

Bau und Function
der
Pflanzenorgane.

Von

JOSEF BOEHM,

Doctor der Philosophie und Medicin, o. ö. Professor der Botanik an der
Universität und an der Hochschule für Bodencultur in Wien.

Vortrag, gehalten am 29.¹ December 1886.

Mit Demonstrationen.

Jedes Lebewesen, mag dasselbe im ausgebildeten Zustande noch so complicirt gebaut sein, beginnt sein Dasein als ein winziges Bläschen. Dieses löst sich entweder sofort von der Stätte seiner Entstehung oder es entwickelt sich aus demselben das neue Individuum bis zu einem bestimmten Stadium noch in Verbindung mit dem Mutterorganismus.

Die chemischen Elemente, aus denen sämmtliche Pflanzen und Thiere bestehen, befanden sich vordem entweder in der Atmosphäre oder sie stammen aus dem Boden. Aber nur die Pflanzen, und auch von diesen nur die grünen, besitzen die Fähigkeit, sich direct von Bestandtheilen der Luft und des Bodens zu ernähren. Die Ernährung und Vermehrung geschieht vermittelt bestimmter Organe, weshalb man die Lebewesen als Organismen bezeichnet. Welche sind nun die wesentlichsten Organe der Pflanzen, wie sind sie gebaut und wie functioniren sie?

Wenn man von einer Pflanze im Allgemeinen redet, so denkt man zunächst an ein Kraut, einen Strauch oder Baum, welche Gewächse, wie verschieden sie auch sonst sein mögen, aus Wurzeln, Stamm und Blättern bestehen.

Die meisten dieser Pflanzen können sich durch Samen vermehren. Die Samen entstehen aus den Keimknospen in den Fruchtknoten der Blüten. Man bezeichnet diese Gewächse daher als offenehige (Phanerogamen) oder Samenpflanzen im Gegensatze zu den blüthenlosen (Kryptogamen) oder Sporenpflanzen. Diese vermehren sich durch Sporen, d. i. Zellen, welche sich, von der Mutter getrennt, zu einem Tochterindividuum entwickeln können, während in dem Samen die junge Pflanze bereits als Embryo vorhanden ist.

Die Sporenpflanzen besitzen entweder ebenfalls Wurzeln, Stamm und Blätter, wie die Bärlappe, Schachtelhalme und Farne, oder es haben dieselben andere und zwar höchst mannigfache Formen. Man bezeichnet diese, den Stammpflanzen gegenüber, als Lagerpflanzen (Thallophyten).

Die Stammpflanzen bestehen gewöhnlich aus Zellen und aus Gefässen. Diese entstehen aus übereinanderstehenden Zellen durch Resorption der Querwände und durchziehen als continuirliche Röhren alle Organe. Jene Gefässe, welche in sich noch streckenden Organen angelegt werden, sind mit einem abrollbaren Spiralbande ausgekleidet und heissen daher Spiralgefässe.

Den stammlosen Sporenpflanzen (Thallophyten) fehlen die Gefässe. Es sind dies die Pilze, Algen und Flechten. Die Pilze sind im Gegensatze zu den Algen chlorophylllos, und die Flechten sind gar keine selbstständigen Pflanzen, sondern sind entstanden durch ein merkwürdiges Zusammenleben von Pilzen und Algen.

Zahllose Pilze leben auch sonst auf Pflanzen und Thieren, bedingen aber deren Erkrankung und Tod. Ganz anders ist das Verhältniss der Pilze zu den Algen bei den Flechten. Die Pilze bieten den Algen eine willkommene Wohnstätte und versorgen sie mit anorganischen Nährstoffen. Die Algen hingegen bereiten die organischen Bau- und Verbrauchsstoffe nicht nur für sich, sondern auch für ihre Miethsherren und werden dabei von diesen nicht im Mindesten beirrt oder in ihrer Entwicklung geschädigt.

Nach ihren morphologischen Elementen können wir daher die Pflanzen unterscheiden in Zellpflanzen und in Gefässpflanzen. (Im Holze der Coniferen finden sich statt der gewöhnlichen Gefässe Tracheidenstränge, deren Elemente in offener Verbindung stehen.) In der Mitte zwischen den Zell- und Gefässpflanzen stehen die Moose, von denen ein Theil die Form von Lager- und ein anderer die Form von Gefässpflanzen besitzt; diesen fehlen jedoch die Gefässe. — Die Phanerogamen zerfallen in Bedeckt- und Nacktsamige. Bedecktsamig heissen die Pflanzen dann, wenn die Samen in einer von dem Fruchtknoten gebildeten Hülle eingeschlossen sind. Der Fruchtknoten zur Zeit der Samenreife heisst Frucht. Er bildet sich stets so aus, dass die Verbreitung und die Erhaltung der Keimfähigkeit der Samen möglichst gesichert werden. Bei der Samenreife springt die Frucht entweder auf (Kapsel) oder sie bleibt geschlossen. In diesem Falle ist dieselbe entweder ein Balg, oder eine Nuss oder ein Nüsschen, oder eine Beere,

z. B. beim Weinstocke, der Pomeranze, dem Kürbis. Bei den pfirsichartigen wird die äussere Hälfte der Fruchtknotenwand fleischig und die innere Hälfte holzig. Beim Apfel und der Birne ist der Fruchtknoten von dem hohlen und fleischigen Blütenstiele eingehüllt und mit demselben verwachsen. Aehnlich verhält es sich bei der Rose; die Früchtchen sind hier jedoch frei. Bei der Erdbeere sitzen die Früchte (Nüsschen) auf dem beerenartig angeschwollenen Ende des Blütenstieles. Bei den Gräsern endlich verwächst die innere Wand des Fruchtknotens mit dem Samen. Die Roggen- und Weizenkörner sind somit nicht Samen, sondern Früchte. Die Maulbeere und die Feige sind keine Früchte, sondern Fruchtsände. Bei der Feige wird der Fruchtboden fleischig und bei der Maulbeere das Perigon. Die Früchte sind in beiden Fällen Nüsschen.

Bei den Nacktsamigen (Gymnosperamen) fehlt der Fruchtknoten; die Keimknospen und die daraus sich entwickelnden Samen liegen ganz frei. — Zu den Nacktsamigen gehören die Coniferen oder Nadelhölzer, Namen, welche für mehrere Gattungen dieser Pflanzengruppe nicht bezeichnend sind. Die Eibe hat keinen Zapfen und der Ginkobaum (*Salisburia*) hat flach ausgebreitete Blätter.

Die Gräser, Hyacinthen, Lilien und Palmen, wie verschieden sie auch sonst sind, haben doch in ihrem Habitus sehr viel Aehnlichkeit. Dasselbe ist anderseits der Fall bei der Nessel, Rübe, Birke und Linde u. s. w. Die Bedecktsamigen zerfallen nämlich in zwei Gruppen;

die einen haben meist streifnervige, die anderen winkelnervige Blätter. Der viel wesentlichere Unterschied zwischen diesen zwei Pflanzengruppen besteht jedoch darin, dass der Embryo der Winkelnervigen zwei, der der Parallelnervigen jedoch nur ein Keimblatt (Cotyledon) hat. Nach diesem Charakter bezeichnet man die zwei Gruppen der Bedecktsamigen als Mono- und als Dicotyledonen. (Bei mehreren Gattungen der Nacktsamigen, z. B. der Kiefer, Pinie, hat der Embryo mehrere Keimblätter.)

Jedermann kennt den Querschnitt durch einen Nadelholz- oder Buchenstamm. Bei den Gymnospermen und den Dicotylen findet sich in der Mitte des Stammes das Mark und das Holz ist mehr oder weniger deutlich geschichtet. Jede solche Schichte ist das Product einer Vegetationsperiode. Da diese Schichten auf dem Querschnitte als Ringe erscheinen, so bezeichnet man sie als Jahresringe. Senkrecht zu den Jahresringen verlaufen von Aussen nach Innen mehr oder weniger feine Linien, die sogenannten Markstrahlen. Bei einem dickeren Stamme erreichen von der Rinde aus nur wenige dieser Strahlen das Mark.

Bei sämtlichen Gefässpflanzen ist der Stamm aus sogenannten Gefässbündeln zusammengesetzt. Bei den Nacktsamigen und den Dicotylen sind diese Bündel concentrisch um das Mark geordnet und durch die Markstrahlen von einander getrennt, anastomosiren aber vielfach miteinander. — Am oberen Ende biegen die Gefässbündel als Rippen in die Blätter aus.

Jedes dieser Gefässbündel besteht aus Holz und aus Bast und zwischen beiden befindet sich das Cambium, d. i. eine Zellschichte, von welcher neues Holz und neuer Bast gebildet werden. Bei den Gymnospermen und Dicotylen wächst der Stamm unabhängig von seinem Längenwachsthum in die Dicke, und dieses Dickenwachsthum erfolgt durch das der Gefässbündel. Diese werden dadurch keilförmig und es entstehen in denselben immer neue, die secundären Markstrahlen, im Gegensatze zu den früher erwähnten, den Hauptmarkstrahlen.

Ganz anders ist der Stamm der Monocotylen gebaut. Der Querschnitt eines Maisstengels oder eines spanischen Rohres ist deutlich punktirt. Diese Punkte sind die Gefässbündel, welche auf dem Stammquerschnitte also regellos zerstreut sind, und sie biegen ebenfalls in die Blätter aus, bestehen aber nur aus Holz und Bast; es fehlt ihnen das Cambium. Die meisten Monocotylen, auch die Palmen, wachsen nach Ausbildung ihrer bereits in dem Vegetationskegel angelegten Gefässbündel nicht mehr in die Dicke. Von dieser Regel machen nur wenige Gattungen eine Ausnahme, z. B. *Dracaena*. Aber auch bei diesen wachsen nicht die ursprünglich angelegten Bündel in die Dicke, sondern es werden an der Peripherie derselben neue angelegt.

Das Holz ist von der Rinde bekleidet. Als Rinde bezeichnet man im gewöhnlichen Leben jene Haut, welche sich von dem Holze abziehen lässt. Es gelingt dies aber nur bei den Gymnospermen und Dicotylen

und auch bei diesen nur während der Vegetationsperiode. Die Trennung erfolgt nämlich im Cambium, welches zu dieser Zeit aus zarten, in lebhafter Theilung begriffenen und leicht zerreisslichen Zellen besteht. Die so abgelöste Rinde enthält somit auch die Basttheile der Gefässbündel, d. i. jene Gewebe, in welchen die in den Blättern assimilirten Stoffe zu den Verbrauchsstätten wandern. Erst ausserhalb des Bastes liegt die eigentliche Rinde, welche bei allen Stammpflanzen im Wesentlichen gleichartig gebaut ist. Sie ist ursprünglich von der Epidermis bekleidet. Beim Dickenwachsthume des Stammes geht die Oberhaut in der Regel früher oder später zu Grunde und regenerirt sich nicht wieder, sondern es entsteht entweder aus ihr oder aus den darunter gelegenen Zellen eine Korkhülle. Dieser Kork sieht aber meist nicht so aus wie der der Kork-eiche, sondern wie die ursprüngliche Oberhaut und führt den Namen Periderma.

Beim weiteren Dickenwachsthume geht die ganze eigentliche Rinde meist zu Grunde und die äusseren Partien des nun frei liegenden Bastes sterben ab. Es entsteht sodann weiter nach innen eine neue Korklage, und wenn auch diese in Folge des Dickenwachsthums zersprengt wird, bildet sich das das lebende Gewebe schützende Periderma in den tiefer liegenden Schichten des Bastes, und so fort. Die abgestorbenen Bastpartien bleiben noch während kürzerer oder längerer Zeit mit dem Stamme verbunden. Eine solche, meist rissige Rinde bezeichnet man als Borke.

Die Wurzel unterscheidet sich vom Stengel dadurch, dass sie blattlos und dass ihre Spitze von der sogenannten Wurzelhaube bekleidet wird, während der Vegetationskegel des Stengels nackt, respective von den jungen Blättern bedeckt ist. Eigentliche Wurzeln haben nur die Gefässpflanzen.

Die Wurzeln sind entweder Haupt- oder Nebenwurzeln. Die Hauptwurzel ist eine directe Verlängerung des Stengels; die Nebenwurzeln können sonst irgendwo aus diesem und auch, wie z. B. bei diesem Blatte der Feuerbohne, aus dem Blattstiele entstehen. Eine Hauptwurzel kann daher nur eine Pflanze haben, welche aus einem Samen gezogen wurde. Das, was man beim Embryo Würzelchen nennt, ist thatsächlich ein Stengel, welcher sich erst bei der Keimung an seinem unteren Ende als Wurzel verlängert. Dies geschieht jedoch nur bei den Dicotylen. Die Monocotylen haben, so wie die Gefässkryptogamen, nur Nebenwurzeln.

Während die Wurzel, in welche Lage man den Embryo bei der Keimung auch immer bringen mag, nach abwärts wächst, wächst der Stengel nach aufwärts. Diese Richtung wird durch die Schwerkraft der Erde bestimmt. Auf einer horizontal rotirenden Scheibe wachsen die Wurzeln in der Richtung der Fliehkraft durch welche die Schwerkraft aufgehoben wird. Man bezeichnet daher die Wurzeln als positiv und die Stengel als negativ geotropisch. Es gibt aber auch Stengel, welche sich so wie die Wurzeln unter der Erde entwickeln, z. B. die Kartoffeln. Diese sind nicht etwa an

ihren Enden verdickte Wurzeln, sondern Zweige in den Achseln von Niederblättern. Die sogenannte Gras- und Veilchenwurzel und die Zwiebeln sind weitere Beispiele von unterirdischen Stengeln.

Die Blätter entstehen in acropetaler Reihenfolge unter der Vegetationsspitze des Stengels und können sich in der mannigfachsten Weise ausbilden. In der Regel sind sie flach ausgebreitet und grün. Die Staubgefäße wurden zuerst von Goethe als umgewandelte Blätter erkannt. Auch der Fruchtknoten ist stets wenigstens theilweise aus Blättern gebildet. Es gibt aber auch Stengel, welche sich ganz blattartig entwickeln, z. B. die Zweige des Mäusedorns (*Ruscus*), während anderseits die Blätter mancher Binsen vom Stengel nur schwer zu unterscheiden sind.

Die Wurzeln haben zweifache Functionen; sie befestigen die Pflanze im Boden und versorgen dieselbe mit Wasser und den in diesen gelösten mineralischen Nährstoffen. Die Wurzelfasern sind in der Regel mit Wurzelhaaren bekleidet. Dadurch wird ihre saugende Oberfläche vergrößert, und indem sie saure Säfte enthalten, corrodiren und lösen sie festes Gestein.

Die Wurzeln gehen entweder in die Tiefe oder verbreiten sich mehr oberflächlich. Die Wurzeläste zweiter Ordnung werden von der Schwerkraft nur wenig afficirt und die höherer Ordnung wachsen in der Richtung ihrer Anlage fort. Der hieraus für die Pflanze erwachsende Vorthail ist selbstverständlich. Die tiefwurzelnden Pflanzen, z. B. die Kleearten, holen die

vegetabilischen Nährstoffe aus dem Untergrunde und bereichern damit die Ackerkrume.

Die Moose haben statt der Wurzeln nur Haare, welche aus dem Stamme entspringen. Wurzelartige Organe (Rhizoiden), d. i. Wurzeln im physiologischen Sinne, haben auch die Pilze, Algen und Flechten. So senden die Zellen des Kärtoppilzes, welcher in den Interzellularen seines Wirthes haust, blasenartig anschwellende Haustorien in die benachbarten Zellen der Nährpflanze. Die weissen Fäden (Mycelium), welche z. B. die Culturbeete des Champignon durchziehen, fungiren als die Wurzeln dieses Pilzes.

Durch welchen physikalischen Process die Wasseraufsaugung durch die Wurzeln geschieht, ist noch völlig unaufgeklärt. Die allgemein geltende Ansicht, dass dies ausnahmslos durch Osmose bewirkt werde, ist geradezu naiv. Stark transpirirende Pflanzen werden zunächst anstandlos selbst aus einem luftleeren Behälter ausreichend mit Wasser versorgt von Wurzeln, welche durch heisses Wasser getödtet wurden. Die spätere Sistirung der Wasseraufnahme durch getödtete Wurzeln ist durch secundäre Veränderungen in dem Leitungs-gewebe bedingt. Damit soll jedoch nicht etwa behauptet werden, dass die Endosmose zu keiner Zeit und bei keiner Pflanze bei der Wasseraufsaugung durch die Wurzeln eine Rolle spiele. Es ist ja zweifellos, dass das „Bluten“ mancher Pflanzen, z. B. des Weinstockes und der Birke aus frischen Wunden im Frühjahr vor der Blattentfaltung durch dieselbe bewirkt wird.

Die von den Wurzeln aufgenommenen „Säfte“ werden in dem Holze in die transpirirenden Blätter geleitet. Es fragt sich nun: in welchen Elementen des Holzes erfolgt das Saftsteigen und durch welche Kräfte wird dasselbe bewirkt?

Das Saftsteigen erfolgt vorzüglich in den Gefässen und bei den Coniferen in den gefässartigen Tracheidensträngen, und die Hubkraft ist zunächst der Luftdruck. Die Gefässe enthalten Wasser und verdünnte Luft. Die Luftverdünnung wird erhalten und durch die Athmung in Verbindung mit Diffusion zwischen dieser und der Aussenluft. Bei der Athmung wird der Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure verbraucht, und diese so wie der Stickstoff diffundiren nach aussen, während die mit dem Wasser aufgenommene sauerstoffreiche Luft in die luftverdünnten Räume austritt. Die Behauptung, dass die saftleitenden Elemente des Splintes, weil sie kein Protoplasma führen, todt seien und somit nicht athmen, ist wohl eine der grössten Absurditäten, die jemals behauptet wurden. Allerdings genügt selbstverständlich die Druckdifferenz einer Atmosphäre nicht, um den Saft in die Krone hoher Bäume zu heben. Mittelst einer gut construirten Saugpumpe kann das Wasser gegen neun Meter hoch, durch übereinander gestellte Pumpen aber fast bis zur Atmosphärengrenze gehoben werden. Ein solches System von Saugwerken ist aber in jedem Baumstamme verwirklicht.

Bei allen Bäumen stirbt das ältere Holz früher oder später ab und verfärbt sich in der Regel mehr

oder weniger. Dieses Holz heisst Kernholz. Seine Gefässe füllen sich wenigstens theilweise entweder mit Zellen oder mit Gummi. Es leitet daher den Saft nicht mehr und hat für den Baum nur mehr einen mechanischen Werth. Bei *Robinia* füllen sich, und zwar schon im zweiten Jahre auch die Gefässe des Splintes mit Zellen; die Saftleitung erfolgt bei dieser Baumgattung (sowie aus einem analogen Grunde bei *Ailanthus* und *Amorpha*) nur im jüngsten Holze.

Nur die grünen Zellen haben die Fähigkeit, bei geeigneter Temperatur mittelst der ihnen in Form von Licht zugeführten Kraft aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz zu erzeugen.

Die Kohlensäure wird nicht durch die Wurzeln, sondern von den grünen Organen direct aus der Luft aufgenommen. Obwohl die atmosphärische Luft in 10.000 nur 3—4 Volumtheile Kohlensäure enthält, so leiden die Pflanzen an diesem Nährstoffe doch niemals Mangel. Die grünen Organe besitzen nämlich Spaltöffnungen, durch welche das genannte Gas leicht in dieselben eintreten und der abgeschiedene Sauerstoff entweichen kann. Die Spaltöffnungen bedingen es aber auch, dass, wenn die umgebende Luft trocken, warm und bewegt ist, die Pflanzen sehr viel Wasser verdunsten, in Folge dessen die Existenz derselben häufig genug bedroht wird. Diese Gefahr wird dadurch verringert, dass die Spaltöffnungen in Folge ihres Baues und ihrer Einfügung zwischen die Oberhautzellen bei Wassermangel sich schliessen. Bei geschlossenen Spalt-

öffnungen ist allerdings auch die Aufnahme von Kohlensäure sehr erschwert und somit die Assimilationsintensität eine geringe.

Auf die Producte der chlorophyllhaltigen Zelle sind, direct oder indirect, nicht allein sämtliche Thiere und die chlorophylllosen Pflanzen angewiesen; es gilt dies auch von den nicht grünen Theilen einer grünbeblätterten Pflanze. Das organische Material für den Aufbau des Stammes, der Wurzeln, der Blüthen und Früchte und der nach der Ruheperiode aus den überwinternden Theilen hervorbrechenden Schösse wurde in den grünen Organen erzeugt, aus welchen es entweder, zum sofortigen Verbrauche, in die Orte der Neubildung oder, als Reservennahrung, in bestimmte Zellen abgeführt wird. Als Reservekammern fungiren insbesondere die Samen, die Wurzeln und wurzelartigen Stengel (Rhizome) einziehender Pflanzen, die Zwiebeln und Knollen und die Markstrahlen der Sträucher und Bäume.¹⁾

Nicht alle Blätter sind grün und dann dienen sie bei höchst mannigfacher Ausbildung sehr verschiedenen Zwecken. Die fleischigen Schuppen der Zwiebeln z. B. sind Reservestoffbehälter, und durch die lederartigen Knospenschuppen, welche häufig eine schleimige Sub-

¹⁾ Die gewöhnliche Form, in welcher die Kohlehydrate aufgespeichert werden, ist die Stärke, welche als Zucker wandert. Die allgemein geltende Annahme, dass diese Ueberführung durch Diastase bewirkt werde, ist selbst für keimende Gerste entschieden unrichtig.

stanz absondern, werden die zarten Anlagen der nächstjährigen Laub- und Blüthensprosse vor den Unbilden des Winters geschützt. Die verschiedenen Theile der Blüthe sind, wie schon erwähnt, grösstentheils umgestaltete Blätter. Häufig ist die Function der Blätter eine mehrfache. So fungiren sie bei der sogenannten hundertjährigen Aloë (*Agave americana*) gleichzeitig als Assimilations- und als Speicherorgane. Die Cotylen vieler Pflanzen sind anfangs Reservestoffbehälter und ergrünen beim Keimen.

Die Blätter der Blumenkrone sind oft prachtvoll gefärbt.

Weiss sind die vegetabilischen Gewebe dann, wenn sie frei von Farbstoffen sind und entweder nur in den Intercellularräumen, oder auch in den Zellen selbst Luft führen. Die Träger des gelben, rothen, blauen und violetten Farbstoffes sind entweder, so wie die des Chlorophylls, kleine Körner, oder es sind die Zellsäfte tingirt.

Manche Gewebe ändern ihre Farbe beim langsamen Absterben, z. B. die grünen Blätter im Herbst und, wie schon erwähnt, der Splint beim Uebergange in Kernholz. Alle Farbhölzer sind Kernholz, welches, so lange es lebte und als Splint den Saft leitete, ungefärbt war.

Krapp und Indigo sind in den lebenden Zellen der betreffenden Pflanzen als ungefärbte Zuckerverbindungen vorhanden, welche nach dem Tode unter geeigneten Bedingungen zerfallen. Die Ansicht, dass das Indigo in den Pflanzen (besonders *Indigofera* und *Isati-*

stinctoria = Waid.) im ungefärbten, d. i. reducirten Zustande (als Indigoküppe) vorkomme, ist unrichtig.

Von blauen Pflaumen und Heidelbeeren lässt sich ein weisses Pulver (Wachs) abschaben und dieselben erscheinen dann schwarz. Die blaue Färbung ist bei den genannten Früchten durch dieselbe Ursache bedingt, in Folge derer der wolkenlose Himmel oder die angeschwollenen Venen, manche Geschwülste und eine dünne Schichte Milch auf schwarzer Tasse blau erscheinen. Diese Ursache liegt in dem optischen Verhalten der sogenannten trüben Mittel. Diese durchscheinenden Körper reflectiren nämlich mehr blaues als anderes Licht, und wenn das durch sie gegangene Licht von einem schwarzen Hintergrunde absorbirt wird, so erscheinen dieselben in der bezeichneten Farbe. Auch in den schwärmerischen Augen einer Blondine findet sich keine Spur eines blauen Farbstoffes. Bis zu einem bestimmten Stadium des embryonalen Lebens sind die Augen roth und bleiben es zeitlebens bei den Albinos. Schon Aristoteles wusste, dass alle Kinder blaue Augen haben. In diesem Lebensstadium findet sich schwarzes Pigment nur auf der hinteren Seite der sonst farblosen Iris, durch welche früher die Blutgefässe durchschienen; falls sich später eine geringere oder grössere Menge Pigment auch in der Regenbogenhaut selbst entwickelt, erscheint dieselbe dann braun oder schwarz.

Welchen Nutzen gewährt nun das oft so prachtvolle Blumencolorit den betreffenden Pflanzen?

In den Staubgefäßen werden die befruchtenden Zellen für die geschlechtliche Fortpflanzung erzeugt. Auf der Narbe bilden diese Zellen einen Schlauch, der durch das lockere Gewebe des Griffels bis zur Eizelle wächst. Auf die Narbe getragen werden diese Zellen in der Regel entweder durch den Wind oder durch Insecten, welche den in den sogenannten Nectarien der Blüthen erzeugten Honig aufsuchen. Aufmerksam gemacht auf diese Honigquellen werden aber die Insecten durch das oft in den buntesten Farben schimmernde Hochzeitskleid der Pflanzen und deren Duft.

Und auf das Gemüth des Menschen wirkt nichts so erhebend und veredelnd als Floras blühende Kinder. Insinniger Weiseschmückt die in Liebe verzückte Mutter die Wiege des Kindes mit Blumen. Wenn Sehnsucht und Liebe die Brust des Jünglings erfüllen und ihm die Stimme versagt, so wählt er als beredten und herzwinnenden Dolmetsch seiner Gefühle die Blume. Mit Blumen bekränzt sich die Braut. Blumen legen wir auf den Sarg der heimgegangenen Lieben und Blumen pflanzen wir auf ihr Grab. Von Pflanzen leben wir, unter Pflanzen vergehen wir und in den Pflanzen erstehen wir wieder im ewigen Wechsel von Tod und Leben.

Fig. 1.



In der grössten Tiefe des Grand Cañon. (Nach J. W. Powell.)
(1890 Meter = 6200 Fuss.)

Geologische Forschungsergebnisse
aus dem
Flussgebiete des Colorado.

Von

DR. FRANZ TOULA,

o. ö. Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien.

Vortrag, gehalten den 5. Jänner 1887.

Mit elf Abbildungen.

Es kann mir nicht beifallen, in der kurzen Spanne Zeit einer Stunde Ihnen, hochgeehrte Anwesende, mehr bieten zu wollen als eine beiläufige Vorstellung von der Wichtigkeit und dem hohen Interesse der einen oder anderen Errungenschaft der geologischen Forschung auf dem weiten Gebiete der vereinigten Staaten.

Am frühesten wurden geologische Aufnahmen in den östlichen Staaten vorgenommen, und zwar in Massachusetts und Connecticut. Die älteste geologische Detailkarte stammt aus dem Jahre 1817, behandelt einen Theil des erstgenannten Staates und ist von Edward Hitchcock hergestellt, der auch die erste Uebersichtskarte über denselben Staat (1832) herausgab (5 Meilen = $\frac{3}{4}$ Zoll oder circa 1:422.400), in Begleitung des ersten Berichtes über die geologischen Aufnahmen von Massachusetts, ausgeführt über Anordnung der Regierung dieses Staates. Die übrigen Neu-England-Staaten folgten diesem Beispiele bald, doch ist bis zur Stunde eigentlich nur New-Hampshire wirklich in grösserem Massstabe vollkommen aufgenommen worden ($2\frac{1}{2}$ Meilen = 1 Zoll oder circa 1:158.500).

In allen anderen Staaten sind wiederholte Unterbrechungen der Aufnahmsarbeiten zu verzeichnen, und

wenn auch zum Theile überaus reichhaltige und dankenswerthe Publicationen vorliegen, so ist doch von einer eigentlichen systematischen Arbeit mit allseitig befriedigenden Resultaten seltener die Rede. Pennsylvanien und New-York erfreuten sich intensiver Durchforschung.

Vom Jahre 1850 an datiren die von Seite der Washingtoner Centralregierung eingeleiteten naturwissenschaftlichen Forschungen. So wurde 1850—1852 das kupferreiche Gebiet am oberen See studirt und 1852—1857 eine Reihe von Landstrecken im Westen behufs Gewinnung der nöthigen wissenschaftlichen Basis für die Bestimmung der transcontinentalen Eisenbahnlinien durchzogen, und seit 1853 unterstützte sie auch den verdienstvollen F. V. Hayden bei seinen geologischen Forschungen in den westlichen Territorien, und übertrug demselben 1867 officiell die Leitung der geologischen Untersuchungen derselben („United States geological Survey of the Territories“). Hayden hat bis zum Jahre 1878 zahlreiche Berichte (Reports) erstattet, und unter seiner Leitung wurden die Staaten und Territorien Montana, Idaho, Wyoming, Colorado und Utah ganz oder zum Theil in Karte gebracht. Ausser den Reports — auf einen Band des letzten (zwölften) Reports, der sich mit dem Yellowstone-Nationalpark beschäftigt, komme ich bei einer späteren Gelegenheit zu sprechen — wurden noch ausführliche grosse Kartenwerke, so jenes über Colorado, Bulletins und monographische Abhandlungen paläonto-

logischen Inhaltes veröffentlicht. Gleichzeitig wurde Clarence King vom Kriegsministerium mit der Aufnahme eines über 160 Kilometer breiten Landstreifens zu beiden Seiten des 40⁰ nördlicher Breite zwischen dem Felsengebirge einer- und der Sierra Nevada andererseits betraut („United States Exploration of the fortieth Parallele“). Sechs gewaltige Quartbände, ein topographisch-geologischer und ein montanistischer Atlas sind reiche Früchte dieses Unternehmens, auf das noch weiter eingegangen werden soll.

Ein drittes Unternehmen wurde 1869 gleichfalls im Auftrage des Kriegsministeriums von M. Wheeler in Angriff genommen. Es handelte sich dabei um die geodätisch-kartographische und naturwissenschaftliche Aufnahme des ganzen Gebietes zwischen dem hundertsten Meridian und der pacifischen Küste („United States geographical Survey west of the hundredth meridian“). Nur ein freilich nicht unansehnlicher Theil der auf 94 Kartenblätter (im Massstabe von 1:506.880) berechneten Aufnahmearbeit wurde durchgeführt und die Ergebnisse in einer Reihe von Publicationen niedergelegt.

Endlich wurde auch eine Untersuchung der Felsengebirgsregion von Seite des Ministeriums des Innern veranlasst („United States geographical and geological Survey of the Rocky Mountains region“) und unter die Direction J. W. Powell's, des ersten Erforschers der Coloradoschluchten, gestellt.

Es ist klar, dass die vier Expeditionen in manchen Gebieten sich begegnen mussten, dass manche Aufnahmearbeit zwei- und mehrfach gemacht wurde, was im Interesse der grossen Sache und des enormen Arbeitsgebietes bedauert werden muss. Andererseits war dies aber für die Zukunft von grossem Nutzen, da dadurch der nöthige Stab von Beobachtern erzogen wurde, der nun der 1879 neu gegründeten centralisirten Staatsanstalt, „der geologischen Landesanstalt der Vereinigten Staaten“, zugute kommt. Drei Institutionen dieser Art — wie wir sie in unserem Musterinstitute, der k. k. geologischen Reichsanstalt, seit nun bald vier Decennien besitzen — wurden in den letzten Jahren ins Leben gerufen. Kurz voran ging die Errichtung der preussischen geologischen Landesanstalt (1878), die Gründung der russischen geologischen Reichsanstalt folgte bald darauf (1883).

Den ersten Plan für die amerikanische Landesanstalt entwarf Clarence King, der aber kurz darauf sein Amt niederlegte, welches an den nunmehrigen Director J. W. Powell übertragen wurde. Es ist nicht uninteressant, einige Vergleiche zu ziehen. Die Vereinigten Staaten von Nordamerika umfassen ein Areal von 9,272.449 Quadratkilometer mit zusammen 50 Millionen Einwohnern, sie sind also nur um etwa 400.000 Quadratkilometer kleiner als das ganze continentale Europa, während seine Bevölkerung nicht einmal $\frac{1}{6}$ der europäischen ausmacht; mit Oesterreich (den im Reichsrathe vertretenen Ländern) verglichen (Flächen-

raum 300.209 Quadratkilometer mit rund 22 Millionen Einwohnern), ist dieses der Fläche nach nur $\frac{1}{30}$ der Vereinigten Staaten, während seine Einwohnerzahl nur etwas weniger als die Hälfte der letzteren ausmacht. Die Kosten für die amerikanische Landesanstalt, die aber auch die weitere geodätische Aufnahme des Landes zu besorgen hat, beliefen sich im Jahre 1883/84 (Juni—Juni) auf 329.795 Dollars, etwa gleich 844.000 Gulden ö. W.

Nach dem neuen Arbeitsplane ist der ungeheure Complex in sieben Arbeitsgebiete eingetheilt worden: 1. Das Felsengebirge, 2. die grossen abflusslosen Becken (Great Basin), 3. das pacifische Küstenland, 4. und 5. das nord- und südappalachische System, 6. und 7. das nördliche und südliche Mississippi-Becken. Vorerst ist die Hauptthätigkeit in Verfolgung der bis nun gewonnenen Resultate im Westen entfaltet worden, im Osten wurden Aufnahmen in den südlichen Appalachen vorgenommen.

Mit dieser Centralisation ist vor Allem eine einheitliche Darstellung ermöglicht, was von nicht genug zu preisendem Werthe ist.

Wir wollen uns nun aber vorerst nach Westen begeben, nachdem „fernen“ oder dem „grossen“ Westen, wie die Amerikaner zu sagen pflegen, und wollen die eine und andere reife Frucht der Aufnahmsthätigkeit im Verlaufe des letzten Jahrzehntes, und zwar ganz besonders im Coloradogebiete in Betracht ziehen. Ich will einerseits Ihre Aufmerksamkeit lenken

auf zwei hochinteressante Gebirgsbildungsformen, sodann auf das in mancher Beziehung grossartigste Drainagesystem, das wir kennen: das des Colorado, im Gegensatz zu benachbarten, der Entwässerung entbehrenden ausgedehnten Gebieten, und endlich möchte ich auf die interessanten Ergebnisse der Erforschung des in der Vorzeit vereist gewesenen Theiles der Vereinigten Staaten und auf die grossen ehemaligen Seebecken verweisen und erstere mit europäischen Verhältnissen vergleichen. Ob die Zeit ausreichen wird, ist die Frage, noch fraglicher aber ist, ob Ihre Geduld ausreichend sein wird, mir so weit zu folgen. Ich werde mich bemühen, kurz zu sein.

Zwei grosse Gebirgssysteme (man vergleiche eine Karte) ziehen, ein ungeheures, im Allgemeinen beckenartig vertieftes, zum grossen Theil abflussloses und daher zur Wüstenbildung geneigtes Gebiet (Great Basin) zwischen sich fassend, von Nord nach Süd: das Felsengebirge (Rocky Mountains) im Osten, das pacifische Doppelsystem (Sierra Nevada — Cascadengebirge und die Küstenkette) im Westen. Aus Hayden's grossem Werke über Colorado (1877) können wir uns Vorstellungen über den Bau des gewaltigen Felsengebirges verschaffen. Mächtige und breite Höhenzüge, aus uralten Gesteinen gebildet, wie sie in den Centralmassen unserer Alpen auftreten, reihen sich von Süd nach Nord aneinander: zu äusserst im Osten die Sangre de Christo-Kette, an die sich die Front- oder Coloradokette schliesst. Fast parallel dazu verlaufen die Sawatch-

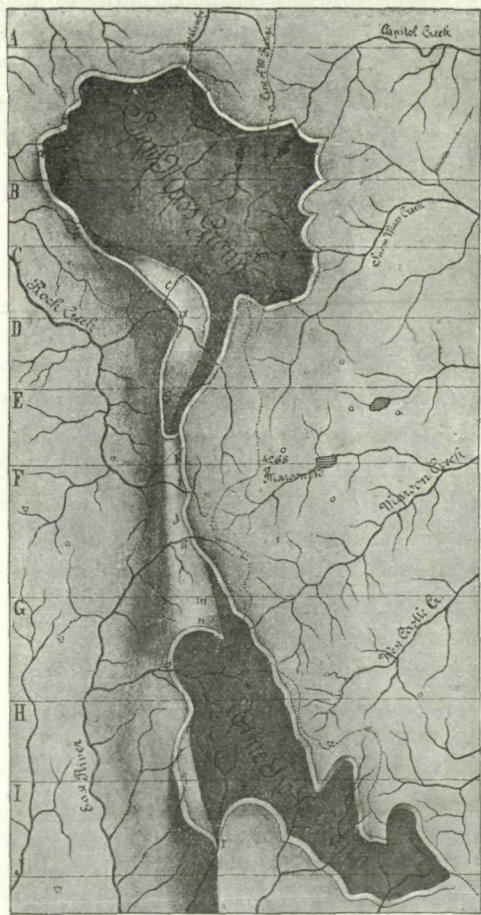
und Parkkette. Alle sind süd-nördlich gerichtet, mit der Neigung, gegen Nord-west umzubiegen. Diese Umbiegung gegen West ist am schärfsten weiter nördlich ausgeprägt, wo die Laramiekette, ein Sattel mit recht übereinstimmend gebauten Flügeln, direct westwärts gegen die Windriverkette umbiegt. Einen entgegengesetzten Bogen, mit der Convexseite nach Süd-ost gekehrt, bildet die gleichfalls symmetrischen Bau besitzende halbmondförmig gekrümmte Bighornkette.

Doch diese Tendenz nach Westen auszuweichen zeigt kein Gebirge schöner als das Uintagebirge, dessen hochinteressanten Bau uns Powell und Clarence King auf das Vollkommenste enthüllt haben.

Eindurch die Aufnahmsergebnisse (W.H. Holmes) überaus interessantes Gebirgsglied bilden auch die Elk Mountains (Fig. 2 und 3), eine von Süd-ost nach Nord-west ziehende Gebirgsfalte — die sich an die krystallinische Masse der Sawatchkette innig anschmiegt, so dass man sie als an dieselbe angepresst betrachten muss — von so überaus wohl erkanntem Bau, dass die hier beigefügte schematisirte Darstellung geradezu als ein sprechendes Beispiel gelten kann für das bei geologischen Aufnahmen anzustrebende Schlussergebniss.

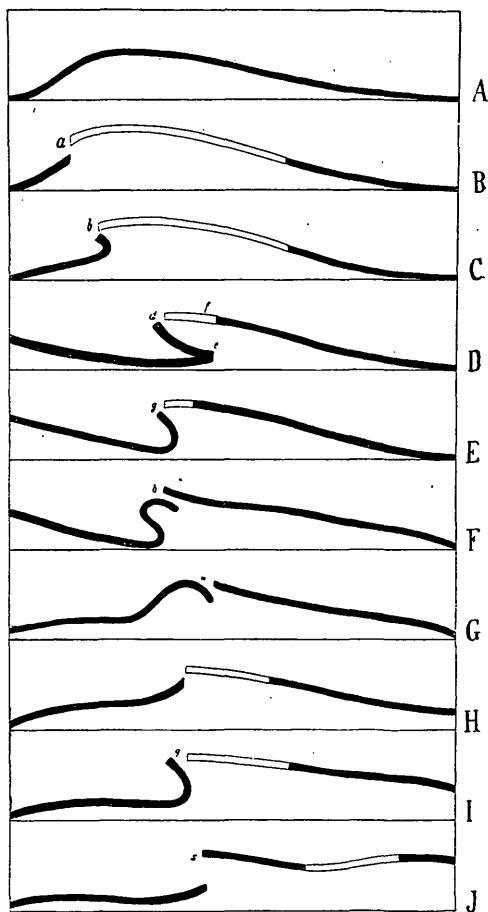
Die Elk Mountains bilden keine continuirliche Kette, sondern bestehen aus einer Anzahl von aneinander gereihten Berggruppen und isolirten Gipfeln mit ganz ansehnlichen Höhen. Die nördlichste Spitze der Sopris Peak steigt bis zu 3953 Meter, die Capitolspitze (in der Snow Massgruppe) auf 4261 Meter, der White

Fig. 2.



Die Falte der Elk Mountains (nach Holmes).

Fig. 3.



Querschnitte durch die Elk Mountains (nach Holmes).

Rock Peak auf 4221 Meter in der gleichnamigen Gruppe. Die genannten Spitzen liegen in den drei kleinen Gebieten granitischer Kernmassen, die höchste Spitze aber, der Castle Peak mit 4301 Meter, liegt im Gebiete der sedimentären Hüllen. Freilich wirken diese den Alpengipfelhöhen gleichen absoluten Höhen bei Weitem nicht so wie in den Alpen, da die Berge auf den 2400 Meter und darüber hohen Plateaus aufgesetzt erscheinen, ihre relativen Höhen also 2000 Meter nur wenig übersteigen. Das etwa 2000 Quadratkilometer einnehmende Gebirge liegt im Gebiete des Grand-Gunison- und White River (Nebenflüsse des oberen Colorado oder des Green River). Der Gunison drainirt den südlichen, der Grand River den nördlichen Theil des Gebirges.

Die drei genannten Berggruppen bilden entblösste Partien der krystallinischen eruptiven Achsengesteine, wahre Granitstöcke, welche hervortreten aus einer sattelartig (antiklinal) gefalteten Hülle von sedimentären Bildungen, und zwar altpaläozoischen Quarziten (120—180 Meter), Kalken, Sandsteinen, Conglomeraten und Schiefern der Carbonformation (600—1200 Meter mächtig), die weiter überlagert werden von rothen Sandsteinen (Dyas oder Trias, 300—750 Meter mächtig). Darüber treten in Mulden (Synklinalen) an beiden Flanken des Gebirges 150—250 Meter mächtige Mergel-, Sand- und Kalklagen des Jura und (450—900 Meter mächtige) Schiefer der Kreide auf.

Im äussersten Norden ist diese Hülle im Zusammenhange geblieben und einfach flach geneigt, weiter

südlich in der Snow Massgruppe ist sie auf der Höhe abgetragen und lässt den Granit zu Tage treten. Schon hier zeigt sich deutlich eine Schichtenknickung und förmliches Umkippen am Westrande der Masse, was so weit geht, dass im mittleren Theile des Gebietes die gebrochenen Ränder der Sattelwölbung sich übereinander legen, ja sogar Einklemmungen von Theilen des Sedimentmantels zu verfolgen sind. Noch weiter südlich klappt der Sattel wieder und es tritt die White Rockmasse hervor, eingefasst von den zum Theil gelappt, zum Theil förmlich nach West umgelegt erscheinenden Sedimenthüllen. Bau und Erklärung der Ursache der Erscheinungsformen dieses Baues werden bei Betrachtung der bildlichen Darstellungen ohne weiters sofort verständlich sein.

Ihre ganz besondere Aufmerksamkeit möchte ich jedoch auch auf die Uinta Mountains lenken. Das Uintagebirge, gewiss eines der merkwürdigeren unserer Erde, zieht unter dem 41.⁰ nördlicher Breite ziemlich genau, einen leicht gegen Nord convexen Bogen bildend, von West nach Ost, über einer zwischen 1800 und 2100 Meter hohen Basis bis zu einer Meereshöhe von 4114 Meter (Hayden's Peak) im äussersten Westen ansteigend. Die grösste relative Höhe beträgt somit auch hier nur wenig über 2000 Meter. Gegen Osten nehmen die Gipfelhöhen allmähig ab bis auf 2600 Meter. Es bildet einen breiten und flachen Rücken, der einen mächtigen, breiten Kern aus paläozoischen Sandsteinen und sandigen Schiefern (Uinta-

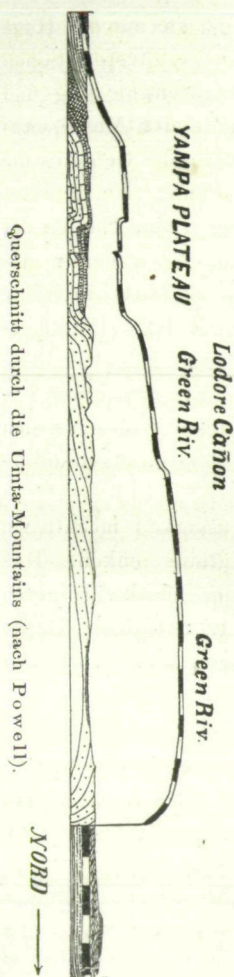


Fig. 4.

gruppe) besitzt (Fig. 4), ein flaches Gewölbe bildend, das an seiner Nordflanke durch einen mit der Achse im allgemeinen parallel verlaufenden Riss gestört ist, so zwar, dass der eine nördlich davon gelegene Flügeltheil in ungeheure Tiefe abgesunken ist, die local nach Powell über 6000 Meter beträgt.

Sie werden mich fragen, wieso diese Höhe bestimmt werden kann?

Sie ergibt sich vor Allem aus den ermittelten Mächtigkeiten der übereinander folgenden Gesteinsschichten. An diesem Bruche liegen nämlich an die Kerngesteine unmittelbar angrenzend Gesteinsbildungen, welche im Süden erst über einer sehr mächtigen Schichtenreihe folgen, die der Steinkohlenformation, dem Jura und der Kreideformation angehören und über den heutigen Gebirgsrücken hinweg mit jenem versunkenen Flügel

in Verbindung gestanden haben mögen. Powell hat es versucht, auf Grund der von ihm gemachten Wahrnehmungen das Gebirge so zu reconstituieren, dass man eine Vorstellung von dessen Höhe und Form erhält, unter Annahme, dass jenes Verhältniss thatsächlich bestand, und wir würden dadurch zu der wichtigen Annahme geführt, dass damals das ungeheure Gewölbe sich bis zu 8600 Meter Höhe über das heutige Oberflächenrelief erhob, eine Höhe, welche der Meereshöhe des Himalaya gleichkommen würde. Dies führt aber zu dem weiteren Schlusse, dass diese ganze geradezu ungeheure Masse — sie beträgt nicht weniger als rund 40.000 Cubikkilometer oder 10.000 englische Cubikmeilen — im Laufe der Zeit abgetragen worden sei.

So gross diese Masse erscheint, so verschwindet sie freilich förmlich anderen Abtragsmassen gegenüber, die wir bald erörtern werden. Die erwähnte Bruchlinie ist selbstredend nicht die einzige Störung in diesem Gebirge: wir haben im nördlichen Theile auf eine kürzere Strecke eine locale Vertretung der einen grossen durch zwei kleinere, wir erkennen aus Powell's „Stereogramm“ aber auch Schichtenbiegungen südwärts von dem grossen Gewölbe, so dass hier eine Strecke weit eine Mulde (Synklinale) eingeschaltet erscheint. Ja diese Zusammenpressung zur Mulde hat auf eine grössere Strecke hin sogar zu einem südlichen Abbruchegeführt, einer südlichen Verwerfung („Fault“), der Yampaverwerfung, indem eine Trennung des Zusammenhanges in einer Sprunghöhe von beiläufig

1100 Meter eintrat, neben welcher wieder südwärts eine Sattelbildung, das Yampaplateau bildend, resultierte.

Vergleicht man die Gebirgsglieder des Uintagebirges, so erkennt man klar, dass dasselbe, wenn es auch im Westen so ziemlich unvermittelt an die im Allgemeinen wieder nordsüdverlaufenden Ketten des Wasatchgebirges abzustossen scheint, nach Südosten hin mit dem Sawatchgebirge in Verbindung gebracht und somit an die Ostkette des Felsengebirges ähnlich so angegliedert werden kann, wie die oben erwähnte Bogenbildung der Laramie-Windriverketten.

Die auffallendste Erscheinung in diesem Gebiete haben wir übrigens erst zu besprechen; es ist dies der merkwürdige Verlauf des Green River, des westlichen Quellflusses des Colorado, quer durch das wie eine gewaltige westöstliche Gebirgswelle verlaufende Gebirge.

Der Fluss tritt heute in einer Meereshöhe von 1774 Meter in das Gebirge, und zwar im Westen, dort, wo nördlich von der hier weniger beträchtlichen Hauptverwerfung der nördliche Flügel der grossen Sattel- oder Gewölbebildung auf das Beste zu verfolgen ist.

Er wendet sich im Red Cañon, einer Schlucht mit stellenweise 500 Meter hohen Steilufern, nach Ost, fliesst parallel mit dem Gebirgsverlaufe im Streichen des Gebirges, um dann in dem herrlichen (in der Luftlinie) 28 Kilometer langen Cañon von Lodore das Gebirge quer zu durchbrechen und bei der Einmündung des aus Ost kommenden Yampa Rivers, gegen West und Westsüdwest umbiegend, auf viel gewundenem, ab-

wechslungsreichen Laufe den Südflügel des Gebirges zu passiren.

Abgesehen von dem früher erwähnten allgemeinen Abtrag hat sich also der Fluss eine enge Rinne quer durch ein Gebirge hindurch ausgenagt, welche in den Querstrecken (Nordsüdlaufstücken) etwa 700—1100 Meter tief unterhalb der heutigen, allgemeinen, mittleren Gebirgsoberfläche liegt.

Sein Thal ist ein wahres Durchbruchsthal. Wenn wir einen Vergleich auf heimischer Erde geben sollten, könnten wir auf das grandioseste Laufstück der Donau zwischen Bazias und Orsova hinweisen.

Die Erklärung der Entstehung solcher Durchbruchsthäler bereitet viele Schwierigkeiten, und es darf uns nicht wundern, dass auch für den Green River-Durchbruch durch das Uintagebirge zwei verschiedene Ansichten ausgesprochen wurden. Powell sprach seine Meinung dahin aus, dass der Flusslauf schon vor der Existenz des Uintagebirges bestanden habe und dass der Fluss in seiner auswaschenden (erodirenden) Arbeit mit dem überaus langsam sich vollziehenden allmäligen Ansteigen des Gebirges Schritt gehalten habe. Es ist dies eine Ansicht, welche von Dr. Tietze unabhängig von Powell ausgesprochen und unter Anderem auch für die untere Donau — wo beiläufig bemerkt die Verhältnisse noch schwieriger zu deuten sind als beim Green River — in Anwendung gebracht wurde. Der Fluss wird in seiner Einwirkung auf das sich hebende Gebirge mit der Arbeit einer Säge verglichen, welche

an derselben Stelle auf- und niedergehend den heranrückenden Block entzweischneidet.

Eine von Powell's Meinung abweichende Darlegung finden wir in King's grossem, oben angeführten Werke (40. Parallel). S. F. Emmons hat darin in seinem Berichte über das Green River-Becken (1877) die Erklärung der Entstehung dieses Durchbruchsthal's auf einem ganz anderen Wege zu geben gesucht, indem er von der Annahme ausging, der Green River habe seinen Weg quer durch das Gebirge zu einer Zeit genommen, als dieses noch unter einer jüngeren allgemeinen Decke verborgen lag und die Oberflächenverhältnisse ganz andere waren als heute und die Thalzüge hoch über den heutigen verliefen. Diese jüngere Decke sei im Laufe der Zeit bis auf wenige Spuren abgetragen (denudirt) worden, der Fluss aber habe auf diese Weise allmählig sich eingraben, seine ursprünglich vorgezeichnete Richtung aber im Grossen und Ganzen beibehalten können. Ich kann diese beiden Meinungen bei dieser Gelegenheit nur ganz kurz erwähnen, sie im Detail gegen einander abzuwägen würde viel zu weit über die zur Verfügung stehende Zeit hinausgreifen, und so verführerisch die Frage ist, ebenso schwierig würde es sein, zu einer sicheren Lösung zu gelangen. So viel sei noch erwähnt, dass neben diesen beiden Hypothesen noch eine dritte ältere Vorstellung über die Entstehung der Querthäler (neuerlich durch Dr. Löwl in Prag weiter ausgeführt) besteht, wonach wir uns den Fluss nach rückwärts, d. h.

quellenwärts sich tiefer und tiefer einschneidend vorstellen müssen, eine Vorstellung, die durch viele tatsächliche Vorgänge in allen unseren Flussgebieten unterstützt wird und die eben nur Schwierigkeiten dort begegnet, wo ein mächtigerer Querriegel tief und vollkommen quer durchfurcht vorliegt.

Nach einer neuesten Erörterung in v. Richt-hofen's Führer für Forschungsreisende (Berlin 1886) werden für die Querthäler des Himalaya alle drei Theorien abgewogen und schliesslich die Möglichkeit einer Verknüpfung aller drei Hypothesen angedeutet.

Die Engthäler und Schluchten des Green River im Uintadurchbruche führen uns nun so recht an die auffallendste, ja geradezu wunderbarste Thalbildung des amerikanischen Continentes und der bekannten Erde überhaupt, in das Gebiet der Colorado-Cañons. Als Cañons (spanisch Röhre) bezeichnen wir heute die engen, von steilgeböschten bis vertical aufstrebenden Uferwänden begrenzten, in mancher Beziehung an die „Klammern“ unserer Alpen erinnernden Thalschluchten in den Plateauländern des nordamerikanischen Westen.

Im Süden und Südwesten der Uinta Mountains und der Wahsatchkette beginnen weit ausgedehnte Hochebenen, von welchen uns in erster Linie die Plateaux am Colorado und in den Territorien Utah und Arizona näher interessiren werden. Westlich schliesst sich aber an die Wahsatch ein wüstes Beckengebiet an,

das bis an die Sierra Nevada reicht, ein weniger hochgelegenes Plateauland, aus welchem sich zahlreiche parallele, meridional verlaufende Faltenzüge von geringer Längenerstreckung erheben: das „Great Basin“ mit den „Basin-Ranges“, den Staat Nevada und einen grossen Theil von Südcalifornien einnehmend.

Ans märchenhafte grenzten die ersten Mittheilungen, welche aus dem fernen Westen der Vereinigten Staaten über die Wunder am Ober- und Mittellaufe des Colorado erzählt wurden. Sie wurden wohl auch wenig geglaubt. Ein spanischer Missionär Escalante war der erste Weisse, der im Jahre 1776 bis an den Colorado vordrang. Später gelangten wohl nur Pelzjäger und Goldgräber dahin. Es waren gemiedene Gebiete und auch die abergläubischen Rothhäute wollten nichts in den dunklen Schlünden zu thun haben. Eine der ersten Schilderungen über die Colorado-Cañons hat Balduin Möllhausen (Berlin 1858) gegeben, der als Mitglied der Lieutenant Ives'schen Expedition auf einem Dampfer bis an den südlichen Ausgang der Cañons gelangte, in welche mit dem Schiffe vorzudringen unmöglich war, weshalb man eine Ueberlandreise zum kleinen Colorado antrat und dabei Einblicke gewann in die grandiosen Thalwege.

„Was,“ so schreibt Möllhausen, „von der schwindelnden Höhe gesehen vor dem bewundernden Auge liegt, das vermögen Worte nicht genügend zu schildern; wie ein Chaos verschwimmen ineinander tiefe Schluchten und abgesondert stehende kasten-

förmige Ueberreste des Hochlandes; über das trockene, ziegelrothe Sandsteinbett in der Tiefe thürmen sich Tausende von Fuss über einander die Formationen verschiedener Epochen, deutlich erkennbar an den grellen Farbencontrasten; senkrecht stehen die Wände, als ob die geringste Erschütterung sie hinabzustürzen vermöchte; man bebt bei solchem Anblicke und tritt unwillkürlich zurück von dem Abgrunde; wohin man auch das Auge wenden mag, überall trifft es auf nacktes todttes Gestein, überall scheinen die Uferränder von entfernteren, tieferen Schluchten aufzutauchen, dem forschenden Reisenden ein gebieterisches Halt zurufend, zugleich aber auch eine schwache Ahnung von der Unendlichkeit erweckend bei dem Gedanken: dass der fallende Tropfen die Schlünde bildete, die ihn von allen Seiten angähnen.“

Werfen wir einen Blick auf das bewunderungswürdige Bild, welches William H. Holmes vom Point Sublime aus aufgenommen hat, von der Höhe einer bastionenartig aufragenden, auf drei Seiten von Schluchten wie von gigantischen Wallgräben umfassten, aus dem Plateau förmlich herausgeschnitten erscheinenden Felstafelmasse. Das Wirrsal der scharf profilirten und terrassirten Schluchten könnte nicht überzeugender zur Darstellung gebracht werden; wir können uns eine Vorstellung von den überwältigenden Eindrücken machen, welche von den Wenigen empfunden wurden, denen es gegönnt war, dieses Schluchtenlabyrinth zu schauen.

Von hier aus überblickt man den Grand Cañon auf eine Länge von etwa 40 Kilometer. Westwärts sieht man im Hintergrunde noch kuppige vulcanische Berge auf der Höhe des Uinkaretplateaus, desgleichen im Süden die Basalt- und Trachytgebirge von Arizona.

Alles näher gelegene ist Schluchtenterrain: eine Unmasse von Objecten in enormen Dimensionen und majestätischen Formen, und trotz der vielen Uebereinstimmungen in den übereinander auftretenden, die Hänge und Steilwände bildenden Schichtgebilden von einer unglaublichen Mannigfaltigkeit in den Details!

Vor Allem überwältigend wirkt die grandiose Mauer, mit der das Coloradoplateau gegen den Fluss hin abstürzt mit einer Höhe von etwa 1600 Meter, mit unzähligen strebepfeiler-, palissaden- und thurmformigen Vorsprüngen, welche amphitheatralische Räume zwischen sich fassen. Im ganzen weiten Bilde erblickt man nur an einer einzigen Stelle tief unten den Flussspiegel, und zwar nur auf eine Strecke von etwa 800 Meter: ein trüb braunroth gefärbtes, glanzloses Gewässer. An dieser Stelle treten auch die ältesten Gesteinsbildungen, das tiefste innerste Glied der ganzen so ungeheuer mächtigen Reihe auf. Es sind archaische Gesteine und hier speciell ist es Granit, über den sich dann die paläozoischen (silurischen und carbonen) Sandsteine und Kalke, vor Allem die die Hauptmasse der inneren, unteren Schluchtenwände bildenden grellrothen und braunrothen Gesteine des unteren Steinkohlengebirges

(„Redwall-Gruppe“) unconform über den älteren Bildungen lagern¹⁾. (Man vergleiche Fig. 6.)

Am linken Ufer des Colorado sind das Charakteristische die majestätischen, nach oben sich verjüngenden, zum Theil pyramidenähnlichen, aber steiler ansteigenden, zum Theil mit thurmformigen Abschlüssen gekrönten Berge, die im östlichen Theile des Grand Cañon zu Dutzenden aufragen. Sie werden von den Amerikanern mit Vorliebe „Tempelberge“ genannt. Einer der grossartigsten unter ihnen, am oberen Eingange in den Grand Cañon gelegen, trug den Namen Tempel des Vischnu. Die schönsten dieser Tempelberge liegen übrigens im Westen im Virgenthale, wo sie ihrer geradezu unglaublich grellen, schichtenweise verschiedenen braunrothen, orangen und gelben Färbung wegen berühmt sind.

Noch 1873 finden wir auf den geographischen Karten der südwestlichen Territorien den Verlauf der Thäler vielfach und auf ganz beträchtliche Strecken hin punktirt verzeichnet. Wiederholt hatten zwar, wie gesagt, Forschungsreisende an der einen oder anderen Stelle der Abgrundränder gestanden, der Charakter und Verlauf des Stromweges, die Natur seiner Ufer, der geologische Aufbau seiner unvergleichlichen Felsmauern blieben auf weite Strecken hin ganz und gar unbekannt.

¹⁾ Eine verkleinerte Copie der grossen Cañondarstellung findet sich auch den vom Vortragenden verfassten Begleitworten des Cañonbildes der bei Hölzel (Wien 1886) erschienenen geographischen Charakterbilder beigegeben.

Der Erste, der auf einer Fahrt, die ihresgleichen sucht, den Fluss vom Unterlaufe des Grand River bis an den Rio Virgen im Westen, der Endstation der Coloradodampfer, durchmass, war ein amerikanischer Goldsucher, James White. Mit zwei Genossen (im August 1867) auf der Flucht vor einem Indianerstamme, überliess er sich, nachdem einer der Gefährten im Kampfe gefallen war, auf einem roh zusammengefügtten Flosse den Fluthen. Vier Tage lang ging es ohne Unfall zwischen zumeist vertical ansteigenden, immer höher werdenden Ufermauern dahin. An der ersten grösseren Stromschnelle verlor White seinen letzten Genossen und alle seine Vorräthe und nur mit Noth entging er selbst dem wiederholt drohenden Tode. Auf nothdürftig wieder zusammengefügttem Flosse setzte er die schauerliche Fahrt durch alle die unzähligen Windungen, über alle die schäumenden und wirbelnden Cataacte fort, immer an der Hoffnung festhaltend, er müsse endlich doch dem entsetzlichen Gefängnisse entrinnen, dessen glatte Felsmauern (er schätzte ihre Höhe freilich zu niedrig im Mittel auf etwa 1000 Meter) ein Entrinnen nach rechts oder links vollkommen ausschlossen. White schildert ihr Zurücktreteten auf halber Höhe, ihren zackig vielförmigen Rand ganz richtig und führte auch an, dass 10—12 Meter über dem Spiegel des damaligen niedrigen Wasserstandes Hochwasserspuren zu verfolgen seien. Deutlich bemerkte er auch das Auftreten der dunklen Basalte im unteren Laufstücke. Vierzehn Tage nach Beginn der Fahrt

erreichte er endlich, an Geist und Körper zerrüttet, Calleville, wo er sich jedoch, dank seiner unverwüstlichen Natur, verhältnissmässig rasch wieder erholte.

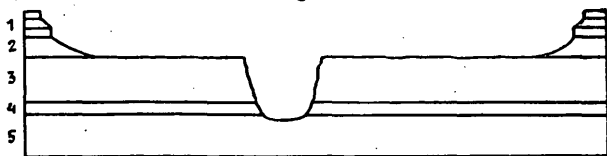
Damit war der Beweis erbracht, dass eine Fahrt durch die Schluchten bei günstigem Wasserstande auch von wissenschaftlich arbeitenden, unternehmen den Männern ausgeführt werden könnte, und schon im Jahre 1869 schiffte sich der jetzige verdienstvolle Director der geologischen Landesanstalt, J. W. Powell, auf vier Booten auf dem Green River (bei Green River City) ein, um in vier Monaten, unermüdlich arbeitend, die ganze grosse Cañonreihe zu durchfahren.¹⁾ Am grossartigsten ist der Charakter der Schluchten in dem schon erwähnten Grand Cañon, der eine Gesamtlänge von 370 Kilometern (fast so weit wie auf der Donau von Passau bis Pressburg) besitzt und eine Tiefe bis zu 1500, ja an seiner tiefsten Stelle selbst über 1800 Meter erreicht. (Man vergleiche das Titelbild.)

Der ganze geologische Bau des Terrains ist im Grossen überaus einfach. Der Hauptstrom hat sich hier in ein System zum grossen Theil fast genau horizontaler Schichten eingegraben, und zwar in zwei überaus scharf markirten Absätzen. Oben nehmen wir

¹⁾ Der erste epochemachende Bericht Powell's über seine Reisen im Cañongebiete in den Jahren 1869—1872 erschien Washington 1875. Neuere grosse Publicationen über dieses Gebiet erschienen von Clarence E. Dutton im Jahre 1882. Diesen Werken sind die zur Ansicht gebrachten bildlichen Darstellungen entnommen worden.

eine sehr weite Furche mit fast ebener Grundfläche wahr (Fig. 5). Fast genau mitten in dieser breiten Thalfäche ist dann erst eine viel engere und weit tiefere Schlucht, der eigentliche Cañon eingeschnitten, ein Thal unter dem Thale wäre man geneigt zu sagen.

Fig. 5.



Querschnitt durch den Grand Cañon.

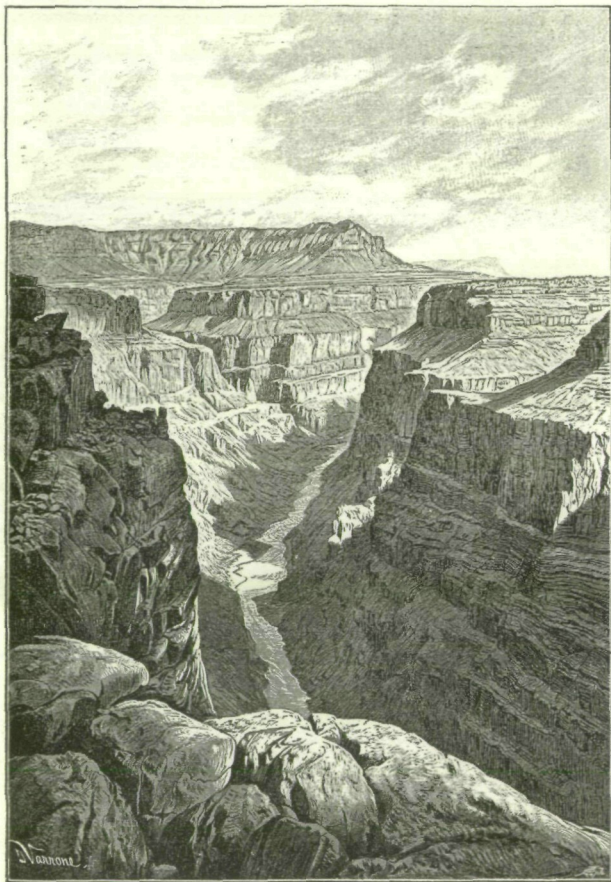
(In natürlichen Verhältnissen.)

- | | | |
|-------------------------|----------|---------------|
| 1. Ober- | } Aubrey | 3. Redwall. |
| 2. Unter- | | = Ob.-Carbon. |
| 5. Silur und Archäisch. | | |

(Nach Powell.)

Die obere breite Thalfäche hat eine Weite von circa 8 Kilometern und ist von Steilgehängen mit etwa 600 Meter Höhe begrenzt, die untere enge Furche hat dagegen eine Tiefe bis über 900 Meter, mit terrassirten, zu oberst etwa 1000—1200 Meter von einander abstehenden Rändern. Unser Bild (Fig. 6, nach einer Heliotypie in Dutton's Cañonwerk) versetzt uns an den oberen Rand des inneren Schlundes am Ostfuss des Toroweap. Wir stehen 900 Meter hoch über dem Flussniveau. Im äussersten Hintergrunde erkennen wir noch die viel durchfurchten Abhänge des vom Colorado und seinen wenigen Zuflüssen am rechten Ufer durch-

Fig. 6.



Blick in den inneren Schlund des Grand Cañon.
Nach einer Heliotypie.

furchten Plateaulandes (das Kaibabplateau). Auch das Kanabplateau können wir recht wohl verfolgen.

Ständen wir am oberen Plateaurande, so würden wir vom Flusspiegel nichts sehen können, ja würden wir nur etwas von diesem Rande zurücktreten, so sähen wir wohl die Einschnitte im oberen Thalboden als Unterbrechungen des Zusammenhanges der Thalebene, von der Existenz der grandiosen Abgründe, mehr als sechs Stefansthurmhöhen gleichkommend, hätten wir eben nur eine Spur vor uns. Wir könnten denken, es sei nur ein unbedeutender Thalriss. In den bildlichen Darstellungen — und die Amerikaner sind gross in dieser Art der Darstellung — können wir dies vielfach sehen. Wieder anders ist das Bild von Vulkan's Thron aus nach Osten blickend. (Man vergleiche das Cañonbild in der erwähnten bei Hölzel erschienenen Serie geographischer Charakterbilder, Wien 1886.) Von hier aus — wir stehen auf der Spitze eines Kegels aus vulcanischem Gestein — sehen wir beide Thalfurchen und in der Tiefe der inneren den Spiegel des Colorado.

Zu den auffallendsten Charakterzügen der Cañonschluchten gehört die schon betonte scharfe Profilierung, die scharfen Ränder und Wandkanten. Die Wände der oberen Thalweitung bestehen zu oberst aus Kalken, unter welchen in sanfterer Böschung dünngeschichtete, intensiv rothe Sandsteine folgen, die freilich zum weit- aus grösseren Theile unter einer Unmasse von Schutt verborgen liegen. Die betreffenden Gesteine sind dem

geologischen Alter nach Aequivalente der oberen Steinkohlenformation.

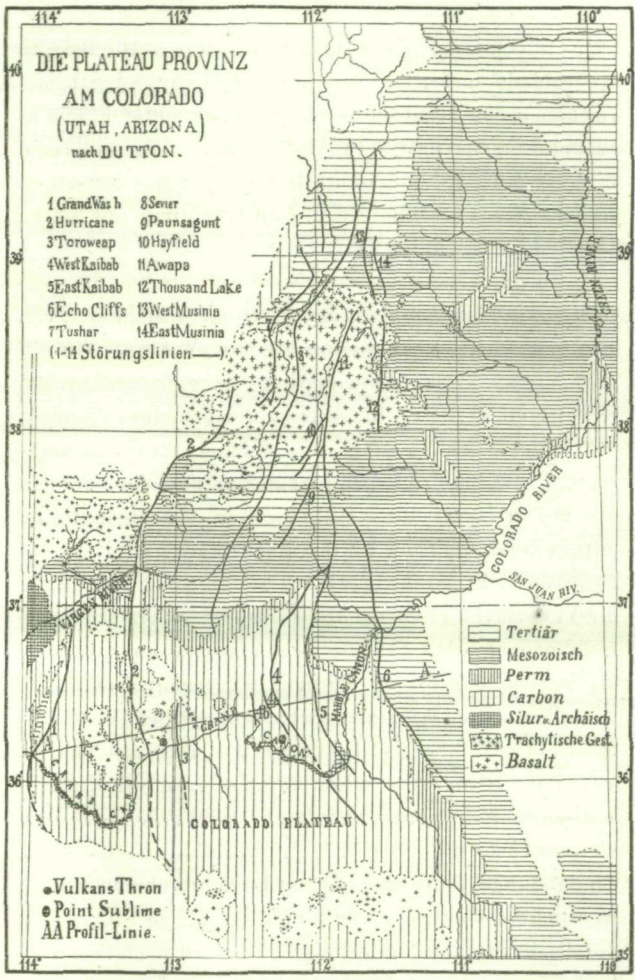
Diese Carbonegesteine nehmen im südlichen Theile der Plateauregion einen weiten Raum ein und nur stellenweise treten etwas jüngere („Perm“) Gesteine als Ueberlagerung auf, lappenartige Ueberreste einer früher allgemeinen Decke. (Man vergleiche Fig. 7.)

Im Norden folgen über dem Carbon das Perm in weiter Verbreitung und ebenfalls in allgemein horizontaler Auflagerung Trias, Jura und Kreide. Alle Ablagerungen bis zur Kreide sind echt marinen Ursprunges, Absätze in Meeren der aufeinanderfolgenden geologischen Zeiträume entstanden. Die Kreide dagegen entstand in einem ausgesüsten Binnenmeere, dessen Absätze bis zu 600 Meter Mächtigkeit erreichen und werden zum Theil auch als Uebergangsgebilde zwischen Kreide und Alttertiär betrachtet („Laramieformation“).

Die jüngsten Sedimente der Plateauprovinz sind alttertiären Alters und entstanden in ausgedehnten Süßwasserseen. Das Meer ist seit Schluss der Juraformation im Rückzuge begriffen und seither nicht wieder in diese Centralregionen Nordamerikas vorgedrungen.

In der jüngeren Tertiärzeit haben im Gebiete der Plateaus ganz grossartige Durchbrüche geschmolzener Gesteinsmassen stattgefunden, Eruptionen von gewaltiger Massenhaftigkeit. Die betreffenden Gesteine sind im südlichen Theile vorherrschend Basalte, während im Norden dagegen Gesteine trachytischer Natur ver-

Fig. 7.



Störungslinien der Hochplateaus von Utah und Arizona.
(Nach Dutton.)

breiteter sind und grosse Räume einnehmen. Die Basalte des Südens bilden ausgedehnte Decken und Ströme. Decken bis zu 4000—5000 Quadratkilometer Flächenausdehnung und darüber finden wir am Coloradoplateau. Trachytische, steilgeböschte Berge ragen aus denselben empor, wie wir schon vom Point Sublime aus sehen konnten.

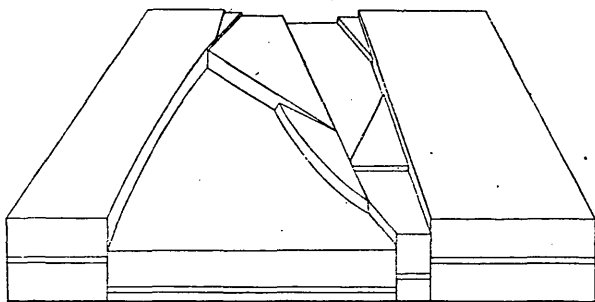
Zu den schönsten vulcanischen Bildungen unseres Gebietes gehören wohl die Basaltströme, welche wir, von dem erwähnten Aussichtspunkte auf „Vulkan's Thron“ nach Norden in das Toroweapthal schauend, in mehreren gewaltigen Ergüssen hintereinander erkennen können.

Wir sehen sie über die Gehänge des Uinkaretplateau in das weite Thal hinabziehen, nachdem sie sich, den auf den Plateauhöhen gelegenen Ausbruchsstellen entquellend, über die Plateauflächen ausgebreitet. Sie ergossen sich durch die Hangrisse so, wie sich heute die Vesuvlaven etwa aus der Fossa Vetrana heraus- und hinabwälzen. Die Ströme liegen vor unseren Augen, als wären sie ganz vor Kurzem hervorgequollen.

Betrachten wir uns die Thalgehänge des Toroweapthales etwas näher, so erkennen wir, dass das Thal in seiner heutigen Form schon damals vorlag, als die vulcanischen Eruptionen erfolgten, wir erkennen aber weiters, dass dieselben Schichtengebilde am östlichen Thalgehänge eine viel höhere Lage annehmen als am westlichen, woraus wir auf eine gewaltige Störung in der Richtung des Thales, also von Nord nach Süd verlaufend, schliessen müssen: der eine Theil hat sich von

dem anderen getrennt und ist in verticaler Richtung verschoben worden, entweder im Osten emporgestiegen oder, was vielleicht leichter verständlich wäre, im Westen hinabgesunken. Die amerikanischen Geologen nennen solche Störungen „Faults“.

Fig. 8.



Stereogramm eines Theiles der „Musina Zone“ in Utah
nach Gilbert und Powell.

(Störungsgebiet zwischen den Störungslinien 13 und 14 auf Fig. 7.)

Solche Störungslinien konnten in der Plateauregion in sehr grosser Anzahl und zum Theil in ungeheurer Längenerstreckung — bis zu 300 Kilometer Länge und darüber — nachgewiesen werden, sie bilden ein im Allgemeinen von Nord nach Süd verlaufendes System von Brüchen, Verschiebungen (Verwerfungen) und einseitigen Schichtenbiegungen und Zerrungen der Schichten, was die Amerikaner wieder als monoclinale Flexuren oder kurzweg als „Flexuren“ bezeichnen. — (Man vergleiche die vorstehende Abbildung Fig. 7, Voll-

bild, welche auch die eigenartigen Gabelungen, nach alter Bergmannsbezeichnung Schaarungen der Störungslinien, ja das ruthenartige Auseinanderstrahlen, die „Virgation“ derselben erkennen lassen.)

Die ganze ungeheure Tafel erscheint sonach in einzelne Schollen zerstückt, zertrümmert, welche in mannigfacher Weise gegeneinander verschoben sind, wie dies die dem nördlicheren Theile unseres Gebietes entnommene Fig. 8 zur Darstellung bringt.

Die grösste Störung folgt dem grossen Bruche, der im Westen den Grand Cañon durchzieht und als Grand Wash bezeichnet wird.

Die grosse Depression der Beckenregion („Great Basin“) im Westen, im Maximum selbst über 1800 Meter betragend, ist eine Folge der in ungleichem Masse erfolgten Niveauveränderungen in den Tafelmassen, in Folge welcher die Triasgesteine des Westens noch tief unter die im Osten angrenzenden Carbongesteine des Sheavvitplateaus zu liegen kommen. (Man vergleiche das Profil Fig. 9 [nach AA in Fig. 7] mit einer kleinen Veränderung auf Grund der neueren Darstellungen, aus Powell's Werk vom Jahre 1875.)

An der Hurricane-Störung lässt sich deutlich das stufenförmige Abbrechen der hier ziemlich stark geneigten Schichten verfolgen.

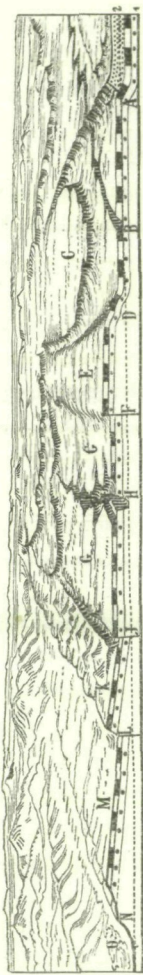
Die Vegetationslosigkeit des Landes begünstigt in hohem Grade das Studium dieser Verhältnisse.

Die Plateauregion senkt sich im Allgemeinen von Nord nach Süd, die Schichten aber lassen ein

leicht gegen Nord gerichtetes Einfallen beobachten.

Nach Dutton hätten wir anzunehmen, dass die im Norden erhalten gebliebenen jüngeren Formationen von der Trias bis zum Eocän einst gleichmässig auch über die südliche Plateauprovinz ausgebreitet gewesen seien, eine Fläche von etwa 50.000 Quadratkilometer als 1800, ja stellenweise bis 3600 Meter mächtige Hülle bedeckend. Diese ganzen Massen müssten seit dem Eocän abgetragen worden sein. Wo Decken von Basalt vorliegen, blieben die zur Zeit der Basaltergüsse vorhanden gewesenen Schichtensysteme darunter erhalten. Diesbezüglich kann angeführt werden, dass ausser den Carbonschichten nur

Fig. 9.



Querschnitt durch die Plateaus am Colorado. (Nach Powell.)

1 Meeresniveau, 2 Gefälle des Colorado, A Paria Fold und Echo Cliff's, B Marble Cañon, C Paria-Plateau, D Ost-Kaibab Fold, E Kaibab-Plateau, F West-Kaibab Fault, G Kanab-Plateau, H Kanab Cañon, J Torowcap Fault, K Uinkaret Mountains, L Hurricane Fault, M Shivwits-Plateau, N Grand Wash Fault, O Grand Wash.

noch Permgesteine unter diesen Ergüssen erhalten blieben.

Die allgemeine Abdachung des Landes müssen wir als ein Ergebniss der durch Störungen zum Vollzug gelangten Niveauveränderungen, und des auf die dadurch geschaffene Massenvertheilung einwirkenden allgemeinen Massenabtrages durch Denudation betrachten, wie wir dies ähnlich so ganz allgemein für alle Festländer annehmen müssen. Die Detailmodellirungen werden durch die regional und local verschiedengradigen Wirkungen zu erklären sein, wie sie z. B. aus den meteorologischen, petrographischen und tektonischen Verhältnissen resultiren. Das heisst, um die gewählten Beispiele zu erörtern, dort, wo die atmosphärischen Einwirkungen, etwa die Niederschlagsmengen oder die Frostwirkungen, intensivere sind, wird auch der allgemeine Abtrag um so grösser sein, ebenso dort, wo leichter zerstörbare Gesteinsarten vorliegen oder die Lagerungsverhältnisse dem Abtrag günstiger sind. Dieser allgemeine Abtrag wird in Regionen mit grösserer Gleichmässigkeit der Kräftewirkung gleichmässiger sein als dort, wo durch localisirte Verstärkung der Einwirkungen auch ein localisirtes Vorseilen der resultirenden Erscheinungen bedingt werden wird. Dies werden wir im Auge behalten müssen, wenn wir die Erscheinungen, wie sie uns in den Schluchtenzügen vor Augen treten, zu schildern versuchen wollen.

Vorerst haben wir dies bezüglich vor auszuschicken, dass über die Erklärung der Verschiedenheiten in den

Höhenlagen der einzelnen Schollen und ihrer altersgleichen Bestandmassen eine Einhelligkeit nicht besteht. Dutton ist der Meinung, es sei dies durch regional und local verschiedengradiges Emporgehobenwerden der betreffenden Schollen und Schollenzonen bedingt, er meint, dass im westlichen Beckengebiete der Betrag dieses Vorganges mit 1500—1800 Meter, in der Plateauregion aber mit nicht weniger als 3000—3600 Meter veranschlagt werden müsse.

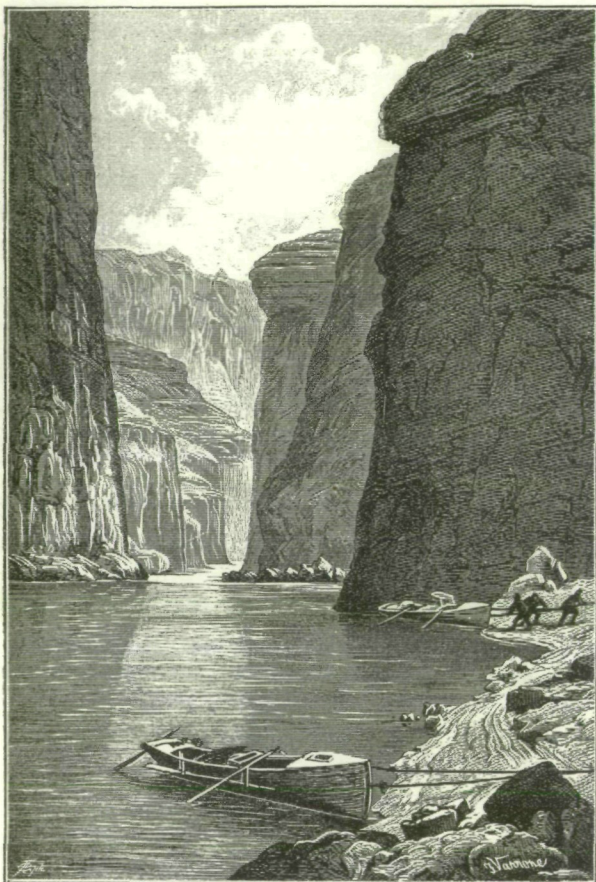
Leichter fassbar freilich erscheint, wie erwähnt, die Annahme, dass diese Verschiedenheiten in den Höhenlagen durch verschiedengradiges Absinken längs der Störungslinien bedingt worden sei, wie dies z. B. von Suess ausgesprochen wurde, der in seinem Lehrgebäude zur Annahme des allgemeinen Zusammenbruches des Erdballes geführt wurde.

Feststehend ist für uns daher nur die Thatsache der verschiedenen Höhenlage, während über die Erklärung der Thatsache noch discutirt werden kann. Es muss dabei, um Missverständnissen vorzubeugen, betont werden, dass die grossen Cañons nicht etwa den Störungslinien folgen, sondern im Gegentheile davon oft ganz unbeeinflusst, sie vielfach quer durchsetzend, verlaufen, indem sie in die Tafelmassen eingegraben sind.

Eine weitere Thatsache, die hervorgehoben zu werden verdient, ist das grosse Gefälle des Colorado überhaupt, das aber in den Cañons ganz allgemein Kataraktcharakter annimmt und auf diesen zum Theile sehr beträchtlichen Strecken — der Lodore Cañon ist 32,

der Marble Cañon (Fig. 10) 104, der Gleen Cañon 240, der Grand Cañon aber, wie gesagt, etwa 370 Kilometer lang—für den besonders in der Hochwasserperiode gewaltigen Strom ansehnliche Werthe erreicht. Es übertrifft das Gefälle, wie es beispielsweise in den Kasanschluchten an der unteren Donau, einem typischen Cañongebiete Europas (zwischen Alibeg und Orsova auf einer 88 Kilometer langen Strecke) herrscht (1:4615), um das Zwei- (Gleen und Marble Cañon im Mittel 1:2610) bis mehr als Sechsfache (Grand Cañon im Mittel 1:718) und ist theilweise (auf weite Strecken wurden Gefällsverhältnisse von 1:263, ja selbst 1:135 beobachtet) nur mit den Gefällsverhältnissen, wie sie etwa am oberen Inn (im Mittel 1:306) oder an der oberen Drau (1:212) herrschen, zu vergleichen. Dazu kommt noch, dass die Quellflüsse des Colorado in ganz bedeutenden Höhen auf den Gehängen gewaltiger Hochgebirge liegen, von wo immerhin, trotz der continentalen Lage, ansehnliche Wassermassen mit grossem Gefälle rasch in die überaus regenarme Plateauregion geführt werden. Die obere Grenze der regenlosen oder doch überaus regenarmen Gebiete liegt in etwa 2100 Meter Meereshöhe, es sind daher nur dort Zuflüsse des durch die Plateaulandschaft sich windenden Colorado möglich, wo grössere Höhen auftreten. Dadurch erklärt sich der Mangel an Zuflüssen im Plateaulande. Das Fehlen oder die Seltenheit der Niederschläge im Plateaulande erklärt aber auch die erwähnte scharfe Profilierung der Gehänge der Thalabgründe.

Fig. 10.



Im Marble Cañon. (Nach Powell.)
(760 Meter = 2500 Fuss.)

Das rasch fliessende, durch längere Zeit geradezu gewaltige Wasser des Stromes besitzt eine grosse Transportfähigkeit und wird das Schuttmaterial, stetig scheuernd, über den Grund des Bettes hinführen und so sich immer tiefer in das Gebirge einnagen. Da der Abtrag von den Wänden und Gehängen, wie er in regenreichen Ländern unablässig erfolgt, in unserem Gebiete so überaus geringfügig ist, so erklärt sich auch die Bildung der auf weite Strecken verticalen, ja selbst überhängenden Wände der Cañons (man vergleiche Fig. 10) zum Theil schon daraus.

Vier Factoren beeinflussen sonach das Walten der erodirenden Gewässer des Colorado (nach G. K. Gilbert): 1. die grosse Meereshöhe der Quellen, wodurch Condensation und somit Niederschläge ermöglicht werden, 2. die eigenartigen klimatischen Verhältnisse überhaupt, 3. die Horizontalität der Schichten und 4. die Gleichartigkeit der massigen Bänke in ihrer horizontalen Erstreckung und die petrographische Verschiedenheit der übereinanderliegenden Schichten. So viel kann wohl als sicher angenommen werden, dass die klimatischen Verhältnisse für sich allein nicht ausreichen würden, um die Erscheinungen zu erklären, und dass die petrographischen und tektonischen Verhältnisse von zweifellos bedeutender Wichtigkeit für die resultirenden Erscheinungen sein werden. (In lockerem Sand werden z. B. stets sanft geböschte, im Lössgebiete steilwandige Ufer resultiren.) Die Standfestigkeit des Gesteines und die Art der Ablösung bei Unterwaschungen

werden von grossem Einflusse sein. Die klimatischen Verhältnisse, so wichtig sie auch sind, sind also nicht allein massgebend. (Wir kennen ja echte Cañons auch in Gebieten mit reichlichen Niederschlägen.)

Die Arbeit des Colorado in der Plateauregion dürfte seit Beginn der Tertiärperiode andauern, also durch Zeiträume, für deren Bestimmung unser gewöhnliches Zeitmass nicht ausreicht, so dass wir keine zahlenmässigen Zeitangaben machen können. Eine diesbezügliche geologische Zeiteinheit ist noch nicht gefunden. Der Colorado dürfte während der Eocänzeit der Abfluss eines grossen Binnensees gewesen sein.

Oben wurden die Cañons der Kasan- (Kessel) Engen an der unteren Donau zum Vergleiche herangezogen. Manche Aehnlichkeiten, besonders was die Horizontalität der durchfurchten Gebirgsglieder anbelangt, bieten aber auch die Thalzüge beim Durchbruch der Elbe durch das Elbesandsteingebirge in Böhmen und Sachsen dar. Freilich sind dies Vergleiche zwischen Riesig und Klein in Bezug auf die Grössenverhältnisse der in Vergleich gebrachten Objecte, da die Wände in der sächsischen Schweiz oder in den Weckelsdorfer Felsenmauern 100 Meter Höhe selten übertreffen, also abgesehen von der räumlichen Beschränktheit nur $\frac{1}{10}$ der Höhendimensionen erreichen.

Eine der auffallendsten Erscheinungen am Grand Cañon ist noch mit einigen Sätzen zu besprechen: Das Thal unter dem Thale, die obere weite Thalform gegenüber der inneren Thalschlucht. Man könnte

dabei an den Gegensatz zwischen dem weiten Hoch- und dem engeren Niederwasserbett unserer Ströme denken, etwa das weite Inundationsbett in unserer regulirten Donau und deren gewöhnliches, für lange Zeit im Jahre leider noch immer zu weites Niederwasserbett, in dem es dann in Schlangenwindungen hinzieht, wie die unangenehmen Sandbänke beweisen.

In der That wird es eine Zeit gegeben haben, in welcher dieses Verhältniss auch für den Colorado bestanden haben mag. Er floss im weiten oberen Thale zur Hochwasserzeit als gewaltiger Strom, um bei Niederwasser in einer engeren gewundenen Rinne zu verlaufen, bis eine Zeit kam, in der ein Anschwellen über das allmählig tiefer gewordene Innenbett nicht mehr erfolgte und die immer tiefer gehende Ausnagung an der Sohle den Strom in die Tiefe führte, in der sich heute der Wechsel zwischen Hoch- und Niederwasserständen abspielt.

Diese Darlegung führt uns aber zur Annahme von Zeiträumen in der Vergangenheit mit weit grösserem Wasserreichthum der Ströme, eine Annahme, zu welcher uns auch viele Erscheinungen in unseren europäischen Thalwegen führen. Für die volle Berechtigung dieser Annahme sprechen in Nordamerika eine ganze Reihe von nun schon wohlstudirten Thatsachen, deren zum Schlusse noch gedacht werden mag.

Ich darf diesbezüglich wohl auch die von Clarence King in seinem grossen Hauptwerke (40. Parallel) gegebenen Resultate herbeiziehen. Ich habe schon

erwähnt, dass der Colorado am Beginn der Tertiärzeit aus einem grossen Süsswasser-Binnensee, der sich zwischen Wahsatch und Felsengebirge ausdehnte, abfloss, einem See, aus dem das Uintagebirge als eine Insel, das Wahsatchgebirge und die daran gereihten Hochplateaux aber als eine grosse Halbinsel aufragten. Bei 3000 Meter mächtig sind die reich gegliederten Ablagerungen dieses Sees der Eocänzeit. Heute ist das Gebiet dieses Green-River-Beckens von weiten Wüsteneien eingenommen: den „Bad lands“. Die Erosion vergangener Zeiten hat in den weichen, leicht zerstörbaren, weiss, bläulich, bräunlich und grau gefärbten Sandsteinen und Thonen auf das Wunderlichste und Bewunderungswürdigste gearbeitet. Die einst weithin ebene Fläche ist dadurch in zahllose grössere und kleinere tafelförmige Massen mit 50—100 Meter und darüber hohen Steilwänden zerlegt worden, welche einen über alle Massen eigenthümlichen Anblick gewähren, umsomehr, als jetzt die meisten der tiefen Rinnen zwischen den Tafelmassen — den Wadis der nordafrikanischen Wüsten vergleichbar — fast immerwährend trocken liegen und nur von der Erosion des Windes weiter modellirt werden. Man glaubt an manchen Stellen vor Ruinenstätten zu stehen: Thürme, Säulen, zinnentragende Burgen, crenelirte Festungsmauern und Wälle glaubt der Beschauer vor sich zu sehen, in einer überaus mannigfachen Abwechslung. (Nur nebenbei sei erinnernd erwähnt, dass man in diesen und den späteren Seeablagerungen Unmassen für die einzelnen Phasen der

geologischen Geschichte bezeichnender Säugethierreste aufgefunden hat, die ich vor dieser verehrten Versammlung vor längerer Zeit zu besprechen Gelegenheit hatte.) Diese Ablagerungen sind auf den Westen beschränkt und nehmen die verschiedenen Glieder verschieden grosse Räume ein, zur Zeit ihrer grössten Ausdehnung dürften sie bis an den 116⁰ westlicher Länge, also weit in das Gebiet der Beckenregion (Great Basin) hineingereicht haben (Utehsee nach King). Darauf folgt Entwässerung. Im Westen aber erfüllten miocäne Seebecken die grossen nördlichen Ebenen und erstreckten sich auch am Ostfusse des Cascadegebirges und der Sierra Nevada hin, durch Nevada und Ostcalifornien. In dieser Zeit erfolgten die grossartigsten vulcanischen Ausbrüche im Westen.

Aber auch aus noch neuerer Zeit stammen Spuren ausgedehnter Seebecken. So die grossen pliocänen Seebecken: der Shoshonsee im Westen, der Nord-Parksee im Felsengebirge und der Cheyennesees östlich vom Felsengebirge.

Der östliche See wurde zuerst drainirt, im westlichen Becken aber entstanden zwei neue tiefe Depressionen und in diesen fanden während der nun folgenden Periode der grossen Vergletscherungen der nördlichen Hemisphäre (Glacialperiode) zwei grosse Seen ihre Aufnahme. Gerade mit diesen Gletscher-Phänomenen wollen wir uns zum Schluss noch etwas beschäftigen. Gletscher fehlen den heutigen Hochgebirgen der vereinigten Staaten durchaus nicht. In

der Sierra Nevada (zwischen $36\frac{1}{2}$ und 38^0 nördlicher Breite) wurden sie schon 1872 von John Muir beschrieben und 1883 von J. C. Russel und G. K. Gilbert wieder besucht. Der Erstere hat im letzten Jahresberichte der geologischen Landesanstalt (V. Annual Report 1883—1884, Washington 1885) ausführliche Beschreibungen und vorzügliche Abbildungen nach photographischen Aufnahmen gegeben. Freilich erreichen die beiden Gletscher der Sierra Nevada höchstens $1\frac{1}{2}$ Kilometer Länge und bleiben somit recht weit hinter unseren Alpengletschern zurück (der Aletschgletscher ist 16·5 Kilometer, die Pasterze 9·4 Kilometer lang), sie zeigen aber nichtsdestoweniger alle charakteristischen Merkmale der Alpengletscher (Spalten, Moränen, Gletschertische etc.). Im Jahre 1878 wurde auch in der Windriverkette, also im Quellgebiete des Green River, ein kleiner Gletscher aufgefunden.

Ganz ähnlich so wie in Europa gab es nun aber auch für Amerika eine Zeit grossartigerer Ausdehnung des Gletscherphänomens. Sowohl in der Sierra Nevada als auch in den Uinta Mountains, im Wahsatch, in der Windriverkette u. s. w. gab es gewaltige Gletscher; in der Uintakette wurden beispielsweise Spuren von bis zu 60 Kilometer und darüber langen Gletschern in ihren Moränen nachgewiesen, sie müssen bis gegen 800 Meter Meereshöhe hinabgereicht haben.

Es war dies zu derselben Zeit, in welcher die Inlandeismassen und Gletscherströme den ganzen nörd-

lichen Theil von Amerika einnahmen und dieses bis über das Gebiet der grossen Seen und am atlantischen Ocean bis in die Breite von New-York vergletschert war, analog wie das nördliche und östliche Europa zur selben Zeit. Nach Th. C. Chamberlin (III. Annual Report, Washington 1883, p. 291—402) liegen die fünf grossen Seen ganz ähnlich so im Moränengebiete wie etwa der Bodensee oder der Chiemsee auf der bairischen Hochebene. Der Michigansee vor Allem erscheint im Süden von einer sehr vollkommenen Stirn-moräne auf das Schönste umrahmt. Vielfach war es möglich an Scheuerstreifen, wie sie von den durch das Eis an die Felsunterlage angepressten und darüber hingeführten Gesteinsfragmenten erzeugt werden, die Richtungen der Bewegung, (ein langsames Strömen) der verschiedenen Gletscherzungen zu verfolgen.

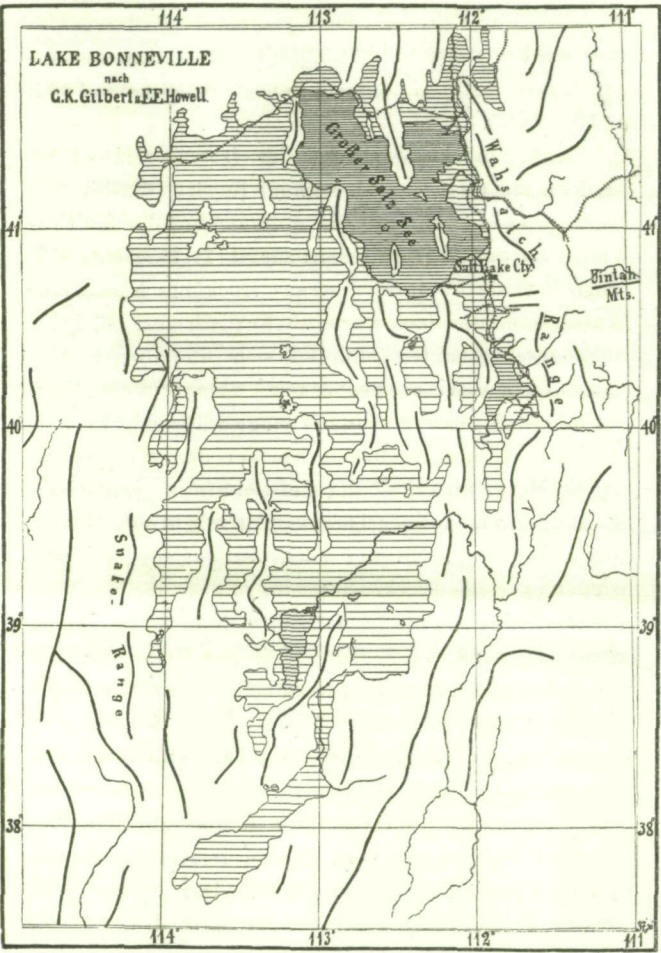
Schon diese Thatsachen allein lehren uns, dass damals ganz andere klimatische Verhältnisse herrschend waren als heute. Es muss aber auch so sein, denn selbst in den heute vollkommen trockenen, regenlosen Regionen von Nevada, Arizona und Californien findet man 300—600 Meter tiefe Cañons, ohne einen Tropfen Wasser in ihren Tiefen. Vielfach trifft man aber Gletscherschutt, so dass King geneigt ist, sich viele der Cañons unter Mitwirkung von Gletschern entstanden zu denken (und zwar vor Allem die mit U-förmigem Querschnitt).

Zwei grosse Seebecken lagen damals im „Great Basin“: ein östliches im Territorium Utah, für welches

Gilbert den Namen „Lake Bonneville“ vorgeschlagen hat (Fig. 11), und ein westliches in Nevada, das King „Lake Lahontan“ genannt hat. Der erstere besass eine Breite (von West nach Ost) von über 200 und eine Länge (von Nord nach Süd) von über 500 Kilometer und sind als seine letzten Ueberreste der Grosse Salzsee im Norden und der Sevier See im Süden zu betrachten.

Spuren von ganz bedeutenden Wasserständen wurden vielfach angetroffen, die höchsten liegen etwa 330 Meter über dem heutigen Wasserstande des Salzsees; ein zweites auffallenderes System von Terrassen und Uferlinien liegt etwa 200 Meter hoch, dazwischen liegen einige andere. Zur Zeit, als die höchsten Wasserstände bestanden, muss der See nach Norden, zum Columbia hin, einen Abfluss gehabt haben. Die Seefläche war übrigens durch Inseln und weit hineinragende Halbinseln vielfach gegliedert. Die Absätze an den Rändern sind grobkörnige Strandbildungen, während in der Mitte des Beckens zarte Sedimente (ein gelber Thonschlamm) zur Ablagerung gekommen sind. Der Lahontansee besass eine eigenthümlich reich gegliederte Form und bestand eigentlich aus einer Reihe ringförmig mit einander verbundener schmaler Becken, deren Ueberreste in der Form von sechs kleinen Seebecken (z. B. Carson-, Humboldt-, Pyramidsee) erhalten sind, und lässt gleichfalls zwei Phasen in den Hochwasserständen erkennen. Die alten Seeböden sind heute förmliche Salzwüsten. Seine Oberfläche mag etwa

Fig. 11.



Der See Bonneville. (Nach Gilbert.)

22.000 Quadratkilometer betragen haben. (Fast so gross wie der Eriesee.) Sein gesamtes Zuflussgebiet aber wird mit mehr als 100.000 Quadratkilometer anzunehmen sein. (III. Annual Report, Washington 1883, p. 193—235.)

Aus den Ablagerungen im Bonneville-Seebecken hat Gilbert (II. Annual Report, Washington 1882, p. 167—200) auf fünf aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien geschlossen: zuerst (1.) herrschte eine lange Periode hindurch überaus trockenes Klima, der Wasserstand der Seen war ein sehr niedriger, mächtige Gehängeschutthalden bildeten sich und liegen nun unter den lacustrinen (Seebecken-) Ablagerungen. Darauf folgte (2.) eine gleichfalls lange währende Periode feuchten Klimas, während welcher der Wasserstand nur 30 Meter unterhalb der tiefsten Stelle der Beckenrandung blieb. Gelber Thon kam in mächtigen Massen zur Ablagerung. In der nächsten Periode (3.) trat wieder extreme Trockenheit ein, so dass der See vollkommen verdunstete und Salzkrusten seinen Boden bedeckten, sodann hob sich auf kürzere Dauer (4.) der Seespiegel wieder, und zwar zu seiner höchsten Höhe, die ihm vorübergehend den Abfluss finden liess, worauf dann wieder eine Periode grösserer Trockenheit (5.) eintrat, die noch heute andauert.

Nicht uninteressant ist übrigens die Wahrnehmung, dass der Spiegel der Seen in den letzten Decennien Hebungstendenz erkennen liess. Der Spiegel des grossen Salzsees soll seit 1849 um mehr als 3·3 Meter

gestiegen, seine Fläche sich um etwa 1700 Quadrat-kilometer vergrössert haben. King verzeichnet auch eine erhebliche Flächenzunahme der beiden durch einen und denselben Fluss (Bifurcation) gespeisten Zwillingseen: Pyramid- und Winnemucasee in den Jahren 1867—1871.

Nach Gilbert hätten wir anzunehmen, dass die Perioden mit feuchtem Klima und grosser Seenbedeckung mit den Zunahmen der Vergletscherung (erste und zweite Glacialperiode) in Nordamerika zusammenfielen. Auf die Erörterung der Meinungen über die Ursachen dieser Aenderungen der Klimate einzugehen ist hier nicht an der Zeit. So viel aber ersehen wir aus den angeführten Thatsachen, dass wir in Nordamerika vor dieselben grossen Fragen gestellt sind, die in Europa die Männer der Wissenschaft auf das Regste beschäftigen. Thatsächlich haben wir in dem Wechsel der Klimate die Mittel zur Erklärung der letzten Frage gefunden, die wir uns bei Betrachtung der Erscheinungsformen der Cañons stellen mussten: wieso es kam, dass der gewaltige Colorado in die engen tiefen Schlünde genannt wurde.
