

Was kann das

Studium der dynamischen Geologie

im praktischen Leben nützen,
besonders in der Berufsthätigkeit des Bauingenieurs?

Habilitationsvortrag,

gehalten in der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin am 18. Oktober 1893

von

F. M. Stapff.

Sonderabdruck aus „Zeitschrift für praktische Geologie“ 1893. Heft 12.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1893.

ISBN-13: 978-3-642-98199-9 e-ISBN-13: 978-3-642-99010-6
DOI:10.1007/978-3-642-99010-6
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1893

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Definition	1
Geschichtliche Momente	2
Uebersicht. Eintheilungsprincipien	3
Eine Zwischenfrage	4
Eintheilung des Stoffes und Beispiele	5
Kap. I. Wärmeverhältnisse der Erde (Geothermik)	5
„ II. Wahrscheinlicher Zustand des Erdinnern (Abyssologie)	6
„ III. Contraction der Erde durch die Abkühlung, und dadurch hervorgebrachte Züge und Schübe in der Erdkruste	7
„ IV. Vulcanismus und Seismus	8
„ V. Verwitterung der Gesteine	10
„ VI. Zerstörende Wirkung der Schwerkraft	11
„ VII. Wirkungen des Windes	15
„ VIII. Wassercirculation in der Erdkruste (Hydrologie)	16
„ IX. Wirkungen des fließenden Wassers (Binnenseen, Moore, Sümpfe inbegriffen) . .	17
„ X. Gletscher- und sonstige Glacialwirkungen	18
„ XI. Thätigkeit des Meeres	19
„ XII. Geologische Thätigkeit der Organismen	20
Wie sich das Studium der angewandten dynamischen Geologie zu dem der allgemeinen Geologie und der Ingenieurwissenschaften verhält	20
Ideale Ziele	21

Der gehaltene Vortrag ist in dem nachfolgenden Aufsatz vielfach ergänzt und erweitert worden.

**Was kann das Studium der dynamischen Geologie
im praktischen Leben nützen, besonders in der Berufsthätigkeit des Bauingenieurs?**

Von

F. M. Stapff.

Was leistest Du für das Leben¹⁾? fragt man jeden Menschen und bemisst nach seinen Leistungen seinen Werth. — Was leistest Du für das Leben? darf man auch jede Wissenschaft fragen und nach ihren Fähigkeiten, Fertigkeiten und Leistungen ihren Werth für die Menschheit, ihren Rang gegenüber anderen Wissenschaften abschätzen. Diese Frage ist mit besonderem Nachdruck an eine neu auftauchende Wissenschaft zu richten, welche den Anspruch erhebt, als ebenbürtig in den Kreis der älteren Schwestern aufgenommen zu werden; dieselbe liegt denn auch dem Thema für einen Probevortrag zu Grunde, welchen das Collegium der IV. Abth. der weitberühmten Kgl. Techn. Hochschule zu Berlin mir aufgegeben hat, und in welchem ich mich bemühen werde ein Programm für beabsichtigte Vorlesungen über dynamische Geologie zu entwickeln, und zu zeigen, was das Studium dieser Wissenschaft für das praktische Leben nützen kann, besonders in der Berufsthätigkeit des Bauingenieurs.

Die Frage ist hier um so mehr berechtigt, als das Wissenschaftsgebiet der dynamischen Geologie zwar nicht neu, aber im Innern noch wenig ausgebaut und gegen benachbarte wenig scharf begrenzt ist; und als die Lösung der gestellten Aufgabe dadurch erschwert wird, dass man gleichzeitig ein abgerundetes Bild dieser Wissenschaft entwerfen möchte und dennoch einzelne ihrer Lehren von besonderer praktischer Tragweite hervorheben muss.

¹⁾ In den einleitenden Abschnitten schliesse ich mich eng an G. Gerland: „Beiträge zur Geophysik“ 1887 (Vorwort) an; sogar einzelne Redewendungen wird man wiedererkennen. Unter anderen benutzten Abhandlungen und Werken sind namentlich zu erwähnen: F. v. Richthofen: „Aufgaben und Methoden der heutigen Geographie“ 1883; S. Günther: „Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie“ 1884/85; S. Günther: „Lehrbuch der physikalischen Geographie“ 1891; E. Niivoit: „Géologie appliquée à l'art de l'Ingenieur“ 1887/89; O. Fisher: „Physics of the Earth's crust“ 1881 (und spätere Ergänzungen):

Definition.

Um die Aufgabe deutlich übersehen zu können, ist zunächst festzustellen, was hier mit „dynamische Geologie“ gemeint ist, und wie sich dieselbe zu den Wissenschaftsgebieten der Geologie und der Erdkunde verhält.

Credner's Definition der „dynamischen Geologie“ als „Lehre von den bei der ursprünglichen Bildung und allmäligen Veränderung des Gesteinsmaterials, sowie der Oberflächengestaltung der Erde wirksamen Kräfte“ deckt sich mit Gerland's Definition der „Geophysik“ als jener Wissenschaft, „die sich mit der Wechselwirkung der tellurischen Kräfte beschäftigt, und zwar unmittelbar, indem sie diese Kräfte selbst in ihrer Thätigkeit und Wirksamkeit beobachtet, nicht aber bei dem durch sie Gewordenen verweilt.“ Gleichbedeutend sind hienach „dynamische Geologie“ und „Geophysik“; und dass erstere bei Credner der Geologie angehört, letztere bei Gerland der Geographie, bedeutet wenig, wenn „zwischen Geologie und Geographie überhaupt eine scharfe Grenze nicht gezogen werden kann“ (Credner); oder wenn unter Geographie nichts Anderes als „Erdoberflächenkunde im weitesten Sinne“ verstanden wird (v. Richthofen): dann wäre die Geophysik aus dem Gebiet der Geographie auszuscheiden (Th. Fischer) und könnte nur noch dem der Geologie angehören; falls sie nicht als blosses Uebungsfeld der Physik und Mathematik angesehen wird, oder gar nur als ein überwundener, zerfallender Wissenszweig (Hanns Reiter). Die Zugehörigkeit desselben Wissenszweiges zu zwei verschiedenen Wissenschaften macht ihn dagegen zweideutig, wenn man mit Gerland eine scharfe Grenze zwischen Geologie und Geographie als Parallelwissenschaften zieht und erstere als die Wissenschaft von der Materie der Erde, also von dem Gewordenen, bezeichnet, letztere als die Wissenschaft von den Kräften der Erde,

also von dem Werden. Geophysik ist dann der grundlegendste Theil der Geographie, und in der von der Geologie beliebten conventionellen Beschränkung eine dem Lehrgebiet der Geographie entlehnte Hilfswissenschaft der Geologie.

Sehen wir von den sich z. Th. widersprechenden, immerhin elastischen, Abgrenzungen zwischen Geologie und Geographie aber ab, so können wir dynamische Geologie als den Theil der Geologie bezeichnen, welcher sich mit den Kräften und Bewegungen der Erdmaterie befasst, im Gegensatz zur Petrographie, welche die Erdmaterie selbst abhandelt.

Mit dieser Zweitheilung ist eine Gliederung der geologischen Wissenschaft zwar nicht durchgeführt, denn die übrigen Disciplinen derselben: physiographische Geologie, petrogenetische Geologie, architektonische Geologie, historische Geologie werden damit nur theilweise gedeckt; aber sie genügt vollständig zur Charakteristik der „dynamischen Geologie“, wie sie in den geplanten Vorlesungen aufgefasst werden soll.

Wollte man zu den „Kräften der Erde“ auch die chemischen einbeziehen, so würde die dynamische Geologie, nach vorgehender Definition, auch die chemische Geologie umfassen und die petrogenetische Geologie fast aufsaugen, ungefähr im Sinn von G. Bischof's Lehrbuch der physikalischen und chemischen Geologie. Es sollen hier aber die mechanischen oder physikalischen Kräfte im landläufigen Sinn des Wortes verstanden sein, selbst wenn vielleicht Chemismus die Ursache einzelner derselben wäre.

Die Frucht der Einwirkung kosmischer und tellurischer Kräfte auf das Material der Erde ist das Erdgebäude, dessen Details die architektonische Geologie behandelt. Diese liefert den Untersuchungen der dynamischen Geologie die meisten Objecte, und wird also ein natürlicher Ausgangspunkt für solche Untersuchungen.

Zur historischen Geologie, welche sich auf palaeontologische Urkunden stützt, steht die dynamische Geologie durch alle Fragen über die Vertheilung von Land und Wasser in früheren Perioden in Beziehung. Die dynamische Geologie ist übrigens die einzige Disciplin, welche es versuchen konnte, die geologischen Zeiträume in absolutem Maass auszudrücken und die Zeitschätzungen der Geologen zu controliren²⁾.

²⁾ Vergl. Z. f. prakt. Geol. S. 252 (Geol. Alter der Erde).

Von der physiographischen Geologie, mathematischen Geographie und Astronomie entlehnt die dynamische Geologie einige fertige Resultate über kosmische Stellung, Gestalt, Grösse, Bewegung, Oberflächen-gestaltung, etc. der Erde; manche dieser Resultate haben aber erst durch das Einbeziehen geophysikalischer Aufgaben in den Arbeitskreis der genannten Wissenschaften gewonnen werden können.

Geschichtliche Momente.

Um nach dieser Definition und allgemeinen Umgrenzung unseres Arbeitsfeldes auch einige Hauptmomente aus der Geschichte der Geophysik zu fixiren, sei davon ausgegangen, dass durch das ganze Mittelalter, bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts, die Erdkunde unter dem Bann der Anschauung von Eratosthenes, Hipparch, Ptolemaeus, Strabo stand, wonach ihr wichtigstes Forschungsgebiet Gestalt und Grösse der Erde in ihrem Zusammenhang mit Vertheilung von Licht und Wärme war. Selbst durch Polybii bewusstes Bestreben, auch die Füllung des Raumes in den Kreis der Untersuchung zu ziehen, war diese Anschauung kaum geändert worden, und noch Bernhard Varenius³⁾ behandelte die Geographie als angewandte Mathematik: er führte aber eine wissenschaftliche qualitative Gesamtbeurteilung der Erde neben der quantitativen ein. Weiter in diesem Sinn arbeiteten Boyle, Newton, Lulof, T. Bergman, Kant; bis A. v. Humboldt die Naturwissenschaft von der Erde voll so auffasste, wie Varenius sie geahnt hatte⁴⁾. B. Studer schrieb das erste umfassende wissenschaftliche Werk über Geophysik aus unserer heutigen Methode und Auffassung⁵⁾ und ist der Begründer der modernen physikalischen Erdkunde, mehr als E. Schmidt, welcher in dem physikalischen Theil seines Lehrbuchs der mathematischen und physikalischen Geographie (1826—1830) noch auf der früheren Uebergangsstufe steht.

Diesem Aufschwung der Geophysik „in der klassischen Periode der physikalischen Geographie“ folgte aber unmittelbar ihr Verfall; wenigstens in Deutschland, wo trotz Ritter's idealer philosophischer Betrachtungsweise die

³⁾ *Geographia generalis*, 1651.

⁴⁾ „Je conçus l'idée d'une physique du monde.“ Brief an Pictet, 24. Januar 1796.

⁵⁾ „Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie“ 1844/47. Geplant war dies Werk schon 1831. B. Studer: „Ueber die Stelle der Geologie in der Reihe der Naturwissenschaften“, Leonhard's Jahrbuch 1831, S. 271; ib. 1840.

Geographie eine „dienende Magd der Geschichte“⁶⁾ wurde, welcher sie synthetische Länderbeschreibungen lieferte. An hervorragenden Einzelarbeiten geophysikalischen Inhalts fehlte es zwar nicht; solche wurden aber nicht mehr zur Domäne der Geographie gerechnet, sondern in andere Wissenschaftsgebiete (Mathematik, Physik, Astronomie u. a.) hinübergezogen oder in neu habilitirten (Meteorologie) untergebracht.

Kräftig und selbstständig entwickelte sich dagegen die Geophysik in England, wo sie Hopkins als Specialität nach schärfster mathematischer Methode betrieb; zwar später als Studer, aber von diesem ganz unabhängig. Von den vielen gefeierten englischen „Philosophers“, welche Hopkins an die Bearbeitung geophysikalischer Probleme zog, sei hier nur Rev. O. Fisher genannt, weil derselbe zuerst versucht hat seine (und Anderer) Specialuntersuchungen zu einem System: „Physics of the Earth's crust“ 1881 zusammenzufassen.

Hauptsächlich englischer Anregung ist das Wiedererwachen des Interesses für exacte geophysikalische Forschung in Deutschland zuzuschreiben, und aus englischen, neuerdings auch amerikanischen, Quellen schöpfen wir jetzt die beste Belehrung über einschlägige Fragen. Durch ihre Berichte in Behm-Wagner's geographischem Jahrbuch haben Zöppritz und seine Nachfolger die Renaturalisation der Geophysik in Deutschland kräftig gefördert, auch zur Einbürgerung der in England sehr geläufigen, bei uns manchmal noch ungern gesehenen, daher seltneren, streng mathematisch-physikalischen Methode beigetragen. Dass dieselbe aber noch keinen festen Fuss gefasst hat, beweist z. B. E. Süss' grosses Werk, welches ganz auf geophysikalischen Voraussetzungen beruht, aber nach geologischer Methode durchgeführt ist. Einer auf englischem Fundament sich herausbildenden deutschen geophysikalischen Schule hat Gerland seine „Beiträge zur Geophysik“ geöffnet; und ein aus dem Ganzen gegossenes, für die Anhänger dieser Schule unentbehrliches Repertorium ist S. Günther's „Lehrbuch der Geophysik“ 1884—1885, sowie dessen „Lehrbuch der physikalischen Geographie“ 1891.

Uebersicht. Eintheilungsprincipien.

Die Probleme der dynamischen Geologie, welche nach obiger Definition in den geplanten Vorträgen abzuhandeln sind, lassen sich zwar aus den erwähnten Werken Gün-

⁶⁾ F. v. Richthofen, l. c. S. 45.

ther's, u. a., herauslesen; doch ist für die hier besonders betonte praktische Tendenz dieser Vorträge eine andere Anordnungsweise geboten als die wissenschaftlich geographische Günther's.

Unser Operationsgebiet ist die Erdkruste; und zwar die Masse derselben, nicht nur die mathematische Oberfläche, an welcher sich die Menschheit und ihre Bauwerke festklammern, deren Bestand von der Beständigkeit des Baugrundes abhängt. Die Untersuchung desselben auf seine natürliche Veränderlichkeit ist also unsere Aufgabe.

Veränderungen an der Erdoberfläche werden bedingt:

theils durch Vorgänge unter der Erdkruste, welche auf deren Masse wirkend auch Umgestaltungen ihrer Oberfläche hervorrufen;

theils durch Vorgänge auf der Erdoberfläche, welche diese also direct zerstörend angreifen.

Während die internen Vorgänge ganz überwiegend unter dem Einfluss der Wärme stehen, werden die externen vorzugsweise durch die Schwerkraft regiert; deshalb könnten wir das Thema, mit Beibehaltung des gewählten Theilungsprincips, in einen thermischen und einen barologischen Abschnitt gliedern, nach dem Vorgang Studer's in seinem geophysikalischen Lehrbuch. Dadurch würden aber zusammengehörige oder nahe verwandte Gegenstände aus ihrem natürlichen Zusammenhang gerissen; und aus praktischen Gründen empfiehlt es sich, die Probleme decentralisirt, einzeln oder zu natürlichen Gruppen vereinigt, so zu sagen monographisch, abzuhandeln, wobei überwiegend endogene und überwiegend exogene Vorgänge immerhin thunlichst zusammengefasst werden sollen.

Wo von Kräftewirkungen gehandelt wird, sind auch die Zustände zu berücksichtigen, in und zu welchen die den Kräften ausgesetzte Materie sich befindet und gelangt; deshalb muss die dynamische Geologie an dem vermutheten Zustand im Erdinnern (Abyssologie), an dem wahrnehmbaren in der Erdkruste (Geotektonik) und an der Erdoberfläche (Morphographie) anknüpfen.

Die in Betracht zu ziehenden Kräfte und Zustände sind die gegenwärtigen, aus welchen allein auf jene Vorgänge zurückgeschlossen werden kann, wodurch die Erde so geworden ist, wie wir sie finden.

Hier trennen sich die Pfade der rein wissenschaftlichen Forschung und der applicirenden. Der Geolog schliesst aus den Wirkungen der heute thätigen Kräfte auf die

Entstehungsweise und Umformung von Gebilden in vergangenen Perioden; der Ingenieur dagegen hat unmittelbar mit dem Einfluss derselben Kräfte auf die gegebenen natürlichen Gebilde und auf seine Werke zu rechnen. Um dies zu können muss er aber gleichfalls mit den ehemals von denselben Kräften hervorgebrachten Wirkungen vertraut sein; denn sie schufen die natürlichen Bedingungen seines Baugrundes und sie lehren ihm, was er von diesen Kräften zu fürchten hat, ob und wie er ihnen begegnen kann.

Ziel der angewandten dynamischen Geologie ist für uns Untersuchung der auf die Erdkruste gegenwärtig, von innen und von aussen, wirkenden Kräfte, ihrer Wirkung und der daraus für den Menschen und seine Werke sich ergebenden Consequenzen.

Die zu behandelnden Lehrgegenstände aus dieser Wissenschaft lassen sich in folgende Kapitel zusammenfassen, welche so aneinandergereiht sind, dass zuerst überwiegend interne Vorgänge und Erscheinungen, dann überwiegend externe zur Sprache kommen. Es ist nicht beabsichtigt, hier eine vollständige Liste aller in diesen Kapiteln unterzubringenden geophysikalischen Probleme zu geben; nur einige von besonderer praktischer Bedeutung sollen berücksichtigt werden. Sogar ganze, für ein Gesamtbild der rein wissenschaftlichen dynamischen Geologie wesentliche Lehren werden ausgeschlossen, z. B. jene über Erdmagnetismus, Atmosphärologie, Oceanographie. Das wenige, was wir über den möglichen Zusammenhang zwischen Erdmagnetismus und Gebirgsbildung kennen, ist noch nicht praktisch verwertbar⁷⁾, weshalb es räthlicher scheint, darüber zu schweigen als einigen geologischen Hypothesen zu Liebe einen verstümmelten Abriss über Erdmagnetismus einzuschalten. Und die für dynamische Geologie wichtigen Lehren der Atmosphärologie und Oceanographie, welche in den Kap. I, V, VII, X, XI (Geothermik, Verwitterung, Wirkung des Windes, Gletscherwirkung, Thätigkeit des Meeres) Verwendung finden, werden als gegeben vorausgesetzt; desgl. die ganz unentbehrlichen der Geologie und astronomischen Geographie. Es scheint sogar räthlicher, den Rahmen noch mehr einzuzengen (z. B. Kap. XII über Wirkung der Organismen fallen zu lassen) als ihn zu

⁷⁾ Ausgenommen die attractiven Wirkungen und polare Richtkraft von Gesteinsmassen, welche von Alters her in den skandinavischen Ländern zur Aufsuchung von Eisen- u. a. Erzen mit Erfolg verwendet werden.

erweitern. In dem vorgeschlagenen Rahmen lässt sich ein harmonisch abgerundetes Bild der dynamischen Geologie entwerfen, wenn nicht der abstract wissenschaftlichen, so doch ihrer den Lebensbedürfnissen des Menschen dienenden Lehren.

Eine Zwischenfrage.

Man könnte fragen, ob es statthaft sei, irgend welcher Wissenschaft die idealen Schwungfedern auszurupfen, auf denen sie ihre höchsten Ziele zu erreichen strebt? In Wirklichkeit geschieht dies aber mit allen Wissenschaften, sobald sie praktischen Zwecken dienstbar gemacht werden, und Pflegestellen solcher teleologischer Abrundung sind nicht nur die technischen Schulen, sondern sämtliche Lehranstalten, welche keine Gelehrte bilden, sondern zur Production erziehen sollen. Und es wäre ungerechtfertigt, einer für Application im praktischen Leben zugeschnittenen Wissenschaft einen niedrigeren Rang zuerkennen zu wollen als ihrer in's Ungemessene sich ausbreitenden Stammpflanze, oder ihr gar den Charakter der Wissenschaftlichkeit absprechen zu wollen; denn sie zeitigt ihre Früchte und entwickelt sich weiter, wenn auch unter anderen Bedingungen und in anderer Richtung und Form als ihre Wurzelpflanze. Cultivirt man aber eine Wissenschaft nicht ihrer selbst willen, sondern wegen ihrer Brauchbarkeit, so wäre es falsches Schamgefühl, dies nicht offen einräumen zu wollen; wenigstens so lange als die Gelehrten den productiven Nutzen der Wissenschaft dann hervorzuheben pflegen, wenn sie für dieselbe Staatsansprüche beanspruchen. Dass trotz dieser nüchternen realistischen Auffassung auch der angewandten Fachwissenschaft eine ideale Seite abgewonnen werden kann, dass dies sogar in weit höherem Maass geschieht als gswöhnlich angenommen wird, hoffe ich weiter unten zeigen zu können; Selbstzweck des Betreibens einer solchen Wissenschaft ist ihr ethischer Einfluss aber nicht.

In modernen geographischen Dissertationen⁸⁾ findet man gleichsam zur Rechtfertigung der geographischen Lehrkanzeln und Institute die Ausbildung von Professoren und Lehrern für die geographischen Disciplinen hervorgehoben. Da die Aufgabe und der Zweck dieser Lehrer aber nicht allein darin bestehen kann, neue Professoren und Lehrer gross zu ziehen, so muss auch das praktische Bedürfniss nach der von ihnen vertretenen

⁸⁾ z. B. Penck's „Vorwort zu den Arbeiten des Geographischen Instituts der k. k. Universität Wien“, 1891, S. 9, 12; Gerland, l. c. S. XLIII.

Wissenschaft vorhanden und anerkannt sein, wenigstens stillschweigend vorausgesetzt werden, und diesem Bedürfniss sollten die Lehrer ihre Wissenschaft so anpassen, dass sie praktisch verwendbar wird.

Man könnte den Nutzen des Studiums der dynamischen Geologie darin suchen wollen, dass jede Erweiterung unserer Kenntnisse unsere Leistungsfähigkeit vermehrt, weil sie den Blick erweitert, das Urtheil regulirt und uns Werkzeuge in die Hand giebt, welche, augenblicklich vielleicht gleichgültig, uns ganz unvermuthet zu statten kommen können. Dasselbe gilt aber von jeder Wissenschaft, und aus solchen allgemeinen Rücksichten dürften nicht viele auch nur eine einzige gründlich durcharbeiten wollen. Wir können aber zeigen und durch den Hinweis auf concrete Fälle beweisen, dass eine jede der in den folgenden 12 Kapiteln zusammengefassten dynamisch-geologischen Lehren Fragen betrifft, deren Beantwortung durch die Wissenschaft für praktische Zwecke des täglichen Lebens gefordert werden kann, und — fügen wir gleich hinzu — in vielen Fällen gefordert und befriedigend geleistet worden ist.

Eintheilung des Stoffes und Beispiele.

Kap. I. Wärmeverhältnisse der Erde (Geothermik).

Obwohl die innere und die äussere Erdwärme verschiedenen Ursprungs sind, sehen wir doch davon ab, die Wärmelehre an zwei Stellen abzuhandeln, wie es eine consequente Durchführung der Gliederung in interne und externe Vorgänge fordern würde: denn die in Frage kommenden Grundgesetze der theoretischen Physik sind in beiden Fällen die gleichen, brauchen also auch nur einmal abgehandelt zu werden; die Aeusserungen der inneren und äusseren Wärme nahe der Erdoberfläche sind in vielen Fällen so verschlungen, dass sie nur combinirt abgehandelt werden können; und es erleichtert die Behandlung der übrigen Probleme erheblich, wenn das technisch Wissenswerthe über die Erdwärme an einer Stelle gesammelt vorliegt.

Auf Erörterung der Bedeutung der Bodenwärme für die Bewohnbarkeit eines Landes, für seine Land- und Forstwirtschaft, können wir hier verzichten, theils weil die dafür maassgebenden Erfahrungen und Grundsätze Gemeingut geworden sind, theils weil sie in den einschlägigen Fachwissenschaften gepflegt werden. Aber auch der Bauingenieur hat die Gesetze der Wärmewanderung von aussen nach innen

bis zur neutralen Bodenschicht zu berücksichtigen, um für Fundamentirungen, Wasserleitungen, Filteranlagen u. dgl., die Tiefe beurtheilen zu können, in welche der Frost eindringt; und er kann dies, wenn ihm die calorischen Constanten des Bodens, der jährliche Temperaturgang der Luft, Niederschlagsverhältnisse, Dauer der Schneedecke etc. bekannt sind. Einfaches Eingraben in den Boden genügt nicht immer zur sicheren Beantwortung der Frage, und auch die Angaben der Ortsbewohner sind zu prüfen. In Gegenden, wo der Frost tief eingreift kann man im Frühsommer den Boden noch in derselben Tiefe gefroren finden, wo er im Beginn des Winters noch nicht gefroren ist.

Die mittlere Temperatur des Bodens in gewisser Tiefe, und die Temperaturschwankungen daselbst, sind gleichfalls Fragen von praktischem Interesse, z. B. bei Kelleranlagen für Gährungsprocesse oder Lagerei (auch von nitroglycerinhaltigen Sprengstoffen). Wie irrtümlich die landläufigen Ansichten in dieser Hinsicht noch sind, erhellt aus der oft gehörten Behauptung, dass die Keller im Sommer kalt, im Winter aber warm seien; aus der versuchten Anlage von Eiskellern in unterirdischen Gewölben, u. dgl.

Der mittleren Temperatur einer Erdschicht nahezu gleich ist die mittlere Temperatur des in ihr circulirenden Grundwassers und der von demselben gespeisten Quellen und Brunnen⁹⁾; und auch die Schwankungen der Wassertemperatur stehen in so unmittelbarem Zusammenhang mit jenen der Bodentemperatur, dass bei allen Wasserversorgungsanlagen die Gesetze der Geothermik berücksichtigt werden müssen.

Die Stärke des Grundwasserstromes in den Sandbetten ausgetrockneter südwestafrikanischer Flüsse lässt sich sehr wohl nach den täglichen Schwankungen der Temperatur in einem Wasserloch des Flussbettes beurtheilen.

Je geringer die jährliche Temperaturschwankung einer Bodenquelle ist, um so weniger pflegt auch ihre Ausgiebigkeit zu schwanken; und Quellen, welche tägliche Temperaturschwankungen zeigen, sind flache, für Wasserversorgung wenig geeignete, sog. Rasenläufer.

Kenntniss des wahrscheinlichen Wärmezustandes im Innern der Erde und des Abkühlungsgesetzes ist so unentbehrlich für das Verständniss vieler anderer geophysikalischer Fragen, dass wir eine Erörterung dieser Probleme nicht unterlassen können,

⁹⁾ Vergl. Z. f. prakt. Geol. 1893. S. 831 (F. M. Stapff: Ein paar Worte über Bodentemperatur und artesische Strömung). Leseaux d. tunnel d. S. Gothard.

selbst wenn die damit in unmittelbarem Zusammenhang stehende Wärmezunahme von der neutralen Schicht einwärts nicht von imperativer Bedeutung für die Ausführbarkeit von Ingenieurarbeiten tief unter der Erde wäre.

Ich will nicht mit den Projecten aufhalten, die unterirdische Wärme technisch zu verwerthen, welche vor 15 Jahren Bergman in Schweden, neuerdings Gardner, u. A., in Amerika concipirt haben; und nur bemerken, dass durch die schon von den Römern practicirte Erwärmung von Gelassen mit circulirenden Thermalwässern, durch die noch in den 50er Jahren stattfindende Heizung von Gewächshäusern zu Planitz mit den aus einem brennenden Steinkohlenflötz entweichenden Dämpfen, diese Idee gewissermaassen realisirt ist.

Ihre grossartigste und nützlichste Verwendung fand aber zu allen Zeiten die unterirdische Wärme zur Herstellung natürlicher Ventilation in Gruben und Tunnels; und andererseits ist dieselbe die natürliche Feindin des Gefrierverfahrens Poetsch's.

Die Tiefengrenze für alles unterirdische Menschenwerk ist bestimmt durch das Eintreffen des lebensgefährlichen Erdtemperaturgrades; und da man denselben für die Arbeit in unterirdischen Räumen jetzt aus der Erfahrung nicht nur kennt, sondern auch mit genügender Approximation die Tiefe abschätzen kann, in welcher derselbe unter verschiedenen Verhältnissen eintreffen muss, so ist dem Ingenieur das Mittel geboten, (wegen hoher Temperatur) unausführbare Tunnel- und Bergbauprojecte als solche von vorne herein zu erkennen und demgemäss seine Dispositionen zu treffen.

Die berühmtesten der Silber-Goldgruben auf dem Comstocklode (Virginia City, Nevada) mussten in 700—900 m Tiefe aufgelassen werden, weil die daselbst herrschende hohe Temperatur menschliche Arbeit unmöglich machte oder so vertheuerte, dass auch reiche Erzmittel sie nicht mehr hätten bezahlen können. Unter den dortigen vorzüglichen Dispositionen, Ventilations- und Communicationsverhältnissen, zeigte sich eine Lufttemperatur der Arbeitsräume über 45°C. lebensgefährlich, eine solche über 55°C. aber facultativ tödtlich; und wenn man es in den Comstockgruben fertig gebracht hat, noch bei 50 und 55°C. zu arbeiten, so war es in kurzen Gallerien oder sonstigen Verhauen, welche höchstens ein paar hundert Fuss von den durchschlägigen Strecken mit vortrefflichem natürlichen Durchzug eingetrieben wurden, so dass den Arbeitern stets der Rückzug zur Erholung oder Rettung gesichert war. Ganz anders liegen die Verhältnisse in einem kilometerweit in heisses Gebirge ohne Lichtlöcher oder besonderen Wetterstellen getriebenen Tunnel: der Rückzugspunkt mit er-

träglichen Temperatur- und Ventilationsverhältnissen liegt dann vom Arbeitspunkt viel zu weit ab, um stets erreichbar zu sein, und wenn an der Luftcompressionsmaschinerie oder an der Luftleitung irgend eine der tagtäglichen Störungen einträte, so wäre ein langer Rückzug durch schlechte heisse Luft unter Umständen unmöglich.

In der Mitte eines tiefen Simplontunnels würde die Gesteinstemperatur $50^{\circ} \pm 3$ betragen.

Dass die in solchen Fällen zu gewärtigende Temperatur mit genügender Genauigkeit vorausbestimmt werden kann, beweist der Gotthardtunnel, für dessen Mitte ich 1877 die Gesteinstemperatur $31,74 \pm 2,55$ vorausberechnet hatte, während dieselbe 1880 (nach erfolgtem Durchschlag) 30,43 gemessen wurde.

Für eine solche Berechnung ist Kenntniss der Tiefe, der Oberflächentemperatur, eines mittleren Wärmezunahmegradients nicht ausreichend; die calorischen Eigenschaften des Gesteines, seine Schichtenstellung, das topographische Profil des zu durchtunnelnden Gebirges, Wasserzuflüsse, locale Verwitterungsherde üben einen das Resultat einfachen Proportionirens zur Unkenntlichkeit verwischenden Einfluss; und diesen Einfluss gegebenen Falles quantitativ zu ermitteln und in Rechnung zu stellen, ist eine rein geophysikalische Aufgabe.

Kap. II. Wahrscheinlicher Zustand des Erdinneren. (Abyssologie.)

Das in diesem Kapitel über die Kräftewirkung und den Zustand im Erdinneren¹⁰⁾ Vorzutragende ist theils hypothetisch, theils das Ergebniss astronomischer Calculen, und letzteren Falles auch nicht richtiger als die Voraussetzungen, welche den Calculen zu Grunde liegen. Nichtsdestoweniger lässt sich dies Kapitel nicht entbehren, nicht einmal wenn die dynamische Geologie lediglich aus praktischem Gesichtspunkt abgehandelt werden soll; denn die Lösung vieler geophysikalischer Fragen von eminent praktischer Bedeutung fusst in unserer Vorstellung über den inneren Zustand der Erde, welche nach unserem heutigen Wissen und Erkennen haltbar sein muss. Wir schliessen uns hier hauptsächlich an O. Fisher's "Physics of the Earth's crust" an, weil dies Werk eine Grundanschauung in allen Richtungen consequent durchführt. Obwohl diese Grundanschauung, wonach die sehr dünne Erdkruste auf einem, wenn nicht flüssigem so doch viscösem, Substratum gleichsam schwimmt, nicht allgemein anerkannt ist, so erleichtert sie doch die ungezwungene Erklärung der verschiedenartigsten geophysikalischen Er-

¹⁰⁾ Bei vielen der hier zu erörternden Fragen ist selbstverständlich die Erdkruste mit in Betracht zu ziehen.

scheinungen; und es ist förderlicher, von einer in sich abgeschlossenen Theorie auszugehen, als zwischen allen möglichen Hypothesen kritisirend herumzutasten.

Obwohl das abyssologische Kapitel überwiegend ein vorbereitendes ist, so behandelt es dennoch einzelne Probleme, welche tief in die Ordnung des bürgerlichen Lebens einschneiden. Die Lehre von der Abplattung, vom Rotationssphäroid, von den Geoiden, setzt ganz bestimmte Vorstellungen über den Aggregatzustand und die Vertheilung der Massen im Erdinneren voraus; die Lehre von Ebbe und Fluth gestaltet sich verschieden, je nachdem eine starre Erde vorausgesetzt wird oder eine flüssige (unter dünner Kruste).

Kap. III. Contraction der Erde durch die Abkühlung, und dadurch hervorgebrachte Züge und Schübe in der Erdkruste.

Es sollen die Wirkungen der in den vorgehenden Kapiteln abgehandelten Kräfte auf die Erdkruste, also Gebirgsbildung („mountain making“) erörtert, und die aus der Geologie bekannten geotektonischen Erscheinungen geophysikalisch erklärt werden; denn der Ingenieur muss sich eine gesunde Vorstellung über die Entstehungsweise von dem machen, was er (weniger correct als verständlich) eine „Formation“ zu nennen pflegt, wenn er mit den Eigenschaften seines Baugrundes so vertraut werden will, um übersehen zu können, wie sich die Vorzüge desselben am zweckmässigsten ausnützen, die Schwierigkeiten am leichtesten überwinden lassen.

Die für den Ingenieur wichtigen Terrain-eigenschaften sind ganz andere bei einem durch Faltungen und Ueberschiebungen entstandenen Gebirge als bei einem Gebirge, welches aus ungestörten Schichten (desselben Gesteins) durch das Einschneiden von Thälern oder durch Gräben und Horste skulptirt ist.

(Man vergleiche z. B. den Schweizer Jura mit dem Lothringischen oder schwäbischen; die schwebenden Silurablagerungen Mittelschwedens mit den mechanisch metamorphosirten der Fjelle; die Thüringer Trias mit der Gebirgstrias der Ostalpen.)

Und da beim Traciren zwischen gegebenen Hauptpunkten das Terrain ausschlaggebend ist, dessen bautechnischer Charakter mehr durch die Thalzüge und Wasser-scheiden bestimmt wird als durch die dazwischen und darüber thronenden Gipfel; da ferner die horizontale und verticale Entwicklung der Thäler mit der Entstehungs-

weise des Gebirges, dem sie angehören, im engsten Zusammenhang steht, so wird der Ingenieur ebensowohl auf ein genaues Studium des Gebirgsbildungsprocesses hingewiesen, als auf das seines Resultats, der Gebirgstektonik.

Aber nicht nur solche allgemeine Gesichtspunkte lassen Beziehungen zwischen „mountain-making“ und ausübender Ingenieurwissenschaft construiren; auch die Details des Gebirgsbildungsvorganges bieten viele Momente, welche die Arbeiten des Ingenieurs direct beeinflussen.

Die Abkühlungscontraction allein genügt nicht, um alle auf der Erdoberfläche durch Faltung und Ueberschiebung entstandenen Protuberanzen zu erklären: befindet sich doch in der Tiefe weniger Kilometer eine neutrale Fläche ohne Zug und Schub, unter welcher die Erdkruste gespannt ist, über welcher gepresst. Daraus folgt, dass alle Tangentialschübe in der Kruste von oben nach unten zunächst abnehmen, dass solche also in ca. 2000m Tiefe keine „latente Plasticität“ der Gesteine durch Druck hervorbringen können, welche die sog. bruchlose Faltung erklären, gleichzeitig aber jeden Tunnelbau in dieser oder grösserer Tiefe ausschliessen würde.

Dass aber Drücke, auch wenn sie durch andere Ursachen (z. B. das todte Gewicht der überliegenden Massen) veranlasst wären, in der Tiefe weniger Kilometer das Gestein nicht plastisch machen, beweist die Existenz des Gotthardtunnels, wo der Glimmergneiss in 1700 m Tiefe noch keine Anstalt macht, plastisch zu werden; und der Bohrlöcher von Schladebach und in Oberschlesien, welche in 2000 m Tiefe offen bleiben.

Der Faltung spröder, zumal heterogener, Gesteine geht immer die Quetschung voraus, und Daubrée's Explosionsversuche¹¹⁾ beweisen, dass das Klein unter gewissen Bedingungen durch Druck allein wieder zu Stein (gleichen petrographischen Charakters) consolidirt werden könne. Der Ingenieur hat aber oft genug mit Gesteinspartien zu kämpfen, welche zwar durch Druck zerquetscht, aber nicht wieder verfestigt worden sind.

(Z. B. pulverisirte Quarzgänge und zertrümmerte, nachmals kaolinisirte Gneisszonen im Gotthardtunnel¹²⁾.)

¹¹⁾ Vergl. Z. f. prakt. Geol. 1893. S. 284—295.

¹²⁾ Der zugestandene plastische Zustand in grösseren Tiefen der Erde hat mit der sog. latenten Plasticität solcher Gesteinsschichten nichts gemein, welche in verhältnissmässig geringer Tiefe angeblich bruchlos gefaltet worden sind; denn er setzt Desintegration („in Molecule vielleicht“, um mit Heim zu reden) voraus, welche bei heterogenen Gesteinen

Das in Gruben und bei Tunnelbauten öfters vorkommende — und bei der Verkleidung zu berücksichtigende — unermuthete Ablösen compacter Gesteinsschalen ist zwar Folge innerer Gesteinsspannung, steht aber ausser directem Zusammenhang mit der Höhe des überliegenden Gebirges.

Solche Ablösungen sind mir sowohl $1\frac{2}{3}$ km tief als ganz nahe unter Oberfläche im grossen und in kleinen Tunnels der Gotthardbahn, als in schwedischen und siebenbürgischen Gruben vorgekommen. In vielen Fällen wurden sie übrigens durch Dynamitschüsse verursacht, welche um den Explosionsherd herum das Gestein comprimiren; in anderen Fällen waren sie regelmässige Folge des sog. Feuersetzens.

Die mit Gebirgsbildung durch Schub und Druck verknüpften Nebenerscheinungen: Zerreissung, Spaltung, Verklüftung, Zerrüttung, Schleppungen und Verwerfungen beeinflussen die Gewinnbarkeit und Standfestigkeit des gesunden Gesteines dermaassen, dass Nichtberücksichtigung dieser Momente beim Projectiren und Veranschlagen sicherlich zu ernstern Enttäuschungen führen muss.

Wie grosse Erwartungen hatte man z. B. vor dem Bau des Gotthardtunnels auf die Standfestigkeit des „Gotthardgranits“ einerseits, auf seine leichte Gewinnbarkeit andererseits gesetzt („er flieht den Hammer“ heisst es in einem Expertengutachten), getäuscht durch Handstücke einerseits und durch Klippwände, welche der Ewigkeit zu trotzen scheinen, andererseits! Aber man hatte die mit der Genesis des Gebirges nothwendig verknüpften Structur- und Lagerungsänderungen übersehen, deshalb auch nicht auf Klüfte, welche die Bohr- und Schiessarbeit erschweren mussten, auf Druckpartien, auf Wasserzuflüsse durch Spalten und zerrüttetes Gestein gerechnet; auch nicht auf das Einsetzen von Verwerfungen, durch welche im Tunnel Gesteinskörper erschienen, die in der Profillinie selbst nicht zu Tage anstehen. Verzögerung und Vertheuerung der bergmännischen Arbeiten, mehrfache Aenderungen der Nivelette, unvorhergesehen starke Gewölbprofile, schliessliche Verkleidung der ganzen Tunnelröhre waren die Folge. Geotektonische und dynamisch-geologische Detailstudien vor dem Entwurf der Projecte hätten manche Ueberraschung ersparen lassen.

Besonders bei der Berechnung von Verwerfungen, welche z. B. für Beurtheilung geologischer Profile dem Bauingenieur ebenso geläufig sein sollten wie dem Bergingenieur, kann man einer leitenden, wenn auch von Fall zu Fall wechselnden,

sicherlich nicht stattgefunden haben kann, da deren Mineralindividuen, sogar deren Versteinerungen, nach der Faltung noch dieselben sind wie vorher, wenn auch zerrissen.

geophysikalischen Hypothese nicht entbehren. Viele vor und nach der Bauausführung entworfene Profile, z. B. von Tunnels, beweisen, dass Stratigraphie allein technisch verantwortliche Tunnelprofile nicht herstellen lässt.

Kap. IV. Vulcanismus und Seismus.

Obwohl nur Erdbeben einer gewissen Kategorie mit Vulcanismus zusammenhängen, während die meisten anderen Folge von Bewegungen (Verschiebung einzelner Schollen, Niederbrüchen) in der Erdkruste sind, sollen hier Vulcanismus und Seismus doch unter einem Kapitel behandelt werden. Beide Aeusserungen der inneren Erdkräfte sind unabwendbar und verderblich für die Menschheit und ihre Werke; und man hat sich von Alters her in vulcanischen und von Erdbeben durchzuckten Gegenden bemüht, vermeintliche oder wirkliche warnende Vorboten solcher Katastrophen zu ermitteln und ihre zerstörenden Wirkungen möglichst abzuschwächen; nicht nur in Japan, auch in Italien, der Schweiz und verschiedenen süddeutschen Staaten bestehen jetzt Erdbebencommissionen, sogar Erdbebenwarnungsdienst; die Geophysik ist hier in den Dienst des Staates getreten, und zwar für rein praktische Endzwecke.

Die beste Schutzmaassregel gegen Vulcaneruptionen drückt das oft citirte Wort: *Procul a Jove, procul a fulmine!* aus. Befolgt wird es nicht; die Stätten von Stabiae und Herculaneum sind längst wieder bebaut; jedes Eruptionsfeld wird bepflanzt, sobald Gras darüber gewachsen ist, und die Rebe festwurzeln kann. Und übel, wenn es anders wäre, wenn jeder Fleck der Erde gemieden würde, wo über kurz oder lang eine vorhergesehene oder ungeahnte Katastrophe eintreten könnte! Warnungen, und zumal Prophezeihungen, verdienen nur dann Rücksicht, wenn ihr Autor, innerhalb von ihm bezeichneter Fehlergrenzen, für ihr Zutreffen verantwortlich gemacht werden kann.

Dies gilt auch von den Perrey-Falbschen Erdbebenprognosen, deren theoretische Grundlage soweit als richtig anerkannt werden muss, als unter den vielen wahrscheinlichen Ursachen, welche das Auslösen von Erdbebenwellen verursachen können, auch die Attraction von Sonne und Mond auf ein flüssiges Substratum der Erdkruste eine bescheidene Rolle spielen kann; aber unrichtig ist es, diesen Einfluss allein als Urvariable in Rechnung ziehen zu wollen und alle übrigen etwa wie zufällige Beobachtungsfehler zu eliminiren.

Diesem Verfahren entspricht das Resultat: schon Perrey fand, dass von 5388 Erdbeben 51 Proc. auf die Syzygien, 49 Proc. auf die Quadraturen fallen; von 991 Beben 53 Proc. auf das Perigäum, 47 Proc. auf das Apogäum. Zu einem ganz ähnlichen statistischen Resultat gelangte Pernter.

Für nüchterne praktische Zwecke ist also die Perrey-Falb'sche Erdbebenprognose werthlos.

Mehr Beachtung verdienen schon einige allgemeine Beziehungen zwischen Erdbebenfrequenz und Jahreszeit.

In Norwegen und der Schweiz treffen die meisten Erdbeben im Januar und Februar ein, die wenigsten im Hochsommer. In Japan war 1881—83 die Erdbebenintensität im Winter $3\frac{1}{2}$ mal so gross als im Sommer; die grösste Häufigkeit bei Maximaltemperatur u. dgl. Dass derartige Relationen aber auch nicht immer Stich halten, beweisen z. B. die Angaben aus Südamerika, wo Erdbeben nach Pissis am häufigsten nach der Regenzeit eintreffen, nach v. Humboldt vor derselben.

Zwischen Erdbeben und Schlagwetteremanationen kann ein begreiflicher Causalconnex stattfinden, weshalb Chancourtois die Aufstellung von Seismographen als Schlagwetter-signale befürwortete. Versiegen und Trübwerden von Quellen sind gleichfalls erklärliche Erdbebenindicien; fragwürdig dagegen das Verhalten der Thiere, atmosphärisch-optische Erscheinungen, u. dgl. m.

Regelmässiger Erdbebenwarndienst, wie er namentlich durch J. Milne in Japan und St. di Rossi in Italien ins Leben gerufen worden ist, dürfte mit der Zeit von wirklich praktischem Nutzen werden können, wenn die seismologischen Beobachtungen in einem zweckmässig angeordneten Netz von Stationen systematisch betrieben und pünktlich an ein Centralbureau zur geophysikalischen Verarbeitung telegraphirt werden.

Das Erdbeben von Ischia, 28. Juli 1883, trat aber nach du Bois ohne jegliche Vorzeichen ein; und so viele andere.

Da nicht nur die gewöhnlichen Verbreitungsgebiete, sondern auch die habituellen Stossgebiete, sogar einzelne gewöhnliche Stosspunkte, der Erdbeben bekannt sind, so darf bei Grossanlagen mitunter wohl die Frage erwogen werden, inwieweit nicht auf thunlichstes Vermeiden notorisch gefährdeter Stellen Rücksicht zu nehmen ist.

Die Panamacanallinie z. B. soll Erdbeben-gefahr weniger ausgesetzt sein, als die Nicaragualinie; die Westküste Süditaliens ist mehr exponirt als die Ostküste; Lima ist seit 1535 zehn Mal durch Erdbeben völlig zerstört worden; einige Dörfer auf Ischia in den letzten 12 Jahren drei Mal.

Regeln für den Schutz von Bauwerken gegen Erdbeben gab schon Plinius; einschlägige Erfahrungen aus dem Alterthum sammelte Favaro, japanische Lescasse; und es ist zu hoffen, dass aus der Sichtung und geophysikalischen Bearbeitung dieses und weiteren Materials recht werthvolle praktische Resultate gezogen werden können, so widerspruchsvoll auch Einzelangaben sein mögen. Gebäude auf dünner Schuttdecke sind weit mehr gefährdet als solche, welche entweder auf mächtigen Schuttablagerungen oder unmittelbar auf anstehendem festen Gestein stehen. Dieser Satz lässt sich nicht nur mit den Erfahrungen von Lissabon (1755), Chile (1822), Ischia (1881 und 1893), u. v. a., belegen, sondern auch geophysikalisch begründen und nützlich verwenden, bei Tracirungen, Wahl von Bauplätzen, Fundirungsarbeiten in Erdbebengegenden.

Der Schutz gegen Erdbeben, welchen nach Plinius „aedificiorum fornices“ (Keller?), überhaupt unterirdische Hohlräume gewähren, und auf welche Favaro u. a. die Erdbebensicherheit des Artemistempels in Ephesus, die Immunität von Capua und Udine (wegen zahlreicher Brunnen) zurückführt, ist als Thatsache zu nehmen; als solche auch von den Japanesen und den Bewohnern von S. Domingo anerkannt, welche letztere deshalb um ihre Wohnungen tiefe Löcher graben.

Dass Erdbebenstösse unterirdisch oft unmerklich sind, während sie an der Oberfläche Verheerungen anrichten, beweist z. B. die Erfahrung aus dem Jahre 1823 von Persberg und Fahlun in Schweden, wo Erdschütterungen von den Anwohnern auf Grubeneinstürze zurückgeführt wurden, bis die ausfahrenden Bergleute erklärten, in den Gruben nichts davon wahrgenommen zu haben¹³⁾. Ganz analoge Beobachtungen habe ich während des Schweizer Erdbebens am 4. Juli 1880 im Gotthardtunnel gemacht; desgl. Issel, sowohl in dem Giovitunnel der Linie Genua-Alessandria als in verschiedenen kleineren Tunnels entlang der Ligurischen Küste, worin von dem starken Beben des 23. Febr. 1887 fast gar nichts wahrgenommen wurde, während die offene Bahnlinie nicht unbeschädigt blieb (ein durch dasselbe Erdbeben bei Tinalmarina verursachter Felssturz unterbrach z. B. den Verkehr). Die petrographische Beschaffenheit des Gesteins ist dabei nebensächlich, weniger die Tektonik.

¹³⁾ Wenn umgekehrt Marienberger Bergleute 1812 aus der Grube fuhren, erschreckt durch heftige Erschütterungen, von welchen über Tage nichts wahrgenommen worden war, so handelte es sich dabei vielleicht gar nicht um Erdbeben, sondern um Einbrüche alter Verhaue.

Diese Thatsachen verdienen bei der Anlage von Gebirgsbahnen in habituellen Erdbebengebieten volle Berücksichtigung des Ingenieurs, welcher oft genug vor die Wahl zwischen Tunnels und offener Entwicklung entlang Klippgehängen gestellt wird, und dann (mit Hinsicht auf Erdbebensicherheit) unterirdische Tracirung vorziehen sollte. Uebrigens lässt sich die besprochene Erscheinung aus der Lehre vom Stoss erklären.

An speciellen Bau- und Constructionsanordnungen zum Schutz gegen Erdbebenwirkungen fehlt es auch nicht. Plinii Regel, die Längsachse von Gebäuden der habituellen Stossrichtung parallel anzuordnen, hat sich in Südamerika, Japan und Italien (Casamicciola, 4. März 1881) bestätigt.

Auf Martinique wird nur der Unterstock der Häuser aus solidem Mauerwerk aufgeführt und innen mit Holz getäfelt, der Oberstock und das Dach leicht aus Holz. In Japan werden Holzconstructions mit Bambus verübelt; und nach der Katastrophe von Ischia wurde für den Neubau des Dorfes Forio durch kgl. Verordnung u. a. vorgeschrieben, in alle Constructions Stichbalken oder Eisenanker einzuziehen. Südamerikanische Monumentalgebäude sucht man durch Verankerungen in allen Richtungen, sogar verticale, gegen Erdbebenstösse fest zu machen.

Bei der geophysikalischen Untersuchung von Erdbebenerscheinungen stösst man auf Beziehungen, welche auch für die Beurtheilung der Explosionswirkung von Sprengstoffen maassgebend sind, und die Minentheorien von Béliodor bis auf Culmann lassen sich in den verschiedenen Theorien für Propagation der Erdbebenstösse wiedererkennen. Deshalb lässt sich die mechanische Untersuchung der Sprengwirkung mit der geophysikalischen der Erdbebenwirkung ganz wohl vereinen.

Kap. V. Verwitterung der Gesteine.

Hiermit betreten wir das Gebiet der überwiegend exogenen Vorgänge, der zerstörenden Kräfte der Erdoberfläche und ihrer Wirkungen. Obwohl die Verwitterungsprocesse der Hauptsache nach chemische Vorgänge sind und als solche mehr dem Gebiet der Petrographie angehören als jenem der dynamischen Geologie, so glaube ich ihre Besprechung doch nicht ganz ausschliessen zu dürfen: theils weil die chemische Verwitterung in der Regel durch mechanische (Desintegration) eingeleitet wird, deren Zugehörigkeit ins Reich der Geophysik unbestritten ist, theils weil in vielen Fällen die Wirkung der zerstörenden Kräfte

der Erdoberfläche durch die Verwitterung vorbereitet und beschleunigt wird. Auf chemische Details einzugehen ist übrigens um so weniger beabsichtigt, als dieselben in der Petrographie und petrogenetischen Geologie gründlicher abgehandelt werden, als hier geschehen könnte, wo nur der allgemeine Verlauf und die Endresultate der chemischen Verwitterung resumirt werden können.

Für das praktische Leben sind die Verwitterungsvorgänge an der Erdkruste von eminenter Bedeutung, denn sie schaffen den Nährboden für die Pflanzenwelt, und ihre Erforschung wird deshalb eine der Hauptaufgaben der Agronomie. Sie führen aber auch die Menschenwerke ihrem Verfall entgegen, und werden dadurch Feinde, welche der Ingenieur kennen muss, um ihnen erfolgreich entgegentreten zu können.

Die Beurtheilung mineralischer Baumaterialien dreht sich — von ästhetischen Momenten abgesehen — eigentlich nur um die zwei Fragen der Festigkeit und Wetterbeständigkeit, d. i. Widerstand gegen Verwitterung. Gleichwie der Architekt Ansprüche auf die Dauerhaftigkeit seiner Baumaterialien erhebt, stellt der Bauingenieur solche an das Material, in welches er seine Objecte einhaut; er kann aber das Material nicht wählen wie der Architekt, sondern muss mit dem gegebenen vorlieb nehmen und den Eigenschaften desselben seine Bauten anpassen; er muss also diese Eigenschaften sicher beurtheilen können.

Mittel, für die Dauer der Verwitterungsvorgänge selbst zu hindern, fehlen:

Helgolands Keuperklippen könnten durch Verputzen der ganzen Insel mit Cement nicht davor geschützt werden; die jungtertiären Mergel in den Steileinschnitten des Canals von Korinth verwittern; trotz wiederholter Reconstructions des Tunnels von Genevreuille fährt der 340 m weit durchfahrene Anhydrit fort Wasser aufzunehmen und weiter zu blähen; der kaolinisirte Gneiss des Gotthardtunnels verursachte Druckpartien, wo ihm Gelegenheit geboten wurde Wasser aufzunehmen, er blähte aber nicht, wo er schon vorher mit Wasser durchtränkt war; das allmälige Zuwachsen der im blähenden Salzburger Haselgebirge getriebenen Gallerien ist unaufhaltsam; Strassen in Berlin dürfen nicht bepflanzt werden, weil eindringende Baumwurzeln die irdenen Canalisationsröhren sprengen würden; der von Thorwaldsen in eine Molasseklippe gemisselte Löwe von Luzern ist durch Verwitterung weggezehrt; das Abschalen selbst der compactesten Gesteine unter dem Einfluss von Hygroskopicität und Temperaturwechsel ist unvermeidlich.

Mit solchen und tausend ähnlichen Vorkommnissen muss der Ingenieur rechnen; er

sucht faulem Gebirge möglichst auszuweichen; er sucht die Verwitterung wenigstens zu verzögern, ihre Wirkung durch geeignete Bauanordnungen, oft auch durch Palliative, unschädlich zu machen oder abzuschwächen; in einzelnen Fällen sie sich nutzbar zu machen.

Beim Bau der St. Louis and South-Eastern R. R. überliessen wir tiefe Einschnitte, mit einfüssiger Böschung in Löss, dem Einfluss der Witterung, und sorgten nur für Abfuhr des abrieselnden Materials. Mit der Zeit stellte sich in der Böschung durch den Einfluss der Atmosphären die bekannte, unten flach, oben senkrecht bis überhängend verlaufende, Stabilitätslinie her, welche nur aussergewöhnliche Ereignisse oder sehr lange Zeit zu ändern vermögen. Im Löss eingeschnittene Schluchten und Thäler mit analogen Querprofilen (von Lehm- und Sandpyramiden u. a. Details abgesehen) haben den amerikanischen Ingenieuren als Vorbild für diese Arbeitsmethode gedient.

Um die Verwitterung bekämpfen zu können, muss er aber den mechanischen Einfluss des Temperaturwechsels, der Atmosphären, der Bergfeuchtigkeit (Wassercapazität, Permeabilität), der Nässe, der Vegetation (Wurzeln), einer schützenden Decke ebensowohl in Erwägung ziehen als chemische Reactionen; und man kann sagen, dass die nach geophysikalischen Grundsätzen zu beurtheilende mechanische Verwitterung wegen ihrer acuten Wirkung von grösserer unmittelbarer Bedeutung für den Bauingenieur ist, als die chronisch wirkende chemische.

Kap. VI. Zerstörende Wirkung der Schwerkraft.

Aehnlich wie wir die Erörterung der internen geodynamischen Vorgänge mit einem geothermischen Kapitel eröffnet haben, beginnen wir jene der externen mit einem Exposé über die Ueberwindung der Festigkeit, Cohäsion, Reibung der Körper durch die Schwere, wobei namentlich die Sätze von der schiefen Ebene, von der absoluten Festigkeit und vom Erddruck auf geophysikalische Probleme applicirt werden. Unmittelbare Verwendung finden dieselben bei der Untersuchung einer Reihe sehr wichtiger Umformungen an der Erdoberfläche, welche in den Lehrbüchern der Geologie und Geophysik meist verzerrt, als Wirkungen des Wassers, Erosionserscheinungen, oder unter der Rubrik Morphologie abgehandelt werden. Es gehören hieher: 1. Das Einsinken fester Massen in nachgiebiger Unterlage; 2. das Abbrechen hangender Massen; 3. das Abrutschen von Massen auf geneigter Unterlage, wofür als Vorkommnisse im

praktischen Leben 1. das Versinken von Aufschüttungen und Objecten; 2. Niederbrüche in unterirdischen Hohlräumen und Bergstürze; 3. Bergschlipfe, Rutschterrain, schwimmendes Gebirge, Grundlauinen genannt seien.

Obwohl viele hierher gehörige Erscheinungen complexe sind, so dass sie sich nur in Zwischenkategorien unterbringen lassen, so scheint es doch zwecklos, vorstehende allgemeine Gliederung weiter zu detailliren; nöthig, namentlich für praktische Zwecke, ist es dagegen die rationellen Grundsätze aufzufassen, wonach Einzelfälle auch quantitativ zu beurtheilen sind.

Die Möglichkeit des Versinkens ganzer Berge durch Eindrücken ihrer Unterlage, eine theoretische Frage, welche in den neueren Theorien der Gebirgsbildung eine gewisse Rolle spielt, muss verneint werden¹⁴⁾, schon weil sie die Existenz bleibender Gebirge ausschliesse. Locale Einsenkungen in Folge zufälliger oder noch nicht ausgeglichener Ueberlastungen kommen zwar vor, doch müssen wir einen neuerdings ausgesprochene Einfall ablehnen, wonach die artesischen Strömungen durch solche verursacht würden¹⁵⁾. Verdrängung viscöser Massen tritt dagegen häufig ein; z. B. wenn Eisenbahndämme über Wiesenlehm, Torfmoore, (Gellivarabahn in Lappmarken), oder durch Sümpfe (Lake Ponchartrin; New-Orleans-Atchafalaya), und Seen mit tiefem Schlamm geführt werden. (Dämme der Schwed. Staatsbahnen durch kleine Seen wurden so lange aufgeschüttet, bis der Schlamm verdrängt war und keine Setzungen mehr erfolgten. Die Böschungen des Nordostseekanals im Burg-Kudenser Moorgebiet werden durch Sand-schüttung hergestellt.) Diese mit seitlicher Anschwellung verknüpfte Verdrängung lässt sich nicht immer nach den Resultaten von Prolotirungs- und Belastungsproben beurtheilen, sondern gehört z. Th. in die Kategorie (3.) der Rutschungen. An Beispielen für Schäden an Hochbauten durch Unsicherheit des Baugrundes ist leider kein Mangel.

Die Berliner Baugeschichte liefert viele solche; neuerdings auch das auf gelockertem Boden (sol remanié) errichtete Palais de justice in Nivelles, das Fort Ruplemont bei Antwerpen, u. v. a.¹⁶⁾. Auch die als creeps bekannte Erschei-

¹⁴⁾ Von dem Verhalten der ganzen Erdkruste zu ihrem viscösen Substratum ist hier nicht die Rede.

¹⁵⁾ Vergl. Z. f. prakt. Geol. 1893. S. 351—354 und 383—385.

¹⁶⁾ E. van den Broeck: à propos du rôle de la géologie dans les travaux d'intérêt public. Procès verbaux de la Société Belge de géologie. Tome II, 1888, S. 303.

nung des Berstens und Auftreibens der Sohle unterirdischer Gallerien kann hierher gerechnet werden; nur erfolgt dabei das Ausweichen nicht durch zukommende Belastung, sondern durch Herstellung einer Fluchtfläche.

Der principielle Unterschied zwischen Bergstürzen und Schlipfen besteht darin, dass sich bei ersteren die theoretischen Ablösungsflächen unter einem Winkel bilden, bei welchem der zum Abscheeren erforderliche Zug Minimum wird, während sie bei letzteren durch präexistirende Schicht- oder Kluftflächen gegeben sind, deren Neigungswinkel dem Reibungswinkel mindestens gleichkommt. Dass diese Fundamentalbeziehung in der Regel durch Nebenumstände gestört wird, beeinträchtigt ihre Gültigkeit nicht, und bei thunlichster quantitativer Berücksichtigung der störenden Einflüsse auch nicht ihre Verwendbarkeit zur Beurtheilung concreter Fälle.

Stürze entwickeln sich in der Regel quer zu den Schichtenköpfen; Schlipfe längs der Schichtflächen, oder entlang weit ausgreifender ebener Kluftflächen (sog. „Piotten“ des Tessinthals). Starke Verklüftung und Zerrüttung, so wie Verwerfungen, befördern beide Arten von Bewegung, besonders aber die Stürze.

Das Eintreten von Stürzen wird theils dadurch hervorgerufen, dass die Cohärenz zwischen labil hängenden Steinen oder Klippen und ihrem Sockel durch Verwitterungsvorgänge (Temperaturwechsel, gefrierendes Wasser, Fäulen) oder durch heftige Erschütterungen (Erdbeben) gelockert wird.

Dahin gehören die für Gebirgsstrassen (Axenstrasse, Gotthardstrasse oberhalb Amsteg, unterhalb Stalvedro, Sassigrossi, u. a. a. O.) und Gebirgsbahnen so lästigen Steinschläge; sowie Gesteinsablosungen in Gruben (die Tagesöffnungen der Norberger und vieler anderer schwedischer Erzgruben werden jedes Frühjahr von losgefrorenen Wänden gereinigt) und Tunnels, wo sie selbst in nicht druckhaftem Gestein Verwölbung nöthig machen.

Dahin gehören aber auch grosse und kleine Bergstürze, deren Häufigkeit in Gebirgsthälern durch Sturzschutthalden längs der Gehänge documentirt wird. Haben sie abgeschüttelt, und lässt sich mit Sicherheit feststellen, dass keine Nachbrüche oder weiteres Umsichgreifen zu fürchten sind, so führt man die Bahn frei darüber hinweg, wie z. B. die Gotthardbahn über den Schutt von Calonico; in sehr vielen anderen Fällen aber lässt sich das Eintreffen von Stürzen, wenn auch nicht der Zeitpunkt der Katastrophe, aus der Tektonik, besonders aus der Verklüftung und Schichtenstellung, voraussehen, und die dann erforderliche Umgehung der

gefährdeten Stellen, oder ihre Unterfahrung, wird eines der bestimmenden Momente für die Tracirung von Gebirgsbahnen, welches aus dem Ensemble freilich nicht immer so gleich herauszulesen ist.

Das Schuttgebiet (Frana) von Vigera-Osco ist z. B. durch Verlegen der Gotthardlinie auf das rechte Tessinufer (unterhalb Dazio) umgangen; verschiedene faule, verklüftete und brüchige Klipparten an der Axenstrasse und am Mte. Ceneri sind untertunnelt. Zu weit darf hier die Vorsicht aber auch nicht getrieben werden. L. Favre pflegte zu sagen: „es ist keine Kunst stark zu construiren, wohl aber sicher genug“. Wollte man eine Hochgebirgsbahn gegen jede mögliche Bergsturzgefahr sicher stellen, so müsste sie meist unterirdisch tracirt werden, oder ungebaut bleiben. Die Gotthardbahndirection hat wohl daran gethan, sich durch das Geschrei (nach Vollendung der Bahn) über einen colossalen, vom Pizzo Lucomagno drohenden Bergsturz nicht aufregen zu lassen.

Durch Erdbeben soll im frühen Mittelalter der Doberatscher Bergsturz im Gailthal veranlasst worden sein.

Anhaltende Niederschläge und Thauwetter begünstigen Bergstürze, und deshalb sind solche in der Schweiz im Herbst und Frühjahr am häufigsten. Erst vor wenigen Wochen brach von einer Spitze des Dent du Midi ein grosses Stück aus.

Niederbrüche in alten ersoffenen Grubenräumen treten häufig erst dann ein wenn die Gruben wieder gewältigt werden; denn das Gewicht losgezogener Gesteinsmassen wird dann plötzlich um das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser vermehrt.

Bergstürze und Niederbrüche kommen aber auch dadurch zur Entwicklung, dass erst durch künstliches Anschneiden, Einschneiden und Unterhöhlen Felspartien ihrer natürlichen Stütze beraubt werden. Dies geschieht theils in der Absicht das niederbrechende Material zu gewinnen:

z. B. in Steinbrüchen (Rüdersdorf, Sächsische Schweiz); in Kiesgruben; Tagebauten auf Eisenstein, u. a. M. (Orcanera) und in Gruben (sog. Bergmühlen, Weitungs- und Bruchbau, gewöhnlicher Pfeilerbau ohne Versatz) —

dann soll der Niederbruch erfolgen. Oder es geschieht lediglich in der Absicht die für Strassen-, Bahn-, Canalbau u. s. w. erforderlichen Excavationen, Einschnitte, Tunnels u. s. f. herzustellen; oder auch in der Absicht besondere Lagerstätten zwar zu gewinnen, das Nebengestein aber stehen zu lassen. Die auf letztere Weise veranlassten, nichts weniger als beabsichtigten, Niederbrüche und Bergstürze sind oft von heillosen Folgen begleitet, und es ist nöthig sowohl die Bedingungen

für ihr mögliches Eintreffen von Fall zu Fall zu studiren, als ihre möglichen nächsten und ferneren Folgen.

Der Bergsturz von Caub wurde durch Dachschiefergewinnung veranlasst; der Bergsturz von Elm, 11. Sept. 1881, durch unvorsichtigen Betrieb von Schieferbrüchen. Letzterer lässt alle Entwicklungsphasen eines typischen „Bergsturzes“ genau verfolgen. Das wiederholte Zubruchegehen der grossen Fahluner Kupfergrube, der Altenberger Zinngruben, u. a., seien als Beispiele für derartige sehr häufige unterirdische Katastrophen erwähnt.

Auch beim Tunnelbau sind locale Niederbrüche gewöhnliche Vorkommnisse; in der Regel ohne besondere Gefahr für den Bau¹⁷⁾ manchmal aber sehr störend, kostspielig und aufhältig; allenfalls Kriterien für die zu wählende Construction und Stärke des Gewölbes. Obwohl die äusseren Erscheinungen bei oberirdischen Bergstürzen und bei unterirdischen Niederbrüchen sehr verschieden sind, liegen denselben doch dieselben geophysikalischen Principien zu Grunde, aus denen namentlich auch hervorgeht, dass die Höhe des über einem Tunnel liegenden Gebirges die Einsturzgefahr nicht vermehrt, eher vermindert.

Durch Einschnitte und Anschnitte in Klippgehängen, mittelst Eisenbahnen u. dgl., sind wohl selten grosse Bergstürze verursacht worden; aber gerade das Verhüten solcher durch genügend flache Abböschung, Stützmauern u. dgl. erfordert in diesem Fall ebenso genaues Bekanntsein des Ingenieurs mit den geotektonischen Verhältnissen seines Baugrundes und den geophysikalischen Bedingungen für Bergstürze, als mit Constructionsregeln. Das vereinzelt Niederkommen von Schutt, Steinen und Blöcken lässt sich an hohen faulen Klippwänden auch durch Absäubern u. a. Vorsichtsmaassregeln nicht wohl ganz verhindern, nur durch breite Bermen, Schutzmauern, Schutzdächer u. a. Schutzbauten einigermaassen unschädlich machen¹⁸⁾.

Die den Lehnenbau durch ihre Beweglichkeit und geringe Cohärenz oft erschwerenden Trümmerhalden, welche der Ingenieur nach den für Erddruck gültigen Grundsätzen behandelt, können Schuttstürze verursachen.

(Fast jede „Frana“ des Tessinthaales ist ein chronischer Schuttsturz; beispielsweise sei der

¹⁷⁾ Der nördliche Richtstollen des St. Gotthardtunnels war trotz häufiger kleinerer Niederbrüche nur ein einziges Mal für wenige Tage gesperrt; der südliche nie.

¹⁸⁾ Den nach dem Bergsturz von Elm stehen gebliebenen Risikopf durch Beschiessen mit Kanonen niederzulegen, war ein ebenso sonderbarer als vergeblicher Versuch.

Schuttsturz von Weggis am 15. Juli 1795; von Biltlen am 29. April 1868; von Foldalen 1892—93 erwähnt.)

Geophysikalisch sind solche gewöhnlich gleichzeitig als Stürze und Schlipfe zu beurtheilen; wenn nicht als Schuttströme.

(Sog. Stein- oder Berglauen des Hochgebirges gehören gleichfalls hieher.)

Die Bergschlipfe, wofür als Beispiel nur die Goldauer vom 4. Sept. 1618 und 2. Sept. 1806 genannt seien, werden in der Regel dadurch ausgelöst, dass der Reibungswinkel zwischen der thalwärts geneigten Fläche und dem auf ihr abfahrenden Schichtencomplex vermindert wird, bis er dem Fallwinkel der Sohlschicht gleich, oder noch kleiner, geworden ist. Die Verminderung des Reibungswinkels (womit meist auch Abnahme der Cohärenz der Gleitschicht verknüpft ist) bewirkt reichlicher Wasserzutritt. Deshalb treten die grössten Bergschlipfe nach anhaltenden Regengüssen ein, und deshalb lassen sie sich manchmal künstlich hindern oder doch hinaushalten durch Abfangen und Wegleiten herankommender Wasser und durch Drainiren oder Abzapfen bereits eingedrungener. Nur darf man auf die Unfehlbarkeit solcher Schutzmaassregeln nicht unbedingt trauen, in Erwägung, dass die Wasserabsorption schon ungezählte Jahrtausende gedauert hat, und dass neuen Zuflüssen durch künstliche Mittel der Eintritt nie ganz verlegt werden kann. Manche bezügliche Schutzbauten sind sogar ganz verfehlt. Ausser dem Schlipfrigwerden des geneigten Liegenden trägt zur Auslösung eines Bergschliffes aber auch die Lockerung des Hangenden durch Oeffnen von Querklüften, überhaupt durch Verwitterung, bei; und dagegen lässt sich gar nichts thun.

Sind also die Aussichten, einen sich vorbereitenden oder gar schon schleichenden Bergschlipf künstlich zum Stillstand zu bringen sehr gering, so muss man um so mehr auf die Merkmale achten, welche einer grossen Katastrophe vorangehen, und deren Nichtberücksichtigung in Goldau und Elm so vielen Menschen das Leben kostete. Das Herabrieseln von Steinen, Aufreissen von Spalten, Runzeln der Oberfläche, Verziehen von markirten Linien, Umlegen von Bäumen, Versiegen von Quellen, Getöse und Knacken sind solche Indicien.

Je nachdem die geotektonischen, topographischen und geophysikalischen Verhältnisse einer Gegend, wo Bergschlipfe stattgefunden haben, darauf hinweisen, dass weitere solche zu fürchten sind oder nicht, umgeht man bei Tracirungen das exponirte Gebiet (was wegen des möglichen weiten Ausgreifens von Schuttströmen nicht immer leicht ist); oder man unterfährt dasselbe

im Liegenden der Gleitschicht (Stutzeck am Vierwaldstädter See); oder man geht offen über den Schutt alter Schlipfe und Stürze hinweg (Goldau). Es bleibt aber stets eine schwere Aufgabe das Richtige zu treffen.

Den Bergschlipfen mechanisch analoge Erscheinungen sind die Grundlauinen (Schlasslauinen, Avalaughe calde), über welche hier ein paar Worte eingeschaltet werden mögen, nicht nur weil sie in die wirtschaftlichen und Communicationsverhältnisse der Gebirgsthäler tief einschneiden, sondern weil sie die Tracirungs- und Baudetails von Gebirgsbahnen erheblich beeinflussen.

Dies illustirt z. B. die Bahnstrecke Amsteg-Wasen, welche mit den meisten Lauinen zu kämpfen hat. Nächst oberhalb Amsteg ist die Bristenlaui unterfahren; dann übersetzt die Bahn die Reuss und folgt deren linkem Thalgebänge bis zum Wattinger Kehrtunnel, wodurch gegen 14 vom rechten Gehänge herabkommende Lauinenzüge vermieden werden; dann wird die Enschilaui dreimal über die Wasener Schleife weggeführt; die Rohrbachlauine fährt unter der Bahnbrücke durch; wenigstens 6 andere, vom Naxberg herabkommende Lauinenbetten sind unterfahren. Trotzdem haben bisher keine anderen Naturereignisse als Lauinen (und Schneeverwehungen) den Betrieb der Gotthardbahn empfindlich gestört. Am 15. Nov. 1888 fuhr die erwähnte Enschilaui aus ihrem Bett, ergoss sich über die Bahn und erdrückte einige unter die Ueberführung geflüchtete Arbeiter; und die am rechten Gehänge herabfahrende Gartenlaui überschritt, ungewöhnlicher Weise, die Reuss, überschüttete die Bahn und Häuser von Wasen. Die Enschilauigallerie ist seitdem verlängert worden.

Da die Grundlauinen ihre bestimmten Betten besitzen, in denen sie alljährlich wiederkehren, so lassen sie sich technisch zwar leichter behandeln als Schutt- und Steinablösungen; wegen ihrer Häufigkeit sind sie aber doch sehr lästig, und wegen gelegentlichen Verlassens ihrer gewöhnlichen Bahn können sie auch gefährlich für den Betrieb werden, wie obiges Beispiel zeigt. Die meteorologischen Bedingungen für Lauinenbildung sind aber so bestimmte, dass sie „Rutter“ und Postillone, vielleicht sogar die Pferde, der Gotthardstrasse instinctmässig wittern. „Es ist nicht suberig“, heisst es dann. Das Abfahren der eigentlichen Grundlauinen setzt (ausser genügendem Gefälle) eine gewisse Höhe und Consistenz des Schnees im Sammelgebiet voraus, namentlich aber ausreichende Bodenwärme, so dass der Schnee von unten abschmilzt. Deshalb treten sie theils zu Beginn des Winters ein, wenn viel Schnee bei gelinder Temperatur auf durchnässten, noch nicht gefrorenen Boden gefallen ist; theils im Frühjahr, wenn der Boden unter dem Schnee aufthaut; mitten im Winter

aber nur bei plötzlichem Witterungsumschlag (Foehn u. dergl.). Das „Verbauen“ von Lauinenzügen durch „Lauinenwehre“, „Schneebrücken“, „Verpfählungen“ u. dergl.; der Schutz von Strassen durch Lauinengallerien; von Häusern durch „Spaltecken“, „Ueberhöhen“, „Breccie“ u. s. f. ist eine Specialität mancher Schweizer Cantonsingenieure und Forstleute geworden, obwohl von Alters her den Gebirgsbewohnern nicht unbekannt.

Nach diesem Excurs kommen wir auf die Bergschlipfe zurück. Ausser durch die angegebenen natürlichen Ursachen können solche auch durch Menschenhand in Bewegung gesetzt werden, nämlich durch das Anschneiden des Fusses der Gleitschicht, wodurch dieselbe, sammt dem was darauf liegt, Flucht bekommt. Dies tritt bei Erdarbeiten ungemein häufig ein, und wenn die einzelnen Schlipfe je auch nur kleine Dimensionen annehmen, so verursachen sie doch unvorhergesehene Kosten und Zeitverluste. Durch genaue Untersuchung der Lagerungsverhältnisse, namentlich des Einfallens der Schichten gegen die Einschnitte und des Vorkommens thoniger und mergeliger Zwischenlagen, und der Durchnässung derselben, lassen sie sich mitunter bei der Tracirung vermeiden;

(Ein Schlipf, welcher die Schweiz. Südostbahn am 8. Sept. 1890 zwischen Sattel und Steinenberg betraf, war durch eine verborgene Quelle veranlasst.)

sind sie aber eingetreten, durch Drainirung und flaches Abböschern zum Stillstand bringen.

Eine besondere Gattung solcher Schlipfe sind die Thon-, Flottlehm-, Erd-Schlipfe der sog. Rutschterrains, welche sich meist durch langsame aber lange anhaltende Bewegung von den Felsschlipfen unterscheiden und in der Regel erst durch allmäligen natürlichen oder künstlichen Austrocknen zur Ruhe kommen, bis dahin aber durch Stützmauern u. dgl. nicht aufgehalten werden können.

(Der Gletscherschutt, worauf Fetan im Unterengadin steht, glitt seit 1870 auf seiner Unterlage von Schieferfels thalwärts.)

Bei der Beurtheilung von „Rutschterrains“ kommen ausser den Grundsätzen für die Bestimmung des Erddruckes auch noch die für die Bewegung viscöser Massen geltenden hydrostatischen in Betracht; und in noch höherem Maass gilt dies vom schwimmenden oder fliessenden Gebirge, welches nicht nur dem Bergbau Schwierigkeiten macht, sondern auch den Fundirungs-, Tunnel- und Erdarbeiten des Bauingenieurs.

Abbrutschungen an Seesträndern sind meist Folge von Ueberlastung des in labilem Gleichgewicht abgelagerten Schlammes. Er gleitet dann entweder auf fester Unterlage seawärts, oder es entsteht im Schlamm selbst eine Absonderungsfläche, auf welcher der Rutschkörper auswärts schiebt. Erschütterungen durch Pfahlreiben u. dergl. geben oft den Impuls zur Bewegung.

In Zug setzte sich am 5. Juli 1887 ein Theil der Stadt, weil der 10—20 m mächtige Untergrund aus Schlicksand durch Pilotirung für Quaibauten erschüttert und halbfüssig geworden war, so dass er in den See hinausschob. Das Gewicht der Häuser etc. mag aber auch dazu beigetragen haben. Ebenso versank in Horgen am Zürcher See im Februar und September 1875 ein Uferstreifen, welcher durch Bahnbauten überlastet, durch Einrammen von Pfählen für das Stationsgebäude wohl auch erschüttert war; vor dem Gruonabach versanken hart am Ufer des Vierwaldstätter Sees die im Bau begriffenen Pfeiler einer Eisenbahnbrücke der G.-B. Seit wenigen Tagen ist ein Uferstreifen bei Fiume im Sinken (Abbrutschen?) begriffen.

Abbrutschen von Uferstreifen tritt ferner ein, wenn Landseen gesenkt werden, wie dies zur Gewinnung von Culturland in Schweden häufig geschieht; auch in diesem Fall ist gewöhnlich Ueberbelastung die Ursache: nach dem Senken des Seespiegels wird der trocken gelegte Uferstreifen um das Gewicht des von ihm verdrängt gewesenen Wassers schwerer. Das Versinken von Uferstreifen bei Erdbeben (Lissabon, Callao) lässt sich vielleicht ebenso erklären, falls es während des Rückzugs des Meeres stattfand, kann aber auch unmittelbare Folge der Erschütterung gewesen sein.

Kap. VII. Wirkungen des Windes.

Die äolische Abrasion einerseits, die äolische Ueberschüttung mit sterilem Sand oder fruchtbarem Staub andererseits verleiht ganzen Landstrichen ihren morphologischen Charakter und macht sie besiedlungsfähig oder -unfähig.

Man denke z. B. an unser Südwestafrikanisches Schutzgebiet, dessen Küstenland von wüsten Sanddünen eingenommen ist, während der abtragende Wind im nächsten Hinterland nur einzelne Bergklötze auf der von Schluchten durchfurchten Flur der Namieb hat stehen lassen. Die Bora beraubt den Karst, der Mistral die Kalkberge Toulons der Ackerkrume; Südwestwinde führen die vulcanische Asche von den Domen der Auvergne und lassen sie auf deren Ostseite wieder fallen, wo sie die Fruchtbarkeit der Limagne bedingen. Die Gironde, die preussische Küste, weite Striche Südrusslands sind dem Umsichgreifen des sterilisirenden Flugsandes ausgesetzt.

Der Einfluss des Windes auf Bodenbildung ist also nicht nur geographisch erheb-

lich, sondern auch so bedeutungsvoll für die Bewirthschaftung, den Wohlstand, ja die Bewohnbarkeit ganzer Länder, dass die bodenbildende Arbeitsweise des Windes schon öfters aus praktischen Gesichtspunkten, aber nach geophysikalischer Methode, untersucht worden ist.

Diese Methode ist auch in den besondern Fällen anzuwenden, wo es sich um Untersuchung des Einflusses von Flugsand und Dünen auf Werke des Ingenieurs handelt.

Eine Wüstenbahn in Südwestafrika, etwa von Sandwichhafen nach dem !Khuisibthal, könnte nicht auf gewöhnliche Weise construiert werden: Sanddämme würden weggeweht, die Einschnitte zugeweht werden; man könnte hier nur mittelst Arkadenbahn zwischen Röhrentunnels zum Ziele gelangen. Dass die deutsch-südwestafrikanischen Häfen, Ogden- (?) und Sandwichhafen, binnen weniger Jahre durch Sand ganz verweht, resp. unbrauchbar gemacht worden seien, scheint mir dagegen sehr unwahrscheinlich. Letzterer ist noch so wie zu Anfang des Jahrhunderts, als zahlreiche Wal-fischfahrer dort Wasser einnahmen; sogar die als Einfahrmarke dienenden Sandrefeln an der Stranddüne sind unverändert geblieben. Auch die behauptete Verlegung des !Khuisibflusses durch Dünen ist nicht in Einklang mit den Thatsachen. Dagegen kennt man Beispiele für die Verlegung von Flussbetten durch Flugsand aus Senegambien, Frankreich, Adour u. a. O.

Dem Flugsand und den Sanddünen ganz analoge Erscheinungen sind die Schneewehen, welche dem Eisenbahnbetrieb so viel Ungelegenheiten bereiten, dass nicht nur die Schutzvorrichtungen — Schneeschirme, Schneegalerien — ein besonderes Studium des Ingenieurs erheischen, sondern dass er schon beim Traciren und Bauen durch habituelle Schneewehegebiete darauf Rücksicht nehmen sollte.

Als Beispiel kann die Karstbahn dienen; aber auch die — im Bau jetzt unterbrochene — Luleå-Ofotenbahn würde auf der breiten offenen Wasserscheide zwischen Ostsee und Nordsee Schneeverwehungen dermaassen ausgesetzt sein, dass schon deshalb ein Scheiteltunnel angezeigt scheint, trotz der geringen Meereshöhe dieser Wasserscheide. Bahnen im südlichen Russland.

Gleichwie die grossen Dünen ziemlich stationär bleiben (von den Wanderdünen abgesehen), finden sich auch die Schneewehen bei analogen Witterungsverhältnissen jährlich wieder an denselben Stellen ein, wodurch ihre Bekämpfung sehr erleichtert wird. Letztere setzt aber nicht nur Localbeobachtung voraus, sondern auch Studium der mechanischen Gesetze für die Bewegung leichter Körper durch den Wind.

Wie vorsichtig selbst die einfachsten derselben behandelt werden müssen, zeigt nicht nur der durch viele geologische Werke ziehende Irrthum,

dass verticale Klippflächen von windgetriebenem Sand am stärksten angegriffen würden, sondern auch die mitunter geradezu schädliche Aufstellungsweise von Schneeschirmen.

Staublauen gehören durch die damit verknüpften Schneeverwehungen gleichfalls zu den aeolischen Erscheinungen, sind aber mit andersartigen Lauen meist so verquickt, dass sie am besten mit diesen abgehandelt werden.

Kap. VIII. Wassercirculation in der Erdkruste (Hydrologie).

Ausser für Wasserbeschaffung soll die Hydrologie dem Ingenieur auch dann als Wegweiserin dienen, wenn es sich darum handelt, unterirdischen Wasserzuflüssen möglichst auszuweichen und solche unschädlich zu machen; oder dem Versitzen von Wasser vorzubeugen. Diese letzte Anforderung macht sich beispielsweise geltend bei Anlage von Wasserreservoirs oder von Canälen.

Eine 12 m hohe belgische Thalsperre füllte sich nur auf 2,0—2,15 m, weil in dieser Höhe eine Verwerfungsspalte zwei Formationen gegen einander abgrenzte. Zwischen Mons und Havré liess ein in Kreide oberhalb des Grundwasserniveaus gegrabener Canal das Wasser ganz versickern; desgl. ein Canal im Kohlenkalkstein zwischen Bliton und Ath. Die früher so beliebten Förderungsanäle in Gruben liessen viel Wasser in tiefere Sohlen verfallen; und dasselbe gilt von allen unterirdischen Wasserstrecken, welche entlang Gangspalten getrieben sind.

Selbst Brunnen kann durch zu tiefes Absenken das Wasser entzogen werden.

An einer belgischen Bahnlinie sollten je 15 m tiefe Brunnen bei den Wärterhäusern hergestellt werden. In einigen derselben traf man reichlich Wasser in 6—7 m, musste aber contractgemäss 15 m tief graben und verlor das Wasser wieder nach Durchteufen der wasserundurchlässigen Schicht.

Hierher gehört auch das absichtliche Versickernlassen von Abfallwässern in durchlässigem Boden, wodurch aber benachbarte Brunnen ebenso sehr geschädigt werden können wie z. B. durch die Anlage von Begräbnisstätten in einem Grundwasserträger; ferner das häufige Zapfen von Quellen, Brunnen und grösseren Wassersammlungen durch Bergbau —

z. B. die Katastrophen von Teplitz und Osegg; die Gefährdung der Emser Mineralquellen durch den dortigen Silberbergbau; die theilweise Ergiessung des salzigen Sees in die Mansfelder Gruben; das Zapfen der Airoleser Quellen durch den Gotthardtunnel — und zahlreiche andere Fälle, in denen nur gründliche geologische, resp. geotektonische,

Untersuchung den Zusammenhang der complexen Vorgänge nachweisen und manchmal die Gefahr abwenden konnte.

Sowohl die Wasserbeschaffung als das Fernhalten von Wasserzuflüssen, welches z. B. bei Tunnelanlagen durch zweckentsprechendes Traciren wenigstens theilweise erreicht werden kann,

(Der Gotthardtunnel würde noch mit sehr viel mehr Wasser zu thun bekommen haben, wenn er nach einem italienischen Project das Canariathal nahe seiner Mündung in das Tessinthal unterfahren hätte. Ein Grund, die Entwicklung der Bahnlinie bei Daziogrande nicht durch einen Kehrtunnel auf dem rechten Tessinufer zu beginnen, war, dass ein solcher in die unfehlbar sehr wassernöthigen Dolomite von Prato gerathen sein würde. Einen eventuellen La Manche Tunnel würden starke unvorhergesehene Wassereinbrüche unmöglich machen können) setzt Wasserprognose oder die Kunst des Quellfindens voraus. Dieser Kunst darf man nicht mehr mit demselben Skepticismus begegnen wie z. B. den Erdbebenpropheteiungen; denn sie ist nach Vossius durch Mariotte, de la Méthérie u. A. physikalisch begründet, ihre geologischen und geotektonischen Grundbedingungen sind erforscht; die bei ihrer Ausübung in Betracht kommenden geophysikalischen Gesetze sind theoretisch und praktisch festgestellt, und zwar durch Hydrotechniker, welche hier, beim Verfolgen rein praktischer Zwecke, die geophysikalische Wissenschaft mehr gefördert haben als selbst die Vertreter dieser Wissenschaft.

Bei der anerkannten Unentbehrlichkeit dynamisch-geologischer Detailforschungen in allen Fragen, welche Wasserversorgung und Verwandtes betreffen, erscheint es überflüssig, die praktische Nützlichkeit derselben hier noch besonders beweisen zu wollen. Die klimatischen, topographischen Bodenverhältnisse des Ortes; der tektonische Aufbau und die geologische Beschaffenheit seines Grundes; die Imbibitions- und Percolationsfähigkeit desselben, u. a., bedingen das schwächere oder reichlichere Eindringen des Wassers, den Stand und die Strömung des Grundwassers, die artesische Strömung, die Wassercirculation durch Poren und Spalten, das Hervortreten ständiger und variabler Quellen, die Möglichkeit, Ergiebigkeit und Nachhaltigkeit von Kessel-, Bohr- und artesischen Brunnen; — und die meisten dieser Fragen fallen in das Gebiet der Geologie und Geophysik.

Auch die auflösende und wegspülende Arbeit der unterirdisch circulirenden Wässer kann die Arbeiten des Ingenieurs beeinflussen (Gipsschlotten, Erdfälle u. dgl.);

desgl. die erweichende (Rutschungen) und die sprengende (Verwitterung).

Kap. IX. Wirkungen des fliessenden Wassers.

(Binnenseen, Moore, Sümpfe inbegriffen.)

Die dynamisch-geologischen Wirkungen des fliessenden Wassers bilden den Ausgangspunkt für viele Aufgaben der Wasserbaukunst, und es ist schwer zu sagen, welche von beiden Wissenschaften hier die mehrgebende, welche die mehr empfangende ist. Der Wasserbaumeister betreibt oft Experimentalgeologie, selbst synthetische Geologie, in grösserem Maassstab und mit vollkommeneren Mitteln als es je der Geolog vermöchte; aber ohne auf seine geologische Thätigkeit viel Gewicht zu legen, und meist ohne dass die geologische Wissenschaft aus seinen Erfahrungen ausgiebigen Nutzen zöge. Wenn aber einerseits dem Geologen die natürlichen Bedingungen und Ursachen, welche den Ingenieur zu gewissen Maassregeln zwingen, geläufiger sein mögen als diesem, so dass er dem Ingenieur das Resultat seiner Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse oft vorhersagen kann, so beherrscht dagegen der Ingenieur die quantitative Untersuchung der Kräftewirkungen vollkommener als der Geolog, welchem es sehr nützlich wäre, sich die mathematische Methode des ersteren anzueignen, um so mehr, als sich dieselbe schliesslich nur durch ihr praktisches Ziel von der des theoretischen Geophysikers unterscheidet.

Eine besondere Beweisführung, dass der Bauingenieur von der Geophysik auch mit Hinsicht auf die Wirkung des fliessenden Wassers Nutzen ziehen kann, dürfte hiernach entbehrlich sein; es genügt, einzelne Fragen herauszugreifen, an deren Untersuchung beide gleich hohes Interesse nehmen.

Eine Hauptleistung der säcularen Wassererosion ist die Thalbildung, oder sagen wir lieber: die Vertiefung und Ausmodelung der bei der Gebirgsbildung vorgezeichneten Rinnen und Depressionen zu Thälern jetziger Form. Als von Gebirgsbildung die Rede war sahen wir, in wie hohem Maasse die damit zusammenhängende „Formation“ der Thälzüge die Hauptrichtung der Verkehrswege bedingt; jetzt können wir weitergehen und darauf hinweisen, dass die durch Erosion (jeglicher Art) und theilweise Wiederauffüllung geschaffene Sculptur der Thäler die Grundzüge der Trace von Strassen, Bahnen, Canälen vorschreibt. Um diesen Zusammenhang recht erkennen und praktisch ausnützen zu können, muss man sich aber ebensowohl

vorgang schaffen, als von dem Gebilde selbst.

Ein dem Schichtenstreichen im ganzen conform verlaufendes Längenthal besitzt in der Regel nur da auffällige Stufen, wo es den Wechsel ungleich fester Schichten-complexe schief schneidet; sein Gefälle wird bergwärts zwar allmählig steiler; Strassen und Bahnen können aber seinem Boden oder Gehänge mit ziemlich gleichmässig vertheiltem Ansteigen folgen, und künstliche Entwicklungen sind gewöhnlich nicht nöthig. In einem Querthal, zumal wenn es mehrere Gebirgszüge nach einander durchschneidet, stellen sich dagegen stets Thalstufen mit zwischenliegenden flach geneigten Böden ein; die ältesten Saumpfade, die späteren Fahrstrassen, die jetzigen Eisenbahnen folgen dann nur selten dem Gehänge mit gleichmässig vertheilter Steigung, welches sie allmählig von den Böden entfernen und über die Stufenschwellen hinwegbringen könnte, sondern sie schmiegen sich dem natürlichen Gefälle der Thalböden so weit wie möglich an, und überwinden die dann vorliegende Stufe auf kurzer Strecke: Die Saumpfade werden daselbst sehr steil, oder in kurzen Serpentinien entwickelt; die Fahrstrassen erhalten Kehren; die Eisenbahnen Steilrampen (mit Seil-, Zahnstangen- oder anderem Kletterbetrieb) oder Entwicklungen durch Schleifen und Kehrtunnel.

Im Tessinthal überwindet die G.-B. die Thalstufen von Dazio grande und Giornico durch je 2 Kehrtunnel; die niedrigere Stufe von Stalvedro wird dagegen durch gleichmässig (auf eine längere Gehängestrecke) vertheilte Steigung überwunden.

Mit der Thalbildung durch Erosion (und dem Sinken des Spiegels etwaiger Seen) sind aber häufig auch schmale flachgeböschte Streifen entlang der Gehänge verknüpft, welche für die Wirthschaftsverhältnisse der Thäler von grösster Bedeutung sind, weil sie Siedelungen, Aeckern und Wiesen Raum gewähren¹⁹⁾; bei Bahnanlagen und Strassen aber den Lehnbau sehr erleichtern.

¹⁹⁾ „Alpen“; „Monti“ des Tessin; „Maien-sessen“ des Reussthals. Im mittleren Schweden, z. B. Dalekarlien, heisst „Säter“ (auch „fäbowall“, oder „wall“ in Zusammensetzung mit dem Ortsnamen), eine Sennhütte, welche nur während der Sommermonate bewohnt ist, übrigens mitten im Wald liegen kann, so dass die Bezeichnung mit der speciellen Morphographie des Ortes zunächst nichts zu thun hat. Die Sennhütten des Gebirges, z. B. in den Fjellen Jemtlands und Herjeädalens, heissen gleichfalls „Säter“, mögen sie am Berggehänge oder im Thale liegen; für ihre Anlage am Gehänge sind aber die Flachgürtel am geeignetsten. „Maien-sessen“ und „Säter“ sind also sprachlich verwandte Ausdrücke für gleichbedeutende Dinge.

Einem solchen Flachgürtel folgt z. B. die Mte. Ceneribahn nördlich vom Tunnel auf ein gut Stück, und auch die Chaussée benutzt denselben zu einer Entwicklung; die Strecke längs des Lago Maggiore folgt einer wenig auffälligen, auch durch Schuttkegel und Schluchten unterbrochenen, alten Uferverflächung von Magadino bis Dirinella.

Es liessen sich aber noch zahlreiche andere Beziehungen zwischen der durch Wasserwirkung geschaffenen Thalphysiognomie und Bauten aller Art namhaft machen.

Die jetzigen Kraftäusserungen des fließenden Wassers, welche Eingreifen des Ingenieurs erfordern, sei es zum Schutz des Geländes, oder im Interesse der Schifffahrt, oder mit Rücksicht auf seine der Wasserwirkung ausgesetzten Bauten, bestehen theils in Erosion, theils in Transport (und Wiederablagerung) von Material, sowohl unter gewöhnlichem Wasserregime als bei Hochfluthen.

Die Erosion in verticalem Sinn kann neue zusammenhängende Stromrinnen oder locale Auskolkungen im äusserlich unveränderten Bett bewirken; die Erosion im lateralen Sinn, Uferschälungen u. a. Beschädigung, Verlegung der Stromrinnen und des ganzen Bettes, Serpentinbildung; beide Aeusserungen sind für Schifffahrt, Brücken- und Uferbauten, Stauwerke, und im allgemeinen Interesse der Adjacenten, von hervorragender Bedeutung.

Der Massentransport des fließenden Wassers betrifft theils Geschiebe und Gerölle, welche der Strom auf der Sohle, und bis zu einer gewissen Tiefe unter derselben, in Bewegung setzt; theils im Wasserstrom suspendirten und von ihm fortgetragenen feineren Detritus. Die Geschiebebewegung in der Sohle rasch fließender Ströme zwingt, in Verein mit Kolkung, zu enorm tiefen Brückenpfeilerfundirungen auch in sonst gutem Boden (Mississippibrücke bei St. Louis). Eine Specialität derselben bilden die Ausbrüche der Wildbäche, die Muhren. Sowohl deren Schuttkegel, welche ganzen Thalzügen eine besondere Physiognomie aufdrücken, als die Ausbruchsvorgänge selbst beanspruchen in hohem Maass die Berücksichtigung und oft das Eingreifen des Ingenieurs.

Wallis, Graubünden, Tessin. Die Gotthardbahn hat mit sehr vielen Wildbächen und den Begleiterscheinungen solcher zu kämpfen gehabt; glücklicherweise nur beim Traciren und Bau, nicht beim Betrieb; die „Drachen“ sind besiegt.

Das Studium der Muhrenbewegung bietet übrigens ein hohes wissenschaftliches

Interesse, weil dasselbe viele Räthsel der Glacialgeologie auf sehr einfache Weise löst.

Der im Wasser suspendirte Detritus wirkt durch Wiederablagerung auf überschwemmt gewesenen Flächen theils befruchtend (Nil), häufiger aber sterilisirend (Versandung, „Fiumara“ des Tessinthals), und die durch Ueberschwemmungen angeordneten Schäden entspringen grossentheils aus der Versandung von Nutzland. Ablagerung des suspendirt gewesenen Detritus und der Geschiebe im Flussbett selbst oder vor seiner Mündung ist aber die Ursache der Bildung von Untiefen, Versumpfung, Deltas, Barren u. s. w., und aller ihrer wirtschaftlichen Folgen. Eine besondere Erscheinung ist die durch Ablagerung im Bett und entlang der Ufer hervorgebrachte allmälige Erhöhung geschiebereicher Wasserläufe über die umgebende Thalfläche, womit meist deren Versumpfung verknüpft ist, Canalisationsarbeiten aber ganz besondere Schwierigkeiten bereitet werden (Po-Ebene).

Bei Aufzählung der vom fließenden Wasser transportirten schwimmenden Massen dürfen auch die „Snags“ und Treibholzinselfen nicht vergessen werden, welche die Schifffahrt oft gefährden (Mississippi; Red-River 1833, 200 km lange Verstopfung durch Vegetabilien) oder gar hindern (oberer Nil); auch nicht die Eisstöße unserer Flüsse, welche durch Stopfung des Strombettes oft die verderblichsten Ueberschwemmungen, die Zerstörung von Objecten, ja die Bildung neuer Betten verursachen (Weichsel).

Das Endergebniss aller dieser Wasserwirkungen (im Verein mit anderen gleichzeitigen Vorgängen) während ungemessener Zeiträume sind unsere Thäler, deren Bildungsweise (im Zusammenhang mit anderen morphologischen Erscheinungen an der Erdoberfläche) ein Hauptgegenstand geophysikalischer Forschung ist. Hier reichen sich theoretische und angewandte Wissenschaft seit langem die Hand, und die Nothwendigkeit einträchtigen Zusammenwirkens tritt um so mehr hervor, je mehr man sich bemüht, die Schutzmaassregeln gegen verderbliche Wasserwirkungen systematisch zu organisiren.

Kap. X. Gletscher- und sonstige Glacialwirkungen.

Diese sind von praktischer Bedeutung wegen der Terrainformen, welche sie geschaffen haben; sei es über ganze Landgebiete (Skandinavien, nördliches Deutschland, bayrisches Plateau) oder in einzelnen Thalsystemen. An der Erosion

solcher haben Gletscher zwar einen nur sehr bescheidenen Antheil (Rundhöcker durch Abschleifen vorhandener Felshöcker entstanden); einen um so grösseren aber an der Ablagerung von Schutt in eigenthümlich geformten Hügeln, Hügelzügen und Hügelgruppen (Moränenlandschaft), und der damit öfters verknüpften Aufdämmung von Wasserläufen zu Binnenseen.

Grosse Rundhöckerfelder, wie sie z. B. auf den Wasserscheiden der Lappländischen Fjelle vorkommen, mehr oder weniger von Schutt verhüllt aber in den meisten Theilen Schwedens und Finlands (auch in Nordamerika), zwingen dazu, die Wege in mäandrischen Windungen oder ständigem Bergauf-bergab zu führen; Eisenbahnen dagegen durch eine endlose Reihe kleiner Einschnitte. Aehnlich verhält es sich in der eigentlichen Moränenlandschaft, wenn nicht Äsar und Schuttrücken den Landwegen meilenweit die Richtung vorzeichnen und vortrefflichen Untergrund bieten.

Als Garnitur von Thälern können Moränen zu denselben Tracirungsmaassregeln veranlassen wie Stufen, Sturz- und Schutthalden. Doch gewähren sie gewöhnlich einen festen sicheren Baugrund, abgesehen von schmandigen Zwischengliedern, z. B. der in Schweden sog. „Väsa“ oder „Gäslera“. Gletschergeschliffene Rundhöcker widerstehen der Verwitterung sicherer als ungeschliffene Klippen aus gleichem Gestein; dasselbe gilt auch von abgeschliffenen Klippwänden, obwohl die durch Klüfte veranlasste Ablösung ganzer Blockmassen von denselben dadurch nicht verhindert wird. Andererseits kommen lose Auflagerungen auf thalseitig geneigten gletschergeschliffenen Klippflächen leicht zum Abrutschen, wodurch sogar Muhren erzeugt werden (sog. „Wildbäche ohne Bett“ des Tessinthal).

Zu Werksteinen verdienen gletschertransportirte Findlinge, zumal auf dem Transport stark abgerundete Blöcke, stets den Vorzug vor Bruchsteinen von derselben petrographischen Art.

Die Gletschermechanik, besonders die Theorie der Gletscherbewegung, ist eines der interessantesten geophysikalischen Probleme, zu dessen Lösung der Ingenieur wenigstens ebenso berufen ist als der Geolog. Die Schweizer Ingenieure Venetz und Imfeld haben dies bewiesen.

Die destructive Wirkung heutiger Gletscher soll hier auch nicht unerwähnt bleiben; mag sie durch (fälschlich) sog. „Gletscherbrüche“ sich äussern (Sallanches) oder durch Eisthalssperren, welche dem Druck des dahinter aufgespannten Wassers nachgaben (Oetzthal).

Die geophysikalische Untersuchung jetzigen Inlandeises kommt in praktischer Beziehung soweit in Betracht, als dieselbe zu richtiger Deutung der so weit verbreiteten, wirthschaftlich wichtigen, sog. Glacialablagerungen des Tieflandes führen kann.

Kap. XI. Thätigkeit des Meeres.

So bedeutend diese ist, so kurz wollen wir uns damit fassen, theils weil eine eingehende Betrachtung weit über unser Ziel hinausführen würde, theils weil die geophysikalischen Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Oceanographie bereits das Eigenthum der verschiedenartigsten productiven Fachwissenschaften geworden sind.

Der wichtigste, die ganze Erde und alle Zeiten (während welcher Meer existirte) umfassende Einfluss des Meeres auf die Physiognomie der Erdoberfläche beruht auf der Veränderlichkeit seines Niveaus, eines der complicirtesten Probleme der Geophysik, dessen praktische Omnipotenz schon der Assessor im Schwed. Bergcollegium (nachmalige Theosoph) Swedenborg erfasste und andeutete, als er die Königin Ulrika Eleonora beglückwünschte: über ein Land zu regieren, das ohne Schwertstreich ständig an Grösse zunähme! Aber auch abgesehen vom Auftauchen und Versinken ganzer Länder nach unabsehbaren Reihen von Jahren, ändern die säcularen und die abrupten Verschiebungen der Strandlinie selbst während historischer Zeiträume die Bedingungen für Bewohnbarkeit und Bewirthschaftung vieler Küstenstriche.

Die Niederlanden waren zu Cäsar's Zeit mit Torfmooren und Wäldern bedeckt, wo sie jetzt unter dem Meeresspiegel liegen und nur durch successive erhöhte und verstärkte Deiche und Pumpwerke vor Ueberfluthung geschützt werden; die Insel Jersey war noch im 5. Jahrhundert mit dem Gebiet von Contances in Zusammenhang und wurde erst im 13. vom Festland getrennt²⁰⁾.

Häfen versanden, Fährden werden Wiesen, Seestädte vertrocknen zu Landdörfern; andererseits verschlingt das Meer Inseln, Vorländer, Küstenstreifen; und wenn bei diesen Vorgängen auch die auftragende und abtragende Arbeit des bewegten Meeres eine Hauptrolle spielt, so muss man doch zugeben, dass säculare Sinken eines Landes stets den Abtrag der Küste, säculare Hebung aber den Auftrag befördern wird.

Die mechanische Thätigkeit des Meeres äussert sich durch Ebbe und Fluth, durch Strömungen und durch Brandung. Der Ebbe und Fluth misst man in der Regel keinen grossen Einfluss auf die Umgestal-

²⁰⁾ Nivoit, l. c. I. S. 146.

tung der Küste bei; für das Ausspülen von Flussmündungen, für die Ablagerung von Untiefen und Bänken vor denselben dürfte sie aber doch von Bedeutung sein.

Die formverändernde Wirkungsweise der Meeresströmungen längs der Küsten hat neuerlich Gilbert an amerikanischen Beispielen erläutert.

Die Arbeit des Wogenschlags und der Brandung ist wohl der wichtigste Factor der morphologischen Meeresthätigkeit; ebenso wenn es sich um die Bildung von Strandmalen odersog. „fossilen“ Küstenphänomenen handelt, welche anzeigen, wie weit ehemals im Binnenland das Wasser reichte, als um Schutzwerke des Menschen gegen das jetzt anbrandende Meer.

Kap. XII. Geologische Thätigkeit der Organismen.

Da petrogenetische Geologie nicht der Gegenstand der dynamischen ist, so dürfen wir hier von Untersuchung der Gesteins- und Bodenbildung durch Organismen ebensowohl absehen, wie von jener durch Chemismus; umsomehr, als eine solche Untersuchung viel mehr dem Gebiet der Biologie angehören würde als dem der Physik.

Nichtsdestoweniger ist einzuräumen, dass gewisse, heute noch stattfindende, organogene Sedimentbildungen von wirtschaftlichem und technischem Interesse sind, und zwar allein schon wegen des Bildungsvorganges. Es sei z. B. an die Verschlammung des Hafens von Alexandria und der Elbemündung durch Foraminiferen erinnert; an die Verseichtung der Bucht von Odense durch Algen und Conferven; an die (schon in einem anderen Zusammenhang erwähnte) Verstopfung von Flüssen durch Treibholz und weiter wucherende Pflanzen (Red-River, Columbia, Nil); an das Verwachsen von Canälen; Vertorfen und Versumpfen von Teichen u. a. Bassins; an die sog. Wasserpest; an das Aufschwellen von Mooren und Svamps; an die zerstörende Thätigkeit von Bohrmuscheln und -Würmern, u. dgl. mehr; worüber man aber anderwärts bessere Belehrung einholen wird, als gerade bei der dynamischen Geologie.

Wie sich das Studium der angewandten dynamischen Geologie zu dem der allgemeinen Geologie und der Ingenieurwissenschaften verhält.

Obwohl mit vorstehendem Exposé bei weitem noch nicht alle Momente aufgezählt sind, durch welche die dynamische Geo-

logie eine praktisch verwerthbare, verschiedenartigen Erwerbszweigen nützliche, ja unentbehrliche, Hilfswissenschaft wird, glaube ich doch, dass die Tractandenliste zuvörderst lieber verkürzt als erweitert werden sollte, weil dieselbe sonst kaum zu bewältigen wäre.

Wenn aber die dynamische Geologie für das praktische Leben nicht eine Luxus-, sondern eine Bedarfswissenschaft ist, so entsteht sofort die Frage, ob dieselbe bisher nicht als solche verwerthet, cultivirt, an technischen Hochschulen gelehrt worden sei? — und diese Frage ist bestimmt zu bejahen. Es wurde im Vorgehenden bei verschiedenen Gelegenheiten hervorgehoben dass der Hydrotechniker, der Wasserbaumeister, der Bauingenieur bei den mannigfaltigsten Gelegenheiten nicht nur den ausgiebigsten Gebrauch von geophysikalischen Lehren macht, sondern dieselben durch streng mathematische Behandlungsweise selbst erst verwendbar gemacht, in vielen Fällen erst begründet hat. Er ist practicirender Geophysiker, ohne sich dessen recht bewusst zu sein, und ohne durch Anerkennung des Vorschubs, welchen er in vielen Einzelfällen der theoretischen Wissenschaft geleistet hat, verwöhnt zu sein.

Folgerichtig ist die dynamische Geologie auch kein Fremdling an unseren technischen Lehranstalten. Die daselbst vorgetragene Geologie ist angewandte Geologie, und ein Abschnitt derselben behandelt dynamische Geologie. Dieselbe wird — man vergleiche die geologischen Lehrbücher — in dem Umfang vorgetragen, welcher dem Rahmen, worin die gesammte Geologie untergebracht werden muss, entspricht; und ein Ueberschreiten dieser Grenze, sei es durch Eingehen auf die Details mathematischer Entwicklung, sei es durch Application ihrer wissenschaftlichen Resultate auf die Untersuchung concreter Fälle, müsste nothwendiger Weise dazu führen aus der dynamischen Geologie ein Specialstudium zu machen, neben welchem aber der dynamisch-geologische Abschnitt der allgemeinen Geologie keineswegs entbehrlich würde.

Andererseits werden Einzelprobleme der dynamischen Geologie oder der Geophysik in den Lehrkursen über die verschiedensten Branchen des Bauingenieurwesens gründlichst und nach strengster Methode untersucht, je an der Stelle, wo ihre Lösung erforderlich ist; aber als technische Aufgaben und losgerissen aus der Kette zusammenhängender geophysikalischer Fragen, wovon sie je nur ein Glied bilden.

Es ist verlockend, den Versuch zu machen, diese praktisch wichtigen geophysikalischen Probleme auch in ihrem natürlichen Zusammenhang, also als Glieder eines in sich abgeschlossenen Wissenschaftsgebiets, so abzuhandeln, dass sie den verschiedenen technischen Fächern, wo man ihrer als Grundlage bedarf, ohne Weiteres zugänglich werden. Die in diesem Sinn als geologisches Specialstudium betriebene Geophysik vermag und soll nicht die dem jemaligen Bedürfniss einer Fachwissenschaft angepasste Entwicklung einzelner geophysikalischer Sätze seitens dieser Fachwissenschaft ersetzen, ebensowenig als sie den dynamisch-geologischen Abschnitt der allgemeinen Geologie entbehrlich machen kann. Sie nimmt vielmehr eine Zwischenstellung zwischen Theorie und Praxis, zwischen reiner und angewandter Wissenschaft ein, und hat alle Folgen einer solchen Pufferstellung auf sich zu nehmen.

Man kann häufig die Beobachtung machen, dass sich der berathende Geolog und der ausführende Ingenieur nicht verstehen. Der Ingenieur fordert vom Wissen des Geologen oft zu viel, ohne ihm auch nur alle technische Hilfsmittel zu gewähren, welche zur gewünschten positiven Beantwortung seiner Fragen erforderlich wären; und der Geolog antwortet dem Ingenieur oft zu viel, Dinge, welche das Fragobject zwar mit enthalten, aber ohne auf den Punkt zu treffen, so dass der Ingenieur aus dem vielen ihm Mitgetheilten das ihm gerade Wissenswerthe selbst herausklauben muss. Hauptsache ist richtige Fragestellung auf der einen Seite, technisches Verständniss auf der anderen; der Ingenieur muss dazu geologisch, der Baugeolog technisch geschult sein. Dies lässt sich hinsichtlich der dynamischen Geologie vielleicht erreichen durch Behandlung derselben nach dem hier entwickelten Programm.

Dasselbe ist ohne mathematische Behandlungsweise der Probleme nicht durchzuführen; denn eine aufgestellte Theorie soll nicht nur plausibel sein, sondern sie muss sich verantworten lassen, deshalb auch quantitativ den jemaligen Prämissen gerecht werden. Es ist aber nicht erforderlich, würde sogar unausführbar sein, die mathematische Entwicklung hier bis in's Detail zu treiben; denn für mathematische Uebungen ist anderweitig bessere Gelegenheit geboten, und hier keine Zeit. Man dürfte sich in den meisten Fällen damit begnügen können den Weg zu bezeichnen, auf welchem ein Resultat gewonnen worden ist, unter Angabe der Quellen, wo darüber Näheres

eingesehen werden kann. Dagegen ist es erforderlich zu zeigen, wie zur Lösung einer concreten Aufgabe die gebotenen Theorien verwendet werden können, wie die Aufgabe rechnerisch zu packen ist, wie die mathematischen Ausdrücke zweckentsprechend abgekürzt und für numerische Berechnung geeignet gemacht werden können. Und vor Allem sollte man sich angelegen sein lassen, für die numerischen Berechnungen möglichst zuverlässige Erfahrungscoefficienten zu beschaffen.

Ideale Ziele.

Es wurde schon an einer anderen Stelle die Frage gestreift, ob die dynamische Geologie durch die Aptirung für productive Zwecke nicht ihren wissenschaftlichen Charakter einbüsst? Ich glaube diese Frage verneinen zu können, schon durch Hinweis auf den nicht gering anzuschlagenden Antheil, welchen Ingenieure an der Entwicklung dieser Wissenschaft genommen haben, und zwar in der Ausübung ihres Berufes. Unsere ganze heutige Geologie verdankt den Erfahrungen des Bergmanns und seinem Bedürfniss nach wissenschaftlicher Führung ihren ersten Ursprung. Und wenn es materielle Interessen waren, welche den Bergmann zunächst veranlassten, aus seinen Beobachtungen allgemeine nützliche Berufsregeln zu ziehen, so waren es andererseits rein ideale Ziele, welche ihn dazu trieben, aus denselben Beobachtungen allgemeine Schlussätze über den Aufbau und die Entstehungsweise der Erdkruste zu ziehen und so die Geologie zu begründen. Materielle und ideale Bestrebungen haben sich in diesem Falle also nicht gegenseitig aufgezehrt, sondern unterstützt, und aus den materiellen sind die idealen erst gezüchtet worden. Aber nicht nur Bergleute, auch Civilingenieure haben die geologische Wissenschaft mächtig gefördert; und zwar nicht nur dadurch, dass sie das bei Ausübung ihres Berufes gesammelte Beobachtungsmaterial den Gelehrten zur Verfügung stellten, sondern dadurch, dass sie selbstständig Schlussätze daraus zogen, welche trotz ihrer ungelehrten Unbefangenheit der geologischen Wissenschaft in einigen Fällen für Jahrzehnte den richtigen Curs gesetzt haben. Ich erinnere an den Künstler und Ingenieur Leonardo da Vinci, welcher die Versteinerungen auf Seethiere zurückführte, die an dem Fundort der Versteinerungen gelebt haben; an den Feldmesser und Kunsttöpfer Bernard Palissy, welcher die sog. Glossopetren für wirkliche Haifischzähne, und versteinerte Conchylien für wirkliche vom Meer hinterlassene Mollusken-

schalen erklärte; an den Bauingenieur W. Smith, welcher die Schichten nach den Versteinerungen identificiren lehrte; an den Walliser Cantonsingenieur Venetz, welcher durch den Vergleich der schleifenden und transportirenden Wirkung heutiger Gletscher mit den Rundhöckern und dem Erraticum der Schweiz Grundleger der Glacialtheorie wurde. Selbst W. von Siemens könnte hier genannt werden.

Wenn sich hiernach Ingenieure aus rein wissenschaftlichem Interesse, und mit durchschlagendem Erfolg, auf die Erforschung geologischer Fragen geworfen haben, so darf man sich darüber nicht wundern: sie wurden dazu angeregt durch die grossartigen dynamisch-geologischen Experimente, deren Durchführung ihnen oblag, durch die ausgedehnten künstlichen Profile, die sie herzustellen und exact aufzunehmen hatten. Und wenn sie diese ihnen gebotenen Mittel nicht in allen Fällen zur Bereicherung der geologischen Wissenschaft voll ausgenützt haben, so darf man dies nicht unbedingt einem Erschlaffen des idealen Sinnes unter dem Druck der productiven Bestrebungen zuschreiben: die Erfahrung beweist im Gegentheil, dass auf eine productive Jugend häufiger ein contemplatives Alter folgt als um-

gekehrt. Abgesehen von dienstlichen Pflichten, ist es wohl in erster Hand ungenügendem Verständniss für die Beziehungen, worin die bei Verfolgung anderer Zwecke gemachten Wahrnehmungen zu gewissen geologischen, speciell geophysikalischen, Fragen stehen, zuzuschreiben, wenn Ingenieure gelegentliche wichtige Entdeckungen auf wissenschaftlichem Gebiet verloren gehen liessen. Dies Verständniss wird aber um so sicherer geweckt, je mehr der Ingenieur das Bedürfniss dynamisch-geologischer Studien für Ausübung seines Berufes erkennt und befriedigt.

Wenn man die anfangs an die Wissenschaft gerichtete Frage: „Was leistest Du für das Leben?“ umkehren wollte und fragen: „Was leistet das technische Erwerbsleben für die Wissenschaft?“ so würde man finden, dass in unserem Fall Soll und Haben sich so ziemlich decken. Jeder Theil muss aber Zweck und Ziel seiner Thätigkeit kennen und darf sich vom Weg dahin durch dem Nachbar gerne gewährte Hülfeleistung nicht abbringen lassen. Am wenigsten Gefahr in dieser Hinsicht läuft der Mann der angewandten Wissenschaft, welcher offen erkennt, mit wissenschaftlichen Hilfsmitteln productive Zwecke anzustreben.