgewittert und abgespült sei, — wenn uns die Jahrtausende vorgerechnet werden, welche zur Bildung der einzelnen Thalstufen eines Thalsystemes nothwendig waren, dann sind wir zunächst nicht im Stande, mit den uns ungewohnten, ungeheuer scheinenden Grössen zu rechnen. —

Ich will daher namentlich auf die unmittelbare Beobachtung der Verwitterungs- und Erosions- (Auswaschungs-) Erscheinungen hinweisen;

*) A. Heim: „Ueber die Verwitterung im Gebirge“. Oeffentliche Vorträge gehalten in der Schweiz. V. 5. Basel 1879.

bei genügender Aufmerksamkeit und wiederholter Beobachtung können wir uns an den Vorgängen in der Natur selbst am leichtesten und besten belehren. —

Die Verwitterung, deren Thätigkeit wir zunächst betrachten wollen, erzeugt im Gebirge ganz andere Einwirkungen als in der Ebene oder im Hügellande. Die Verwitterungsproducte bilden im ersteren Falle eine Kruste, welche das Innere der Gesteinsmasse vor der weiter eindringenden Verwitterung schützt. Anders an den steilgeneigten Gehängen des Hochgebirges. Was dort gelockert wurde, stürzt, der Schwerkraft folgend, zu Thal, häuft sich zu Schuttlehnen oder Schuttkegeln, und wird endlich vom Wasser weiter thalwärts getragen. Hiezu tritt der die Verwitterung begünstigende starke Wechsel der Temperatur, die grössere Feuchtigkeit; kurz, eine Menge von Factoren wirken zusammen, um die Wirksamkeit der Verwitterung im Gebirge zu erhöhen.

Betrachten wir in Kurzem jene Vorgänge, welche wir mit einem Sammelnamen als Verwitterung bezeichnen. Zunächst finden wir einfache Temperaturveränderungen, durch welche einzelne Theile eines Gesteins mehr oder weniger stark ausgedehnt oder zusammengezogen werden. Die Einwirkung ist auf verschiedene Mineralbestandtheile eine ganz verschiedene, und sehr grobkörnige Gesteine, wie z. B. manche Granite, unterliegen hiedurch einer auffallend schnellen Verwitterung. So verwittert der Granit der Alexandersäule in Petersburg sehr rasch durch die ungleichmässigen Ausdehnungen und Zusammenziehungen seiner grossen rothen Feldspathkrystalle bei Temperaturschwankungen. Wenn, wie dies in der Wüste der Fall ist, der Temperaturwechsel an der Oberfläche von einem hellen Tag zur hellen Nacht bis 60° steigt, können grosse Gerölle durch diese Ursache allein zu eckigen Brocken zerfällt werden.

Zu den Temperaturänderungen an sich tritt jedoch als wichtigstes Agens der Verwitterung das Wasser. Das Wasser dringt in die feinsten Spalten des Gesteines, es nimmt an den Veränderungen der Temperatur Theil, und insbesondere ein Umstand ist es, durch welchen der Temperaturwechsel, sobald er sich um den Eispunkt bewegt, bei Gegenwart von Feuchtigkeit die grösste Wirkung erzielt. Ein Volum Wasser von 0° wird bekanntlich beim Gefrieren zu 1.09 Raumtheilen Eis und ist im Stande, bei dieser Volumvergrösserung eine ganz enorme Kraft auszuüben. Das in die Spalten des Gesteins eingedrungene Wasser zersprengt dasselbe beim Gefrieren, und beim Wiederaufthauen fallen die gelösten Stücke auseinander. Diese Eigenschaft der Gesteine kann man recht gut verwenden, um Pflanzenabdrücke und dergleichen zarte Versteinerungen, die durch Spalten der Gesteinsplatten schwer auszubereiten sind, ohne Mühe freizulegen, indem man sie bei Frostwetter wiederholt mit warmem Wasser begiesst, und inzwischen der Einwirkung der Kälte überlässt. Gelingt es auch nicht beim ersten Mal, so spaltet die vielfach wiederholte Frostwirkung endlich doch das Gestein und zwar dort, wo ein Blattabdruck die Ablösung erleichterte. Aehnlich wirkt in der Natur der fast täglich

wiederholte Frost an den Wänden des Hochgebirges, deren Fuss sich mit mächtigen Schutthalden bekleidet, wobei dem Laien die geringe Veränderung des ganz frisch erscheinenden, abgestürzten Gesteins auffällt. Ueber die starke Verwitterung im Hochgebirge spricht sich Heim (am oben citirten Orte, pag. 14) treffend mit folgenden Worten aus: „Es gibt sehr viele Berggipfel, die so sehr verwittert sind, dass man mittelst Hebeisen den ganzen Gipfel schleifen könnte, ohne einen zusammenhängenden Block von einem Meter Durchmesser zu finden. Mit Recht tragen viele solche Gipfel Namen wie „Faulen“, „Faulberg“, „Faulhorn“ etc.

Eine weitere wichtige Rolle spielt das Wasser bei jener Verwitterung der Gesteine, die durch chemische Veränderung herbeigeführt wird. Wir bemerken, dass manche Gesteine, Steinsalz, Gyps, Kalkstein, Dolomit, Siderit, in Wasser vollständig löslich sind, wenn dieselben theilweise auch vom Chemiker schlechthin als unlöslich bezeichnet werden. Man muss nur die entsprechenden Quantitäten Wasser (in 10.000 Gewichtstheilen Wasser sind nur 460 Theile Gyps, nur 10 — 12 Theile Kalkstein löslich), die für unsere Begriffe unendlich scheinenden geologischen Zeiträume, und endlich den Umstand in Rechnung ziehen, dass das Wasser, welches als Gebirgsfeuchtigkeit oder in Spalten und Hohlräumen im Gestein circulirt und dasselbe angreift, nicht chemisch rein ist, sondern durch einen mehr oder minder reichlichen Gehalt an Kohlensäure in den Stand gesetzt wird, die einfach kohlensauren unlöslichen Verbindungen in doppelt kohlensaure lösliche umzusetzen und fortzuführen. Dieser Vorgang spielt bei der Verwitterung der Kalkgebirge, wie wir sehen werden, die grösste Rolle, er ist auch die Ursache der „Härte“ des Quellwassers.

Zumeist aber ist nur ein Theil des Gesteins löslich, und es verbleibt ein Rückstand oder ein Umwandlungsproduct als Resultat der Verwitterung. So entstehen Kaolin- und Porzellanerde bei der Verwitterung feldspathreicher Gesteine, Serpentin und Talk bei der Verwitterung von Hornblende-, Olivin- und Granatfels. Kohlensäurehaltiges Wasser ist im Stande, in den von ihm angegriffenen Gesteinen auch die scheinbar beständigsten Silicate: Feldspath, Glimmer, Augit, Hornblende u. s. w. zu zersetzen, und ihren Gehalt an Eisen, Mangan, Kalkerde und Alkalien in Gestalt von kohlensauren Salzen zu entführen. Auf die Weise erfolgt wohl bei den meisten Mineralwässern die Anreicherung mit fixen Bestandtheilen. Sehr bemerkenswerth sind die Verfärbungen, welche bei der Verwitterung durch die Umwandlung der Eisenverbindungen entstehen. Das in fast allen Gesteinen vorkommende Eisen steckt in mannigfach gefärbten (bisweilen auch farblosen) Verbindungen im Gestein; grau, blaugrau, grün sind die gewöhnlichen Farben eisenreicher Gesteine. Durch die Verwitterung werden dieselben in rothbraun und roth umgewandelt, indem die ursprünglichen Verbindungen zerstört und der Eisengehalt in Rost verwandelt wird. Ein gutes Beispiel liefert der Wiener Sandstein, der, wie man sich in den Steinbrüchen der Umgebung von Wien leicht über-

zeugen kann, frisch gebrochen dunkelblaugrau ist, während sich die Bruchsteine an der Luft sehr bald mit einer braunen Verwitterungsrinde bekleiden. Die braune Färbung dringt allmählig in's Innere vor, so dass man oft beim Zerschlagen eines braunen Steines innen noch einen blauen Kern wahrnimmt. Zahlreiche Namen von Berggipfeln und Wänden in den Alpen danken der Verfärbung durch Verwitterung ihre Entstehung: Rothhorn, Rothstock, Croda rossa, Pizzo rosso, Aiguilles rouges etc. etc.

Von hervorragender Bedeutung für die Verwitterung ist ferner der Pflanzenwuchs. Auch der Pflanzenwuchs wirkt in mehrfacher Weise auf das Gestein. Durch das Wachsthum der Wurzeln, die in die feinsten Spalten der Felsen eindringen, wird eine bedeutende mechanisch-zertrümmernde Gewalt ausgeübt, die sich dort am mächtigsten geltend macht, wo, wie auf den Höhen der Alpen eine lückenhafte Pflanzenhülle unmittelbar auf Felsgrund vorhanden ist, und die Wurzeln in die Ritzen und Spalten des Gesteins eindringen. Wo hingegen eine dichte Pflanzendecke auftritt, die nicht mehr im Fels, sondern in einer beträchtlichen Erd- oder Humusschichte wurzelt, schützt diese Hülle eher den Untergrund vor Verwitterung. Stets aber liefern die Pflanzen beim Absterben und Verwesens Kohlensäure, welche die Sickerwasser mit in die Tiefe nehmen, und welche, wie wir oben gesehen haben, ein äusserst wichtiges Lösungsmittel darstellt, durch welches das Circulationswasser die Gesteine heftig anzugreifen im Stande ist.

Die elektrischen Entladungen, so grossartig auch die Hochgewitter der Alpen sind, bringen sehr geringe Einwirkungen auf Gesteine zu Stande, welche hier der Vollständigkeit halber erwähnt sein mögen. An schwer schmelzbaren Gesteinen (Kalkstein, Gneiss) findet man seltener, an leichter schmelzbaren (wie Hornblendefels u. dgl.) häufiger an freistehenden Gipfelpunkten das Gestein etwas angeschmolzen. Diese Oberflächenschmelzungen können nur durch den Blitz hervorgerufen worden sein. Saussure beobachtete sie in den Hornblendeschiefeln am Montblanc, Ramont auf dem Montperdu im Glimmerschiefer und dem Puy de Dome im Trachytophyr; Humboldt und Bonpland fanden auf dem Gipfel des Toluca eine verglaste Oberfläche von etwa $\frac{1}{2}$ Quadratmeter, in welche mehrere inwendig verglaste Löcher sich einsenkten. Escher von der Linth beobachtete auf dem Gipfel des Dössistockes (Maderanerthal), dass die kleinen Gesteinstrümmerchen zu kleinen Blitzröhren zusammengeschmolzen waren. Heer fand Glastropfen auf dem Gipfel des Kärpfstock auf Sernftconglomerat und Thonschiefer. Heim, dessen Schrift über Verwitterung ich die angeführten Daten entnehme, bemerkt: „Auf dem Gipfel des Pizzo centrale (Gotthard-Gruppe) habe ich einst sorgfältig jede Spur von solchen Blitzschmelzungen, die im dortigen Hornblendeschiefer sehr häufig waren, weggenommen; als ich aber wenige Jahre später den Gipfel wieder bestieg, waren bereits ziemlich viele neu entstanden.“ Jedemfalls hat die Einwirkung des Blitzes auf die Gesteine der Hochgipfel keine sonderliche Bedeutung als Verwitterungs- und Zerstörungserscheinung

Nachdem wir die Verwitterung im Allgemeinen, wenn auch nur flüchtig betrachtet haben, wollen wir uns der Discussion der Beobachtung verschiedener Verwitterungserscheinungen zuwenden. Wir werden hiebei bald ersehen, dass auf diesem Felde noch manches zu leisten ist. Ich möchte in dieser Richtung zunächst auf die meist viel zu wenig gewürdigten „Verwitterungsformen“ aufmerksam machen, wie sie wohl von Seite derjenigen, welche sich eingehend mit dem Bau der Gebirge beschäftigen, berücksichtigt werden, da sie vielfach den Aufnahmsgeologen in seiner Thätigkeit unterstützen. Aus den Formen des Terrains allein kann man oft schon aus grösserer Entfernung einen Schluss auf die Gesteine ziehen, welche einen Höhenzug zusammensetzen. Von Nicht-Geologen aber werden die Verwitterungsformen gewöhnlich sehr wenig beachtet.*)

Manche Gesteine besitzen höchst charakteristische und ihnen eigenthümliche Verwitterungsformen. Eine der auffallendsten ist in dieser Hinsicht die Erscheinung der Karren oder Schratzen, welche ausschliesslich an Kalkgebirge gebunden ist (denn das Vorkommen von, noch dazu unvollkommen ausgebildeten, ähnlichen Bildungen in Gypslagern ist zu unbedeutend, um mit den echten Karren verglichen zu werden). Wie schon der Name „Karrenfelder“ andeutet, treten die Karren in grossen, wenig gegliederten, einförmigen Plateauflächen auf, in Gestalt einer Unzahl tiefer Rinnen, welche durch unregelmässige Kämme, die oft messerscharfe Rücken darstellen, getrennt sind. Die Karren können, wie schon aus ihrer Unregelmässigkeit hervorgeht, nicht durch irgend einen mechanischen Vorgang entstanden sein, sie bilden sich vielmehr an der Oberfläche von Kalkgebirgen durch chemische Auflösung. Die Rinnen der Karrenfelder entstehen dort, wo Schnee lange liegen bleibt; das Schmelzwasser greift dann durch lange Zeit, während des allmäligen Abschmelzens die Unterlage an. In der Nähe der Schneelinie trifft man Karrenfelder in frischer Bildung, in den Rinnen und Löchern bleibt der Schnee oft das ganze Jahr liegen, und fortwährend greift das absickernde Schmelzwasser die Unterlage an. Ferner ist zur Entwicklung der Karrenbildung grössere Reinheit des Kalksteines nöthig. — „Je ausschliesslicher,“ sagt Heim, „die chemische Auflösung des Gesteines wirkt, je reiner der Kalkstein ist, um so reiner tritt die Karrenbildung ein.“

Eine vicarirende Erscheinung (wenn ich mich dieses Ausdruckes bedienen darf) stellen die sogenannten „Karsttrichter“ dar. Diese, in den Karstgegenden weit verbreiteten und gewöhnlich zu den charakteristischen Karst-Merkmalen gerechneten Trichter wurden bisher allgemein, ebenso wie die Dolinen, die thatsächlich Einsturz-Kessel sind, als durch den Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume veranlasste Einsturz-Erscheinungen aufgefasst. Indessen spricht nach Mojsisovics*) schon die

*) Eine vortreffliche Schilderung derselben findet sich in der bereits mehrfach citirten Schrift A. Heim's „über die Verwitterung im Gebirge“.

**) Zur Geologie der Karsterscheinungen, Zeitschr. d. Deutsch. u. Oesterr. A. Ver. 1880, Pag. 115.

auffallend regelmässige Form der Trichter gegen diese Annahme. „Einstürze kennzeichnen sich stets durch unregelmässige Umrisse, und selbst benachbarte, unter ähnlichen Verhältnissen zu Stande gekommene Einstürze werden nie genau die Form ihrer Nachbarn copiren. Bei den Karstrichtern gehört aber gerade die Wiederkehr derselben trichterförmigen Gestalt mit mehr oder weniger kreisrundem Umriss zu den charakteristischen Eigenschaften.“

„Die volle Ueberzeugung aber, dass die Karstrichter keine Einstürze sein können, erhält man in solchen Fällen, wo geneigte Flächen, wie z. B. Berggehänge, von Trichtern derart dicht besetzt sind, dass nur schmale Felsrippen als Ränder zwischen den einzelnen Trichtern fortlaufen. Man hat derartigen Flächen nicht unpassend das Prädicat „blattersteppig“ beigelegt. Wie sich aber derartige oberflächliche Aushöhlungen im festen Karstkalk als Einstürze erklären lassen sollen, scheint mir gänzlich unverständlich. Als ich zum ersten Male mit Karst-Trichtern besäte, „blattersteppige“ Gehänge sah, wurde ich sofort an die Karrenfelder unserer nördlichen Kalkalpen erinnert. Es fiel mir zunächst auf, dass diesen südlichen Gegenden Karrenfelder vollständig fehlen, trotzdem die äusseren Bedingungen zur Bildung derselben in vielen Fällen erfüllt schienen. Als ich dann weiter beobachtete, wie innig die Verbreitung der Trichter mit dem Auftreten der Terra rossa oder deren Derivate zusammenhängt, so setzte sich bei mir die Ansicht fest, dass die sogenannten Karst-Trichter in die Kategorie der „geologischen Orgeln“ gehören, mit welchen sie ja auch die äussere Gestalt gemeinsam haben. Die Karst-Trichter sind die Haupt-Angriffspunkte der chemischen, subaërischen Auflösung der Kalkfelsen, und deshalb findet sich auch die unlösliche Asche des Kalkes, die Terra rossa, so innig mit den Trichtern vergesellschaftet. Ich füge noch hinzu, dass die Karst-Trichter, eben so wie ihre Stellvertreter in den nördlichen Kalkalpen, die Karren, stets gesellig auftreten, und dass der Durchmesser der einzelnen Trichter von wenigen Centimetern bis zu vielen Metern variiren kann. Es ist augenscheinlich, dass die Trichter allmähig nach Tiefe und Umfang wachsen. Benachbarte Trichter vereinigen sich mit der Zeit in Folge der allmähigen Auflösung der Scheidewand zu Doppeltrichtern u. s. f.“

Sowohl von den Karren als von ihren vicarirenden Vertretern im Karst, jenen Trichtern, für deren Entstehung v. Mojsisovics wohl die einzig zulässige Erklärung gab, existiren wenig brauchbare Abbildungen, was um so mehr zu bedauern ist, als von beiden Erscheinungen derjenige, der sie nicht in der Natur zu sehen Gelegenheit hatte, sich kaum eine Vorstellung zu bilden im Stande ist. Fr. S i m o n y hat neuerdings*) die Wichtigkeit ausgedehnter photographischer Aufnahmen in den Alpen vom wissenschaftlichen Standpunkte aus betont. Nach seinem Plane sollte das herrlichste, grossartigste, in naturwissenschaftlicher wie

*) Das Landschaftsbild als illustrirendes Element. Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins 1890. Pag. 103.

auch in allgemein geographischer Hinsicht interessante und reichgestaltete Gebiet unseres Continentes durch ein Werk in Bildern nach all' seinen lehrreichen Erscheinungen zur Anschauung gebracht werden. *Simony* bezeichnete es als eine im höchsten Grade fruchtbringende und dankenswerthe Aufgabe für den Deutschen und Oesterreichischen Alpenverein, einen in erster Linie aus photographischen, durch den Lichtdruck reproducirten Aufnahmen bestehenden, durch sorgfältig ausgeführte panoramatische Ansichten ergänzten und von entsprechenden Erläuterungen begleiteten Atlas ins Leben zu rufen, welcher den Zweck hätte, ein möglichst vollständiges Gesamtbild des Alpenlandes und seiner Bewohner zu geben.

Möge dieses Werk baldigst begonnen und im Geiste seines Anregers eifrigst fortgeführt werden; jedenfalls müssen wir uns mit ihm einverstanden erklären, wenn er sagt: „Ich glaube keine Widerlegung fürchten zu dürfen, wenn ich es ausspreche, dass der gedachte Atlas, nach einem einheitlichen, wissenschaftlichen Princip durchgeführt, sich zu einem wahrhaft monumentalen Werk gestalten könnte, welches ebenso für den Mann der Wissenschaft zu einer unerschöpflichen Fundgrube für seine Studien und für den Lehrer zu einem werthvollen Material für seine Demonstrationen, wie für jeden Freund der Alpennatur zu einer Quelle vielseitigster Belehrung sich gestalten würde. Dasselbe gewänne aber auch noch nach einer anderen Richtung hin eine nicht zu unterschätzende Bedeutung, nämlich dadurch, dass es gleichsam ein Archiv authentischer Natururkunden würde, aus welchem sich der Zustand wandelbarer Erscheinungen, z. B. der Gletscher, aus einer länger oder kürzer vergangenen Zeit in genauester Weise entnehmen und mit den später eingetretenen Veränderungen vergleichen liesse.“

Wir werden später auf den letzterwähnten Vortheil, der mit der Anlage des „Alpen-Atlas“ verbunden wäre, und der mir von ausserordentlicher Bedeutung scheint, zurückkommen, — ich möchte zunächst nur die Bedeutung dieses Unternehmens für die richtige Erkenntnis der Verwitterungserscheinungen durch Aufnahme typischer Verwitterungsformen betonen. *Simony* betont mit Recht, dass es fast eben so schwer ist, Karrenfelder und andere Erosionsformen (ich erinnere z. B. an die bekannten Bozener Erdpyramiden), wie Details der Gletschererscheinungen durch Zeichnung aufzunehmen. Erstlich entgeht auch dem geübtesten Blick viel von beachtenswerthen Details, und auch dem geübten Zeichner fällt es schwer, in Regionen, welche ein ruhiges Sitzen und Arbeiten oft nur für kurze Zeit gestatten, wahrheitsgetreue und in den Einzelheiten richtige Aufnahmen zu vollziehen. Gewiss ist die Arbeit des photographischen Apparates vorzuziehen, schon deshalb, weil die Verhältnisse durch denselben stets in jener Naturwahrheit wiedergegeben werden, welche für wissenschaftliche Betrachtung erforderlich ist.

Die Formen der Gehänge sind je nach der Gesteinsbeschaffenheit verschieden. Unter Maximalböschung versteht *Heim* jene Grenze der

möglichen Steilheit, die nur ganz local, aber nie im grossen Ganzen auf einem grösseren Stück der Profilinie des Berges überschritten werden kann, und durch die Beschaffenheit der Felsart, durch deren Zerklüftung und Lagerung, durch die bestehenden klimatischen Verhältnisse und endlich durch den Verwitterungszustand bestimmt wird. Wird diese Grenze der Steilheit an irgend einer Stelle, durch Herausfallen stärker verwitterten Gesteines oder durch Auswaschung überschritten, so erfolgt ein Nachstürzen der oberen Partien, das schneller oder langsamer sich fortsetzen kann, bis es den Kamm erreicht. Dieses Nach-Aufwärtswandern der allzusteilten Partien des Gehänges, bis die Maximalböschung durch Erniedrigung des Grates wieder hergestellt wird, schildert He i m sehr anschaulich. Es schärfen sich, und dieses Grundgesetz der Abtragung muss stets berücksichtigt werden, die Bergkämme und Gipfel nicht von oben herab, sondern von unten hinauf. Alle Runsen und Rinnen, alle Schluchten steigen von unten nach aufwärts, fressen nach rückwärts und oben in das Terrain.

Doch kehren wir zu dem von He i m aufgestellten Begriff der Maximalböschung zurück. Sie ist je nach der Gesteinbeschaffenheit verschieden, und es entwickelt sich, da die Verwitterung der verschiedenen Gesteine vollständig verschiedene Abtragsformen erzeugt, typische Gehängformen, die stets wiederkehren, sobald dasselbe Gestein unter ähnlichen Lagerungsverhältnissen vorkommt.

So besitzen Berge, welche aus krystallinischen Massengesteinen (Granit, Diorit, Gabbro etc.) bestehen, in der Regel runde Kuppen, weil die Verwitterung ziemlich gleichförmig nach allen Richtungen wirkt. Sind diese Gesteine von mehr oder minder regelmässigen Spalten durchsetzt, sei es nun, dass dieselben durch Abkühlung beim Erstarren, oder durch späteren Seitendruck (Clivage) erzeugt wurden, so finden wir die Kuppen solcher Berge oft mit losen Blöcken bedeckt, die sehr bedeutende Dimensionen besitzen können (Blockgipfel und Felsmeere). Die Verwitterung folgt hier eben den Ablösungsflächen, und löst dadurch den Fels in zahlreiche, lose Blöcke auf, deren Ecken und Kanten oft stark abgerundet sind. Auf diese Weise entstanden die übereinandergetürmten, wollsackähnlichen Blöcke des Granitits im Riesengebirge, die bizarr übereinandergehäuften Blöcke des Plöckensteingranites im Böhmerwald, und auch in den Centralalpen gibt es Gipfel, die nur aus übereinandergehäuften Felsblöcken zu bestehen scheinen. Als Beispiele solcher Blockgipfel nennt He i m die Fibbia, den Pizzo rotondo und Pizzo Lucendro aus der Gott-hard-Gruppe, das Schwarzhorn in Wallis. Dort, wo Massengesteine von zahlreichen senkrechten Spalten (ähnlich wie dies beim Kalkstein der Fall ist), durchsetzt werden, bilden sie wie dieser gerne fast senkrechte Wände. Als Beispiel nenne ich den stark zerklüfteten Quarzporphyr von Bozen, der einen alten Erguss von Laven darstellt, in Folge dessen tafelförmig ausgebreitet ist. Diese Quarzporphyrtafel wird von tiefen Thal-Einschnitten durchzogen, und allenthalben bemerkt man steile

Gehänge, die unverkennbar durch die starke senkrechte Zerklüftung des Porphyrs entstanden sind.

Kalk- und Dolomitmassen bilden in Folge der verticalen Spalten, welche sie durchsetzen, im Hochgebirge fast stets sehr steile Wände, welche an ihrem Fuss von mächtigen Schutthalden umgürtet sind. Mergelige Kalke, thonige Gesteine, Sandsteine (Flysch) zeigen hingegen viel sanftere Gehängformen. Es gibt nicht leicht einen schärferen Contrast, als jenen zwischen der dicht bewaldeten (und zwar vorzugsweise von Laubholz bekleideten) rundrückigen Landschaft der Flysch- oder Sandsteinzone der Nordalpen und jener der Kalkzone mit ihren steilen, nackten Wänden und der zerrissenen, fast ausschliesslich von Nadelholz gebildeten Bewaldung. Dieser Contrast wird jedem Bewohner der Stadt Wien aufgefallen sein, der die Landschaftsbilder desjenigen Theiles des Wienerwaldes, der aus Flysch-Sandstein besteht, mit jenen des Kalkgebirges verglichen hat, welches von Wien bis in die Gegend von Wiener-Neustadt den jähren Abbruch der Ostalpen darstellt. — Oft ragen die steilen Wände der Kalkfelsen schroff über die sanfteren und niedrigeren Terrainformen weicherer, der Verwitterung leichter zugänglicher Gesteine hervor. Ein solches Bild zeichnet Heim vom Glärnisch aus: die aus Jura- und Kreidekalk gebildeten Mythen ragen unvermittelt aus den flachabgetragenen Flyschschiefern hervor. In ähnlicher Weise repräsentiren sich die karpatischen „Klippen“. Mit diesem Namen bezeichnen die Geologen isolirt aus dem Sandsteinterrain emporragende, meist kleine, aber in der Regel steile Felsen bildende Gesteinsschollen, welche zum grossen Theil der Juraformation angehören, und ringsum von jüngeren discordant gelagerten Sandsteinschichten umgeben sind. Nur selten nehmen an der Zusammensetzung der „Klippen“ auch Gesteine der Triasformation Theil, stets aber heben sich ihre schroffen, nackten, oder nur mit spärlicher Pflanzendecke bekleideten Felswände scharf von den rundlichen, dichtbewaldeten, niedrigeren, von Flysch gebildeten Höhen der Umgebung ab. Eine nähere Erklärung des Klippenphänomens soll an dieser Stelle nicht gegeben werden, ich will nur bemerken, dass die oft von tausenden Einzelklippen gebildeten Züge, welche dem Hauptstreichen des Gebirges folgen, jedenfalls durch den gewaltigen, bei der Gebirgsbildung wirkenden Seitendruck emporgesprengt wurden, — es sind aufgesprengte Falten, deren einzelne Schollen durch die auflagernden Flyschmassen drangen, und nun durch die oben geschilderten Eigenthümlichkeiten des Kalksteines gelegentlich der Verwitterung sich auch landschaftlich gegenüber den durchbrochenen Flyschgesteinen scharf hervorheben.

In ähnlicher Weise contrastiren die triadischen Dolomitriffe Südtirols mit den gleichzeitig abgelagerten Tuffen, Sandsteinen und Mergeln der Wengener und Cassianerschichten, und man sieht in den Ampezzaner Alpen sowohl in der Gesteinsbeschaffenheit als in der Gehängform einen äusserst scharfen Contrast zwischen den in steilen, nackten Wänden abbrechenden Kalk- und Dolomitmassen und den in sanfteren

Böschungen mit dichter Vegetationsdecke bekleideten Mergeln und Tuffen. Dieser Contrast ist es, welcher den Ampezzaner Alpen ihre unvergleichliche Schönheit verleiht — denn ohne die intercurrenden Tuff- und Mergellager wären die Kalk- und Dolomitmassen nichts als eine öde Steinwüste. In ganz anderer Weise als bei den bisher besprochenen Gesteinen gestalten sich die Gehängformen bei den krystallinischen Schiefern. Ein gleichmässiges, nicht allzu steiles Ansteigen der Böschung vom Fuss bis zum Gipfel zeichnet viele aus krystallinischen Schiefern bestehende Berge aus. Heim gibt als Beispiel eines solchen die Abbildung des Bristenstockes, an welchem auf einer Verticaldistanz von 2550 m die Kante der Pyramide, als welche der Berg dem Beschauer erscheint, vom Gipfel bis an den Fuss bei Amsteg eine continuirliche Steigung von 36° besitzt. Bestehen Gebirgskämme aus steil geneigten krystallinischen Schiefern, so sind sie meist sehr stark zerrissen, ausgezackt und zerfressen. Gipfel sind im Schiefergebirge stets scharfe Schneiden, über welche man mit Mühe weg kommt.

Das Angeführte mag hinreichen, um zu zeigen, welche mannigfaltigen Aufgaben für denjenigen zu lösen sind, der es unternehmen wollte, alle die verschiedenen Abtragsformen der Gesteintypen durch Aufnahme charakteristischer Gehäng- und Gipfformen zu illustriren. Es ist klar, dass da nur vereinte Arbeit zum Ziel führen kann. Ich möchte auf derartige Aufnahmen grösseren Werth legen, als auf plastische Nachbildungen, wie sie Prof. Heim durchzuführen beabsichtigt. Erstlich müssen diese künstlichen Nachbildungen der Abtragsformen, so sehr sie auch der Natur abgelauscht sein mögen, doch mehr oder minder ungenau bleiben, da es sich in vielen Fällen darum handeln wird, auf einem Relief Erscheinungen zu vergesellschaften, die in der Natur nicht unmittelbar nebeneinander aufzutreten pflegen. Alle Sammelbilder leiden mehr oder minder an Unwahrscheinlichkeit. Der Hauptfehler der Reliefs aber ist ihr hoher Preis, welcher die Anschaffung so zahlreicher Nachbildungen als sie wünschenswerth wären, um über so complicirte Erscheinungen, wie Verwitterung und Abtrag der Gebirge zu orientiren, leider geradezu unmöglich macht. Photographien aber sind leichter in grösserer Anzahl herzustellen und einem viel grösseren Kreise zugänglich.

Dann ist es vor Allem ein Umstand, welcher die ausgedehnte Anwendung der photographischen Aufnahme gerade zum Zwecke des Studiums der Verwitterung und Abtragung der Berge wünschenswerth macht. Jede von entsprechendem Standpunkt ausgeführte Aufnahme stellt eine authentische Natur-Urkunde dar (um die Worte Simony's zu gebrauchen), und aus diesen Urkunden lassen sich die Veränderungen, welche an den Gehängen und Gipfeln in längerer oder kürzerer Zeit vor sich gehen, feststellen. Simony dachte dabei zunächst an die Gletscher, es gibt indessen in den Alpen so viele Veränderungen, welche sich durch derartige Photographien controlliren liessen, dass der Werth eines solchen photographischen Archives nicht hoch genug angeschlagen werden kann. Heim

sagt in seiner Schrift über die Verwitterung im Gebirge, indem er von der verschiedenen Beurtheilung der Festigkeit der Felsen durch den Bewohner der Ebenen und jenen des Gebirges spricht: „Hätten uns die ersten Menschen, welche Europa bewohnten, oder vielleicht die Pfahlbauern ganz genau gezeichnete Panoramas hinterlassen, so könnte wohl der Ebenen-Bewohner schon aus der Ferne bei sorgfältiger Vergleichung hie und da eine kleine Formveränderung entdecken. Da fände er eine neue Bresche in einen wilden Grat geschlagen, dort eine Spitze schmaler geworden und Umsturz drohend, an einem dritten Ort einen Felszahn eingestürzt.“ — Bei schärferer Beobachtung, wie sie uns schon durch die Anwendung der Photographie erleichtert wird, bedarf es nicht so langer Zeiträume, um das Fortschreiten der Verwitterung und Abtragung verfolgen zu können. — Wenn wir erst über recht zahlreiche gute photographische Aufnahmen aus den Hochalpen verfügen werden, und unter diesen vom selben Punkt aufgenommene Ansichten sich befinden, die Gipfel und Gehänge nach längerer Frist, vielleicht nach Jahrzehnten zur Anschauung bringen, werden wir allenthalben die Wirksamkeit der Verwitterung wahrzunehmen im Stande sein.

Die grössten Dienste aber wird die Photographie bei der Untersuchung einer Gruppe von Abtragungs-Erscheinungen leisten, welche fast eben so schwierig zu beurtheilen sind, als die complicirten Gletscherphänomene. Wir haben eben von dem durch Heim aufgestellten Begriff der Maximalböschung gesprochen, und gesehen, dass, wenn dieselbe am unteren Theil der Gehänge durch Herausstürzen verwitterter Felspartien, oder durch Auswachsung überschritten wird, ein allmähliges Nachbrechen der oberen Gehängtheile die Maximalböschung wieder herstellt. Es kann jedoch diese Wiederherstellung nicht bloß durch ein allmähliges Aufwärtsrücken der übersteilen Stelle, durch ein nach rückwärts Einnagen der Runsen und Schluchten erfolgen, sondern auch durch einen gewaltsameren Vorgang, durch ein Abrutschen oder Abstürzen einer beträchtlichen Partie des Gehänges. Die Terrain-Bewegungen, welche man als Bergstürze, Bergschliffe, Rutschungen etc. bezeichnet, sind nun sehr verschiedener Art, gemeinsam ist ihnen nur die Grundursache der überschrittenen Maximalböschung. Da diese von stets verschiedenen Factoren, unter anderen auch von der Durchfeuchtung abhängt, ist es klar, dass ein Gehänge, welches unter gewöhnlichen Verhältnissen stabil ist, nach starken Regengüssen oder nach der Schneeschmelze zu wandern beginnt. In anderen Fällen war die Durchklüftung einer Bergmasse oder die Schichtstellung derselben eine solche, dass es nur einer gewaltigen Erschütterung bedurfte, um einen Bergsturz herbeizuführen. In solcher Weise stürzte bei dem Erdbeben von 1848 ein Theil des Dobratsch in's Gailthal, und der Einsturz der Lomnizerspitze muss wohl einem ganz ähnlichen Vorgang zugeschrieben werden. Am häufigsten aber ist das Wasser das Agens bei Bergstürzungen. Entweder es dringt dasselbe zwischen zwei mehr minder steil geneigten Schichten, die wasser-undurch-

lässig sind, ein, erweicht die zwischengelagerten Mergel oder thonigen Gesteine zu einem Brei, so zwar dass endlich die aufgelagerte Gesteinsmasse auf der Gleitfläche nach abwärts zu rutschen beginnt, oder aber es findet eine gleichmässige und so hochgradige Durchtränkung des Gesteins statt, dass dasselbe sich als plastische zähe Masse, ähnlich wie das Eis eines Gletschers thalwärts bewegt, wobei freilich diese Bewegung eine viel ungleichförmigere ist, da die einzelnen Rutschungen, aus denen sie sich zusammensetzt, durch anhaltende Regengüsse und Schneeschmelzen beschleunigt, durch trockenes Wetter hingegen aufgehalten werden. Da Bergstürze und eigentliche Rutschungen zu den bekannteren Erscheinungen zählen, will ich mich an dieser Stelle darauf beschränken, ein Beispiel der zuletzt erwähnten Bewegungsart anzuführen. D. Stur schildert sehr anschaulich die ausgedehnten Terrainbewegungen, welche in den Ampezzaner Alpen, und zwar speciell in der Umgebung von St. Cassian in den Mergeln der Wengener und Cassianer Schichten vor sich gehen.*) Die gesammten wiesigen, mehr minder geneigten Gehänge sind dort in einer zwar sehr langsamen, aber an verschiedenen Stellen ungleich raschen Bewegung von den Höhen hinab gegen die Thalsole begriffen. Die Bewegungen geben sich dem Beschauer in doppelter Weise zu erkennen. Man bemerkt, dass Wiesenflecke in langsam abfallenden, mässig breiten Thalsoles, welche im Vorjahre noch mit continuirlicher Grasfläche bedeckt waren, heuer zahlreiche nach allen Weltgegenden gerichtete Sprünge aufweisen, die den Rasen in kleine Stücke zerreißen. Erst in einiger Entfernung thalabwärts sieht man die Spuren der Bewegung in dem Aufstossen des Terrains an unverrückbaren Erhöhungen, oder in dem Hinabgleiten ganzer Schollen über steilere Gehängpartien. Im zweiten Fall sieht man an den Rändern der sumpfig wiesigen Plateaus die deutlichen Spuren grösserer und kleinerer Absitzungen; am Fusse der steileren Böschung bemerkt man das hinabgerutschte Materiale dem wiesigen Terrain aufgesetzt, nahe dem Rande des Plateaus aber neue, der Ablösung parallele continuirliche Risse, die oft schon so weit gediehen sind, dass es, wie Stur sagt, „wohl nur noch des Gewichtes des Beobachters bedürfte, um eine solche Rutschung vor den Augen desselben in Scene zu setzen“.

Die Folgen dieser Rutschungen und Bewegungen des Bodens sind viel grossartiger als es im ersten Augenblick den Anschein hat: „Auf dem Wege von St. Cassian, südlich auf den Prelongeiberg, längs welchem nicht ein einziger Aufschluss bis auf die unterliegenden anstehenden Schichten reicht, trifft man ganze grosse Waldtheile, von mehreren Jochen Flächenraum, welche in einer derartigen Wanderung begriffen sind.“ Auch die von den Dolomitriffen abgestürzten Felsblöcke wandern auf dem Untergrund thalwärts, und werden, ähnlich dem Moränen-Material

*) „Eine Excursion in die Umgebung von St. Cassian“, Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 1868.

beim Gletschertransport, auf weite Strecken fortgeführt. Stur sagt hierüber: „Wir waren nicht wenig erstaunt, die äussersten Vorposten der wandernden Dolomitblöcke des Sett Sass auf dem Wege von Corfara in das Livinallungo-Thal knapp über dem Absturze zu finden, der in das Selvanathal hinabführt. Diese Blöcke hatten einen wenigstens eine halbe Meile langen Weg vom Sett Sass her zurückgelegt, im Gebiete einer mässig breiten und sehr langsam fallenden Sohle eines am Somesberge entspringenden Zuflusses des Selvana-Thales, dessen Gewässer so gering sind, oder gänzlich unter der beweglichen Oberfläche fliessen, dass das Thalchen kein Wasserrinnsal besitzt.“ —

Stur bemerkt, dass man gegen seine Darstellung vielleicht die Einwendung erheben würde, dass auf diese Weise grosse Theile der Gehänge vollkommen von aller Vegetation entblösst werden müssten, und andererseits die grosse Masse des in's Thal hinabgelangenden Schuttes die Thalsohlen gänzlich ausfüllen und alles, was da lebt, überdecken und verwüsten würde. Dem gegenüber bezeichnet er es als einen glücklichen Umstand für die Umwohner, dass die Bewegung der Gehänge eine zu meist sehr langsame ist, die sich erst nach Jahren in ihren Resultaten zu erkennen gäbe. In Folge der leichten Verwitterbarkeit der Gesteine sei die Pflanzendecke, begünstigt von ausgiebiger Feuchtigkeit der Atmosphäre, bald im Stande, die entstandenen Risse der Wiesenflächen auszubessern und unkenntlich zu machen. Dem hätte ich nur beizufügen, dass dies bei den eigentlichen Schlammströmen des Gebietes, welche sich etwas schneller thalwärts bewegen, nicht der Fall ist. Sowohl der Schlammstrom, der, von den Incisa-Höhen kommend, gegen Corfara hinabsteigt, als jener, der südlich von Prelongei seinen Ursprung nimmt, und in die Thalschlucht bei Contrin hinabreicht, sind, zumal in ihrem unteren Theile, frei von Vegetations-Bekleidung, und die graubraune Farbe der breiigen Gesteinsmasse tritt überall zu Tage. Bei anhaltend trockenem Wetter vermag man die erhärteten Massen ohne Schwierigkeit zu überschreiten; die Bewegung derselben beginnt erst, wenn starke Durchtränkung in Folge der Schneeschmelze oder anhaltender Regengüsse die Masse wieder erweicht hat. Auch in der Gegend von St. Leonhard im Abteythal und in der Umgebung von Ampezzo sind solche wandernde Gehänge eine häufige Erscheinung. Es ist klar, dass zur Darstellung solcher langsamer Veränderungen nur die Photographie ein geeignetes Mittel vorstellt. Gerade so, wie wir, wenn seinerzeit das von Simony geplante photographische Archiv vorhanden sein wird, aus der Vergleichung verschieden alter, vom selben Standpunkt aufgenommener Ansichten die Veränderungen der Gletscherwelt unmittelbar und deutlicher ersehen werden, als aus jenen Spuren, die vielleicht dem Auge des Kundigen verrathen, dass hier ein Vorwärtsrücken, oder ein Zurückgehen des Eises, — oder irgend eine andere Veränderung stattgefunden hat; — geradeso werden wir aus derartigen Ansichten auch die Veränderungen an verwitternden Wänden, an Schuttkegeln, an rutschenden

Gehängen, an Schlammströmen und an Murbrüchen zu erkennen im Stande sein. Und darum möchte ich vom Standpunkte des Geologen den Plan *Simony's* der Unterstützung aller jener, welchen die wissenschaftliche Erforschung der Alpen am Herzen liegt, auf das wärmste empfehlen.

Ich habe bis nun noch nicht von der Auswaschung oder „Erosion“ gesprochen. Das fließende Wasser ist stets bemüht, jenes lose Material, welches die Verwitterung von den Berglehnen herab in's Thal stürzt, noch weiter abwärts, ja ganz aus dem Gebirge herauszuschaffen.*) Heim betont in einer interessanten Arbeit, welche er mit Unterstützung von Seite des Schweizer Alpen-Club durchführte, und welche die Erosion im Gebiete der Reuss zum Gegenstand hat, die Schwierigkeit, an den Bergen zu messen, um wie viel sie in einer bestimmten Zeit abgetragen werden. „Verwitterung und Erosion haben die jetzige Oberfläche des Gebirges gestaltet, sie haben aus dem ursprünglich massigeren, plumperen, nur von einzelnen Klüften durchsetzten Bau die herrlich anstrebenden Gipfel und Gräte in ihren kühnen Gestalten herausgemeißelt, und sie arbeiten fort und fort. Was wir bewundern, was wir zeichnen, worauf wir unseren Fuss setzen, was wir in unseren Karten darstellen und in unserer Vereinigung zu Alpen-Clubgenossen feiern, das sind die vorübergehenden Resultate der Verwitterung und Erosion, die schwindenden, brechenden aber dennoch für uns so mächtigen Reste eines älteren, von uns nicht mehr gekannten Bauwerkes der Erdrinde.“

Um für die Schnelligkeit der Arbeit, die dieses bewirkte, einen Massstab zu gewinnen, muss man nach Heim in die Tiefe steigen, da die Abnagung der Berge durch die Verwitterung nicht direct messbar sei. Man hat vielmehr das von den Flüssen transportirte Material zu messen, um auf das Ausmass der Erosion und Verwitterung rückzuschliessen. In manchen Fällen ist dies verhältnissmässig leicht, und die Reuss liefert ein gutes Beispiel in dieser Hinsicht. — „Seit der Reuss-Correction 1851 lässt die Reuss keine Geschiebe mehr unterwegs zerstreut im Thalboden bleibend liegen, auch findet sich unterwegs kein auffassender See; sie spült fast alles Geschiebe, vollständiger als die meisten anderen Flüsse, bis an ihre Mündung in den Vierwaldstädter-See; sie ist noch ein Fluss im Naturzustande, durch künstliche Verbauungen ihrer Wildbachgebiete noch ungestört. Die Geschiebeablagerungen im Reusslauf oberhalb des Sees sind ganz vorübergehend; das nächste Hochwasser spült die Geschiebe-

*) Es kann nicht meine Aufgabe sein, die weittragenden Fragen, welche sich an die Thalbildung knüpfen, ausführlich zu besprechen. Diejenigen, welche sich für den Gegenstand näher interessiren, verweise ich auf das Werk *Rütimeyer's* über Thal- und Seebildung, auf die populären Darstellungen von Prof. Dr. Fr. *Toula* (Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse 1877/78) und Prof. J. *Rumpf* (Jahrbuch des Steierischen Gebirgs-Vereins 1876); auf die Mittheilungen von Th. *Fuchs* und E. *Tietze* im Jahrbuch der geologischen Reichsanstalt (27. Bd., 1877, pag. 453; 28. Bd., 1878, pag. 581) u. s. w.

Daubrée's Versuch, die alten Spaltungstheorien durch ziemlich willkürliche Darstellungen und Annahmen wieder zu Ehren zu bringen, muss wohl als missglückt bezeichnet werden.

bänke wieder abwärts, sie wandern. Die Schutthalden und Schuttkegel im Sammelgebiet vergrössern sich im Allgemeinen nicht anhaltend, sondern ihre Vergrösserung ist durch die Bäche und Flüsse, die an ihrem Fusse vorbeireissen, beschränkt, und wechselt mit Verkleinerung ab.“ Heim behauptet daher wohl mit Recht, dass das Gebirgsvolum des Reussgebietes oberhalb der Reussmündung durch Verwitterung und Erosion um so viel abnimmt, als das Volumen des an der Mündung angeschwemmten Geschiebes beträgt. Die durchschnittliche, jährliche Geschiebe-Anschwemmung an der Reussmündung im Vergleich zu der Grösse des Sammelgebietes der Geschiebe ist sonach der Massstab für die Arbeitsleistung der vereinigten Verwitterung und Erosion. Es sei gestattet, die ziffermässigen Resultate, zu welchen Heim durch die auf Kosten des Schweizer Alpen-Club angestellten Vermessungen gelangte, hier in Kürze anzuführen, da sie einen Begriff von der colossalen Arbeitsleistung eines Gebirgswassers geben.

Die Auffüllung, welche in den Jahren 1851—1878 an der Reussmündung stattfand, wurde genau gemessen und ergab 3,947.050 Cubikmeter, — daher entfällt durchschnittlich per Jahr eine Auffüllung von 146.187 oder rund 150.000 Cubikmeter, da ein Abwägen aller Fehlerquellen nach Heim die Zahl eher zu klein als zu gross erscheinen lässt.

Da das jetzige Sammelgebiet der Reuss eine horizontale Fläche von 825 Quadratkilometer hat, so war die jährliche Abspülung auf jedem Quadratkilometer des Reussgebietes durchschnittlich 182 Cubikmeter, was einem Abtrag von 1 Millimeter in $5\frac{1}{2}$ Jahren oder von 1 Meter in 5500 Jahren gleich kommt. Schätzt man die fein im See vertheilte Schlammmasse (die nicht im Delta zum Absatz kommt) auf ein viertel der Geschiebemenge, so erhält man eine Correctur dieser Zahl dahin, dass die durchschnittliche jährliche Abspülung auf jedem Quadratkilometer des Reussgebietes 242 Cubikmeter beträgt, während ein Abtrag der Gebirgsoberfläche von 1 Millimeter in 4 Jahren, von 1 Meter in 4125 Jahren erfolgt. Die Reuss spült jeden Tag durchschnittlich 548 Cubikmeter Geschiebe in den See — jede Stunde 22—23 Cubikmeter, jede Minute 0.38 Cubikmeter. „Die Leistung der Reuss im Transport des Gebirgsschuttes wäre gleich derjenigen eines Zuges von 23 Rollwagen, der bei Tag wie bei Nacht jede Stunde einmal beladen durch den unteren Reusslauf herabgefahren käme, oder gleich derjenigen von täglich etwa 1000 zweispännigen Fuhrwerken auf einer guten Strasse! Wahrlich eine Erdbewegung, die uns in Staunen setzt.“

Heim bespricht dann die verschiedenen alten Thalbodensysteme, welche sich im Reussgebiet unterscheiden lassen, die Thalhöhlräume, und die Zeit, welche zur Bildung derselben nothwendig war. Wenn nun auch alle Berechnungen geologischer Zeiträume mehr oder minder mangelhaft sein müssen, da eben der Fehlerquellen zu viele und zu grosse sind, möge es doch gestattet sein, die betreffenden von Heim gegebenen Zahlen anzuführen:

Höhe der Thalbodensysteme über Meer in Metern	Dazwischen gelegener Thalhohlraum in Cubik- kilometern
E = 1900—2200 m. } D = 1400—1600 m. } C = 900—1200 m. } B = 600— 800 m. } A = 437— 536 m. }	IV = 163,8252 III = 40,0597 II = 21,5340 I = 4,7137

Mit Zugrundelegung des oben erörterten Massstabes der Erosion erhalten wir als die zur Ausspülung der Thalhohlräume nothwendige Zeit (in runden Zahlen)

Für I	23 Jahrtausende
„ II	108 „
„ III	200 „
„ IV	820 „
„ I + II + III + IV:	1151 „

Das sind enorme Zahlen, von deren Bedeutung wir uns schlechterdings keine Vorstellung machen können. Uebrigens ist auch ihr absoluter Werth gering, da ja nicht ein Thalbodensystem nach dem anderen gebildet wurde, sondern dieselben theilweise gleichzeitig sein konnten, wohl aber kann man den Massstab von 200.000 Cubikmetern Ausspülung per Jahr auf den ganzen Thalhohlraum, auf die Summe der einzelnen Stufen anwenden. Auf die Hohlräume über den obersten Terrassen darf man jedoch denselben deswegen nicht mehr in Anwendung bringen, weil wir von dem noch höher gelegenen Thalraum nicht wissen, welchen Antheil an seiner Ausbildung die Zerreibungen der Schichten bei der Faltung und Gebirgsbildung, welchen Antheil die Erosion gehabt hat. Solche Arbeiten, wie sie Heim mit Unterstützung des Schweizer Alpen-Club für das Reuss-Gebiet durchgeführt hat, sollten in grösserer Zahl im Alpen-Gebiet in Angriff genommen werden, denn nur durch zahlreichere derartige Untersuchungen werden wir zu einer Prüfung ihrer Resultate gelangen können. Es ist klar, dass dieselben nicht bis in's Einzelne übereinstimmen werden, doch kann sich im Grossen und Ganzen zwischen der Bildungszeit einzelner Thalsysteme in Territorien, welche eine und dieselbe geologische Geschichte haben, kein grosser Unterschied ergeben. Ich bemerke nochmals, dass ich auf die unmittelbare Angabe dieser Zeiträume durch Zahlen, die Jahrtausende bedeuten, keinen sonderlichen Werth lege, da alle Mittel, geologische Zeiträume absolut zu messen, unzureichend sind. Nur möchte ich gegen den in letzter Zeit unternommenen Versuch, die jüngst verflossenen Epochen der Erdgeschichte in ihrer Zeitdauer herabzusetzen, einige Worte einschalten. In einem Aufsatz über „geologische Chronometer“ hat Kjerulf versucht, die hauptsächlich durch Lyell vertretene Ansicht, dass gewisse, in den jüngsten Epochen der Erdgeschichte stattgefundene Veränderungen, die theilweise heute noch vor sich gehen (Anschwemmung des Nil-Delta's, Rückwärtsschreiten des Nia-

gara etc.) zu ihrer Entwicklung ausserordentlich lange Zeiträume benötigten, zu entkräften. Es ist wahr, sichere Berechnungen vermag man in keinem dieser Fälle anzustellen, und die Ausführungen Kjerulf's zeigen deutlich, dass es eben ein absolutes geologisches Zeitmass nicht gibt, weil zu viel Fehlerquellen vorhanden sind. Indessen reichen die angeführten Bedenken nicht hin, um den Zeitwerth der Anschwemmungsperiode des Nil-Deltas oder des Rückwärtsschreitens des Niagarafalles so weit herabzusetzen, als Kjerulf beabsichtigt. Die „geologischen Chronometer“ welche wir in unseren Alpenhälern besitzen, weisen, so unregelmässig ihr Gang auch sein mag, auf noch weit grössere Zeiträume hin, und wenn man auch die einzelnen Jahrtausende beanstanden kann, welche Heim z. B. aus der Erosion im Reuss-Gebiet herausgerechnet hat, so wird man doch zugeben müssen, dass diese Zeiträume ganz ausserordentlich gross gewesen sein müssen.

Die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers und damit seine Fähigkeit, Geschiebe und in der Trübung schwebendes Materiale fortzubewegen, hängt hauptsächlich von zwei Factoren ab: erstens vom Gefälle, zweitens von der Wassermenge. Die fortschaffende Kraft ist bei hochangeschwellenen Gebirgsbächen weitaus bedeutender, als bei Flüssen, die in wenig geneigten Ebenen langsam dahinziehen. Gebirgsbäche erodiren, während die Flüsse der Ebene theilweise das Material wieder ablagern, welches sie aus dem Gebirge hinausgeschafft haben. Es ändert sich aber auch durch grössere Zunahme der Wassermenge, wie sie durch heftige Regengüsse oder durch die Schneeschmelze herbeigeführt wird, die Kraft und Thätigkeit der Gebirgswässer.

Beim Eintritt heftigen Regenwetters werden alle kleinen Runsen, alle Schluchten wasserreich, und dunkelgefärbte, mit Gesteinsmaterial überladene Gewässer schiessen in's Thal hinab. Die Wildbäche schwellen an, reissen ihre Schluchten tiefer ein, und wälzen oft ungeheure Blöcke thalwärts. Wir wissen, dass plötzliche Hochfluthen der Alpengewässer, seien sie durch das allzurache Aufthauen des Schnees im Frühjahr, seien sie durch Wolkenbrüche im Sommer und Herbst verursacht, zu den verheerendsten Erscheinungen gehören. Dennoch besitzen wir wenig Detailschilderungen solcher Ereignisse, obwohl sie leider zu den häufigeren Vorkommnissen gehören. Die ganz ausserordentlich grosse Ueberschwemmung durch die Etsch im Jahre 1825 wird von S i m o n y eingehend geschildert. *) „Von allen Gehängen rauschten die Gewässer nieder und setzten Lawinen und angehäuften Schuttmassen in Bewegung; die angeschwellenen Wildbäche durchbrachen ihre Dämme und führten reissende Ströme in die unteren Thäler, wo sie, je nach dem Gefälle, bald zerstörten, bald Schutt ablagerten.“ Der Fluss schuf sich auf weite Strecken ein Bett von doppelter Breite, als er früher eingenommen hatte; haushohe Massen häufte

*) »Ueber Diluvialgebilde d. Etschlandes«, Sitz.-Ber. d. k. Akademie d. W., nat. Cl. VIII. Bd.

er dafür wieder an anderen Stellen auf. Nicht weniger als 300.000—350.000 Cubikmeter Schutt sollen damals von dem entfesselten Elemente fortbewegt worden sein. Es scheint mir überflüssig neuere Beispiele für die verheerende Gewalt der Alpenwässer anzuführen, ich möchte nur den Wunsch aussprechen, dass gelegentlich solcher Hochfluthen entsprechende Beobachtungen angestellt werden möchten, da dieselben nicht bloß theoretisch, sondern auch praktisch von der grössten Bedeutung sind. Gar viele der Alpendörfer liegen an Orten, wo sie entschieden nicht hätten angelegt werden sollen — oder wo es doch grösserer Vorkehrungen bedarf, um sie einigermaßen gegen die drohende Vernichtung zu schützen. Insbesondere gilt dies von jenen Orten, die gerade auf den Anschüttungs-Kegeln liegen, welche aus Seitenthälern in Hauptthäler vorgeschoben wurden. Da bedarf es steter Aufmerksamkeit, um dem Verderben durch Murgänge und Hochfluthen zu entgehen.

Die Murbrüche, welche von den Gehängen herab ihren verheerenden Weg in's Thal nehmen, bilden gleichfalls ein sehr unangenehmes Beispiel der gewaltigen Kräfte, welche in den Alpen an der Abtragung thätig sind. In den Hochregionen kann man wohl auf den Gang der Verwitterung und Auswaschung keinen Einfluss nehmen — wohl aber in der Waldregion, wo die dichtere Vegetationsdecke eine schnellere Verwitterung und Abtragung hindert. Zerstört der Mensch, kurzsichtig auf momentanen Gewinn bedacht, an ungünstigen Stellen dieses schützende Kleid, so ruft er die schlimmen Gesellen herbei, die das Werk fortsetzen, den Humus abspülen und darauf den Fels zu bearbeiten beginnen. Mit welchem Erfolg, das lehren die Murbrüche, die oft sehr bald nach dem Aushauen der Wälder auftreten.

„Wo die Wälder fallen, fangen die Murbrüche an“, sagt E. Graf mit Recht in seinem Vortrag über „Waldverwüstung und Murbrüche“.*) Es muss bei der Waldnutzung im Gebirge stets darauf Rücksicht genommen werden, ob ein Ausschlagen des Holzes ohne Gefährdung des Waldgrundes möglich ist. Bei allzusteilen Gehängen, die vielleicht noch dazu Spuren von Erdbewegung zeigen, wird man mit grösster Vorsicht vorgehen müssen, um nicht den geringen, momentanen Vortheil mit dem bleibenden grösseren Nachtheil der Bodendevastation, welche eventuell auch Ortschaften gefährden kann, zu bezahlen.

Am deutlichsten erweist sich wohl die Nothwendigkeit, die Wirkungen der Verwitterung, der Auswaschung und der mit beiden verbundenen Umformung der Gehänge sorgfältigst zu berücksichtigen bei der Anlage der Alpenbahnen. „Einer der häufigsten Fehler,“ sagt v. Hochstetter **) „welcher in Folge ungenügender Berücksichtigung der geologischen Ver-

*) Gehalten in der Wochenversammlung des Oest. Tour.-Club v. 25. April 1879. — Vergl. „Neue deutsche Alpenzeitung.“

**) „Geologie und Eisenbahnbau“, Rede bei Antritt des Rectorates der k. k. technischen Hochschule in Wien, 1874.

hältnisse zumal in Gebirgsgegenden begangen wird, besteht darin, dass die Bahntrace in rutschende Berglehnen, in die unfertigen Thalwege reisender Wildwässer, über in fortwährender langsamer Bewegung thalabwärts begriffene vorgeschobene Hügelreihen u. dgl. m. gelegt wird. Da erweisen sich denn, wenn es an die Bauausführung solcher Tracen kommt, die nach schön ausgezirkelten Querprofilen berechneten Cubaturen gar bald als Illusionen; neue Tracirungen und zahlreiche Reconstructionen werden nothwendig und die Folgen davon sind Zeitverlust und enorme Mehrkosten, um die sich aber freilich die Ingenieure in der Regel nicht viel kümmern, da entweder die glücklichen Actionäre des grossartigen Unternehmens oder der Staat die Kosten der Experimente tragen.“

Von den durch Hochstetter angeführten zahlreichen Beispielen möchte ich zunächst zwei hervorheben: die Trace der Südbahnlinie von Nabresina nach Triest und die Brennerbahn. Die erstere ist in der rutschenden Berglehne am Steilabfall des Karstes gegen die Bucht vor Triest angelegt. Stützmauern mit 2—3 Meter Kronenbreite wurden hiedurch das nachschiebende, vom Nummulitenkalk abrutschende Flyschgebirge wie Kartenblätter zerdrückt, und trotz der kostspieligsten Stützbauten und continuirlicher Erhaltungsarbeiten kann die Gefahr für diese Linie keineswegs als beseitigt betrachtet werden. Noch ungünstigere Verhältnisse bietet die Brennerbahn an ihrer Nordseite dar, wo ihre Thallinie der Sill folgt, jenem wilden Gebirgswasser, welches die Schlucht, in der es dahinbraust, stets tiefer eingräbt, sei es in feste Urgebirgsgesteine, sei es in die lockeren, darübergelagerten Glacialschichten. „Die natürliche Folge dieser immer tiefer greifenden Erosion des Flusses ist, dass die steilen Thalwände unterwaschen werden und abbröckeln. Und gerade in diese rutschenden, einer fortwährenden Unterwaschung ausgesetzten Gehänge der engen Thalschlucht ist auf grosse Strecken die Bahnlinie gelegt, während doch die breiten Tertiär- und Diluvialterrassen, welche auch die Ortschaften und Gehöfte tragen, von der Natur wie dazu geschaffen erscheinen, um den Strassen und Eisenbahntracen von Stufe zu Stufe die Entwicklung von der Innthalsohle bis zur Brennerhöhe zu ermöglichen. In der That war beim ursprünglichen Project der Brennerbahn auch die Trace über Ambras als Variante vorgeschlagen, allein die Sillthallinie erhielt wegen ihrer grösseren Kürze den Vorzug. Und um der kürzeren Linie auch den Vortheil der grösseren Wohlfeilheit der Ausführung zu sichern, sollten kostspielige Kunstbauten womöglich vermieden werden. Dies führte zu dem bei der Brennerbahn zum ersten Male in diesem Umfange zur Ausführung gebrachten System, grössere Objecte, wie Brücken, Viaducte u. dgl. durch Erdarbeiten ersetzen. Es wurden also die wilden Gebirgsgewässer durch Tunnels abgeleitet, und die Bahn über die trockengelegten Schluchten auf Dämmen geführt. Allein die Natur wollte sich diese Eingriffe in ihre Rechte nicht überall gefallen lassen. Die Tunnelsohlen wurden von den wilden Wässern wiederholt aufgerissen, die Dämme durchbrochen und die Brücken, die man vermeiden wollte, mussten da und dort trotz alledem

gebaut werden. Am verhängnissvollsten aber zeigten sich die Folgen der Wahl der Trace beim Mühlthal-Tunnel unweit Schönberg, der so unglücklich situirt wurde, dass nur das bergwärts liegende Widerlager auf festem Felsgrund aufruhte, während der ganze übrige Theil in eine mächtige Felsabrutschung zu liegen kam. Kaum war der Tunnel vollendet, so kam die Berglehne mitsammt dem Tunnel in's Rutschen und wiederholt wurden die kostspieligsten Reconstructions nothwendig.“ — Die Letzteren und Unterbrechungen des Personen- und Frachten-Verkehrs sind bekanntlich auf der Brennerbahn stets an der Tagesordnung. Seit Eröffnung derselben ist die Strecke Innsbruck-Matrey fortwährend in Reparatur begriffen, und es liegt sogar die Frage nahe, ob man sich nicht baldere oder später zu einer totalen Umlegung der Trace wird veranlasst sehen.

Ich glaube, dass die angeführten Beispiele genügen, um die Bedeutung der Factoren: Verwitterung, Auswaschung und Umformung der Gehänge für das praktische Leben zu illustriren. Die ungenügende Berücksichtigung dieser Factoren hat bereits genug Geld, Arbeitskraft, Zeit und Menschenleben gekostet.

Ich darf also wohl behaupten, dass das Studium der Veränderung der Berge nicht bloß theoretisch interessant, sondern auch von einschneidender praktischer Bedeutung ist. Durch Theilnahme an diesem Studium könnte von Seite der Mitglieder der Alpen- und Touristen-Vereine so manches geleistet werden, worauf ich bereits an den betreffenden Stellen verwiesen habe. So könnten genaue Wasserstandsmarken an Seespiegeln durchgeführt werden, um eventuell gebirgsbildende Bewegungen nachweisen zu können, so wäre eine allseitige Theilnahme an den Erdbeobachtungen höchst erwünscht. Die Thätigkeit der Verwitterung und Erosion wäre vor Allem durch geeignete photographische Aufnahmen zu illustriren. Dieselben würden Erosions- und Verwitterungsformen: Karrenfelder, Karstrichter, Blockgipfel etc.; ferner typische Gehängformen: Schuttkegel und Schutthalden, Rutschungen, Murgänge und Schlammströme etc. etc., endlich die charakteristischen Theile der Thalwege: alte Terrassen, Wasserfälle, Stromschnellen, Klammen etc. etc. umfassen. Die betreffenden Bilder würden zugleich als Actenstücke zu betrachten sein, welche nach Jahren, mit neu aufgenommenen verglichen, unschwer die stattgehabten Veränderungen erkennen liessen. Ich kann nur mit dem Wunsche schliessen, dass Prof. S i m o n y's vortrefflicher Plan, einen Atlas, der ein möglichst vollständiges Gesamtbild des Alpenlandes zu geben hätte, in's Leben zu rufen, recht bald in Ausführung kommen möge!