

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 40<sup>0</sup> 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 Aufnahmsarbeit 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 Gegensatze 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-



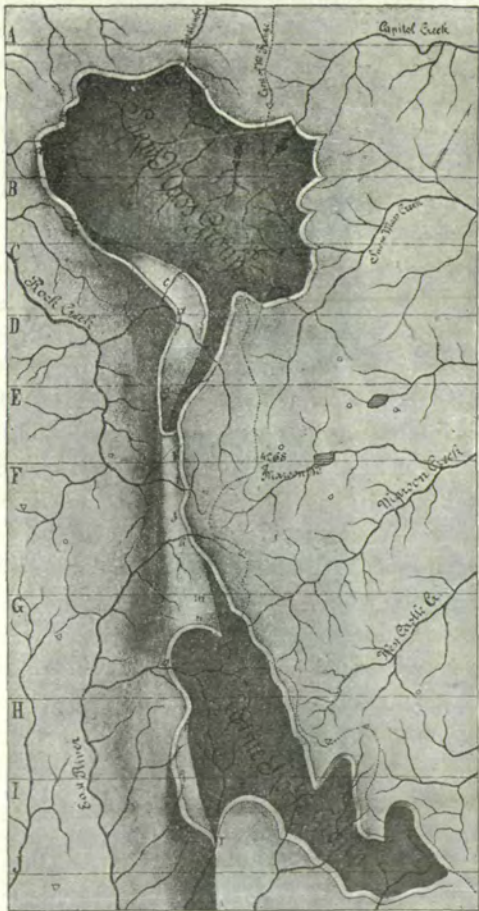
und Parkkette. Alle sind süd-nördlich gerichtet, mit der Neigung, gegen Nordwest umzubiegen. Diese Umbiegung gegen West ist am schärfsten weiter nördlich ausgeprägt, wo die Laramiekette, ein Sattel mit recht übereinstimmend gebauten Flügeln, direct westwärts gegen die Windriverkette umbiegt. Einen entgegengesetzten Bogen, mit der Convexseite nach Südost gekehrt, bildet die gleichfalls symmetrischen Bau besitzende halbmond-förmig 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 Aufnahmesergebnisse (W. H. Holmes) überaus interessantes Gebirgsglied bilden auch die Elk Mountains (Fig. 2 und 3), eine von Südost nach Nordwest 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.

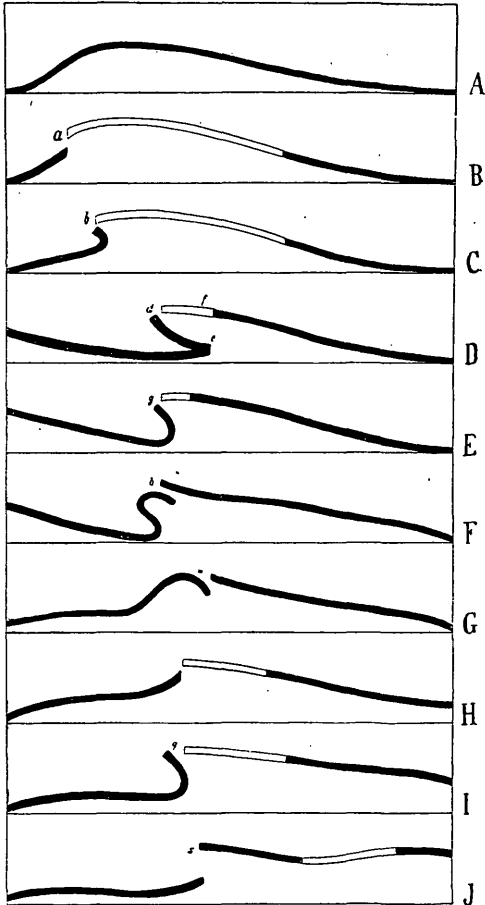
Die Elk Mountains bilden keine continuirliche Kette, sondern bestehen aus einer Anzahl von aneinandergereihten Berggruppen und isolirten Gipfeln mit ganz ansehnlichen Höhen. Die nördlichste Spitze der Sopris Peak steigt bis zu 3953 Meter, die Capitolspitze (in der Snow Massgruppe) auf 4261 Meter, der 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 Schiefen 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.<sup>o</sup> 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 Schiefnern (Uinta-

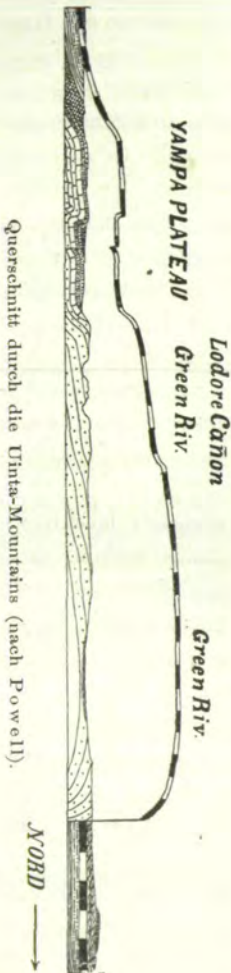


Fig. 4.

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 reconstruiren, 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 Abbruche geführt, 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, resultirte.

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 Südcalfornien 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 Flusspiegel, 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 lagern<sup>1)</sup>. (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 Abgründränder 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 Catacacte 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 Zurücktreten 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 unverwüsthlichen Natur, verhältnissmässig rasch wieder erholte.

Damit war der Beweis erbracht, dass eine Fahrt durch die Schluchten bei günstigem Wasserstande auch von wissenschaftlich arbeitenden, unternehmenden 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.<sup>1)</sup> 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.)

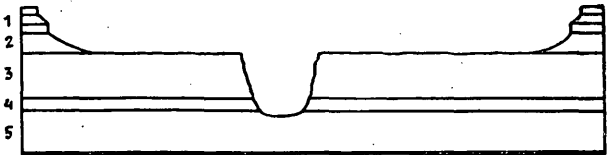
Der ganze geologische Bau des Terrains ist im Grossen überaus einfach. Der Hauptstrom hat sich hier in ein System zum grossen Theil fast genau horizontaler Schichten eingegraben, und zwar in zwei überaus scharf markirten Absätzen. Oben nehmen wir

---

<sup>1)</sup> 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.

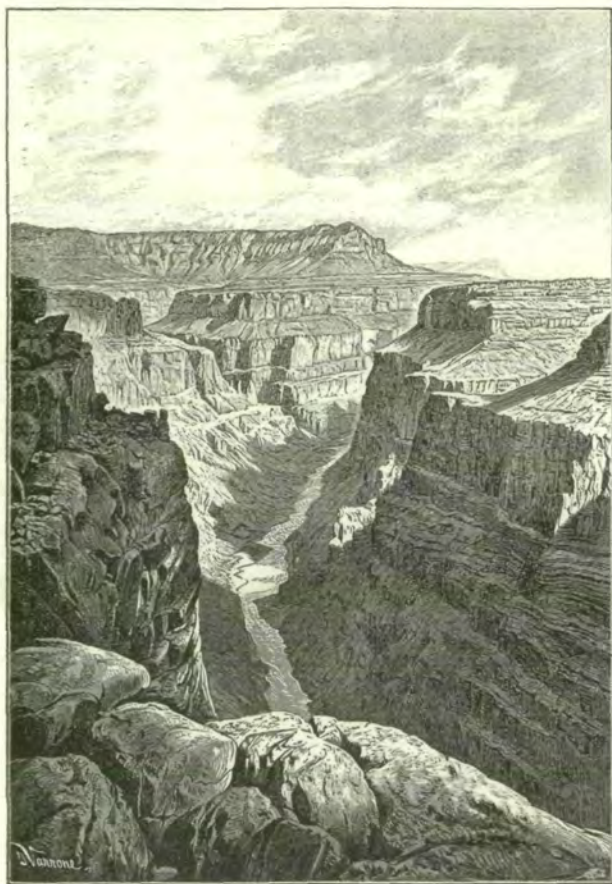
(In natürlichen Verhältnissen.)

- |                         |          |               |
|-------------------------|----------|---------------|
| 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 Profilirung, 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.

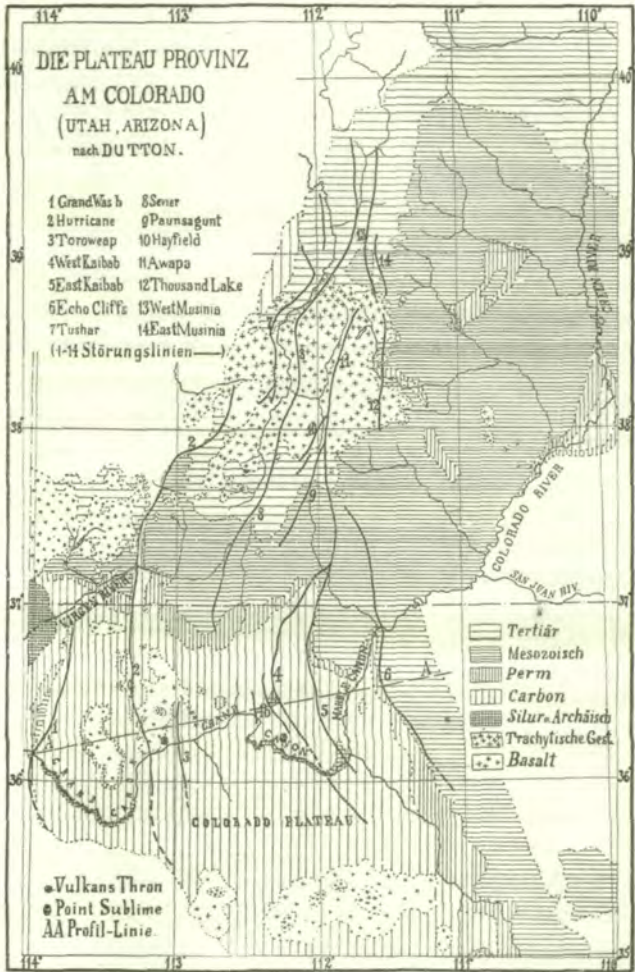
Diese Carbongesteine nehmen im südlichen Theile der Plateauregion einen weiten Raum ein und nur stellenweise treten etwas jüngere („Perm“) Gesteine als Ueberlagerung auf, lappenartige Ueberreste einer früher allgemeinen Decke. (Man vergleiche Fig. 7.)

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.

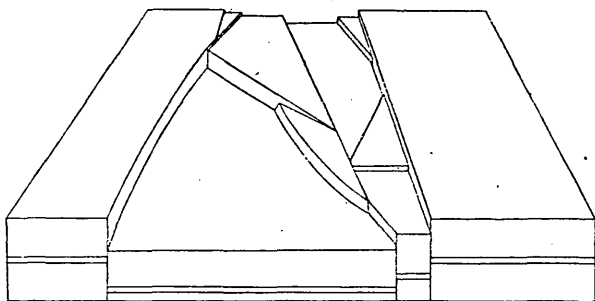
Wir sehen sie über die Gehänge des Uinkaretplateau in das weite Thal hinabziehen, nachdem sie sich, den auf den Plateauhöhen gelegenen Ausbruchsstellen entquellend, über die Plateauflächen ausgebreitet. Sie ergossen sich durch die Hangrisse so, wie sich heute die Vesuvlaven etwa aus der Fossa Vetrana 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 Störungs-  
linien, ja das rüthenartige 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 Me-  
ter 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 ver-  
gleiche das Profil Fig. 9 [nach AA in Fig. 7] mit einer  
kleinen Veränderung auf Grund der neueren Darstel-  
lungen, aus Powell's Werk vom Jahre 1875.)

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

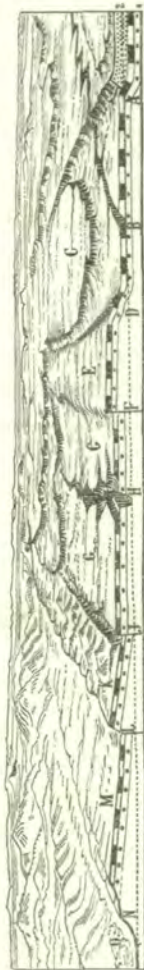
Die Vegetationslosigkeit des Landes begünstigt in  
hohem Grade das Studium dieser Verhältnisse.

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 ein gleichmässigerer 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 diesbezüglich 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 Profilirung 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 allmähig 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 116<sup>o</sup> 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 Cheyennese 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  $38^{\circ}$  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 Stirnmoräne 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).

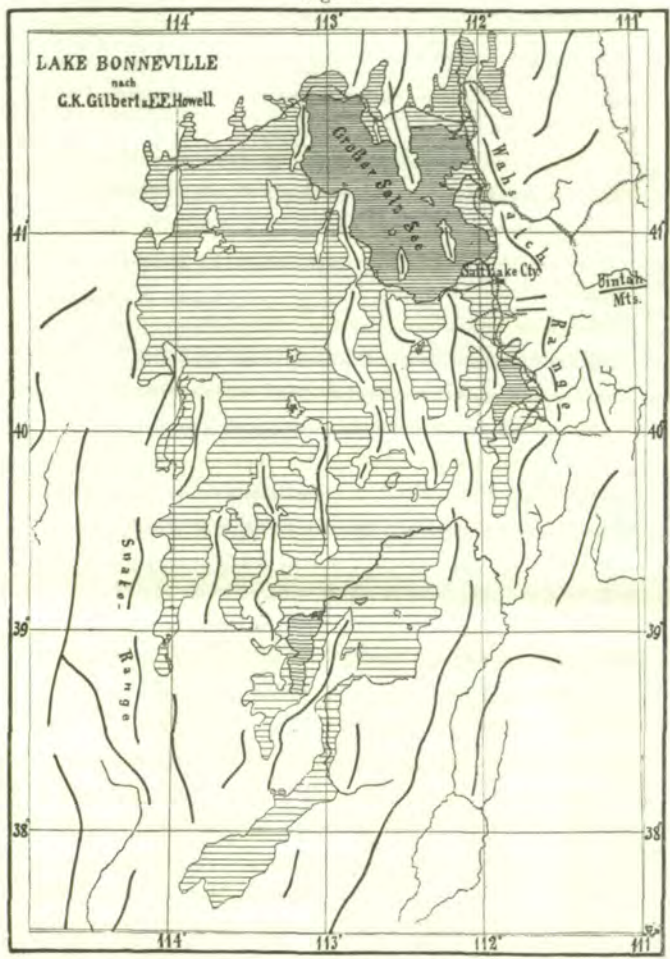
Zwei grosse Seebecken lagen damals im „Great Basin“: ein östliches im Territorium Utah, für welches

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 Quadratkilometer vergrössert haben. King verzeichnet auch eine erhebliche Flächenzunahme der beiden durch einen und denselben Fluss (Bifurcation) gespeisten Zwillingsseen: 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 gebannt wurde.

---