

Entwurf einer Übersicht der Erdöllagerstätten.

Von

ERNST BLUMER (Zürich-Zollikon).

(Als Manuskript eingegangen am 27. September 1918.)

„Jedes Erforschte ist nur eine Stufe zu etwas Höherem in dem verhängnisvollen Lauf der Dinge.“

Alex. v. Humboldt.

Das Erdöl, dieses schwankende Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe, dessen Ausbeute diejenige fast aller anderen Bergbauprodukte überflügelt hat und zurzeit an Wert nur noch von Kohle und Eisen übertroffen wird, hat sich im Lauf der letzten fünf Jahrzehnte als ein Naturkörper von ungeahnt universeller Verbreitung erwiesen. Selbst in den Kometen, Meteoriten und manchen Fixsternen und in geringer Menge in verschiedenen vulkanischen Aushauchungen sind Kohlenwasserstoffe nachgewiesen, wie auch in Erstarrungsgesteinen in seltenen Fällen vereinzelte Öltröpfchen aufgefunden worden. Die grossen und reichen Ölvorkommen der Erdrinde, die eigentlichen, ausbeutbaren Erdöllagerstätten sind indessen, wiewohl ebenfalls über die ganze Erde verbreitet, doch so gut wie ausnahmslos auf Sedimentgesteine beschränkt. Einzig in Placerita Canyon im südlichen Kalifornien, 30 km nördlich Los Angeles, in der Santa Clara Valley, haben einmal vorübergehend ein paar Bohrungen einige Fass Öl aus kristallinen Schiefen gewonnen. Eldridge und Arnold, die diese Gegend beschrieben haben¹⁾, nehmen gewiss mit Recht an, dass dieses Erdöl aus dem anstossenden, in ganz Kalifornien so ölfreien Tertiär stamme und nun bloss auf sekundärer Lagerstätte in den Fugen und Klüften des kristallinen Schiefers auftrete. Aber immerhin sind hier tatsächlich ein paar Fass Erdöl aus gneissähnlichen Gesteinen erbohrt worden! Diese eine kleine Ausnahme steht allein und ist erklärt. Von ihr abgesehen, stammen alle die tausende von Millionen Fass, die hunderttausende von Millionen Litern Petroleum, die bisher gewonnen wurden, überall, in Pennsyl-

¹⁾ U. S. Geol. Survey, Bull. 309, S. 100.

vanien gleich wie in Kalifornien, an den Ufern des kaspischen Meeres wie am Fusse der Karpathen, in Mexiko wie in Hinterindien aus sedimentären Lagerstätten, schöpfen alle die hunderttausende von Ölbohrungen, die hunderte und hunderte von Ölfeldern in den verschiedensten Regionen und Erdteilen aus Schichtgesteinen, und es giebt kaum eine Stufe der geologischen Sedimentreihe zwischen Silur und Tertiär, die nicht irgendwo als ölführend erkannt worden wäre!

Wie jede Flüssigkeit es tun würde und wie das Wasser es tut, so erfüllt das Erdöl die in den Sedimentgesteinen vorhandenen Hohlräume. Als solche haben trotz ihrer Kleinheit die Gesteinsporen durch ihre ungeheure Zahl und ihr daher doch bedeutendes Gesamtvolumen die weitaus grösste Bedeutung und überragen an Wichtigkeit alle Gesteinshohlräume anderer Natur, wie beispielsweise Spalten und Klüfte um ein vielfaches. Erdölgänge können demnach zwar auch vorkommen; solche Spaltenausfüllungen sind aber von geradezu verschwindender Bedeutung verglichen mit den grossen Erdölmengen, die in feine Gesteinsporen eingeschlossen sind. Hierbei wiederum überwiegen wahrscheinlich die Erdölvorräte in mächtigen Tonschiefermassen diejenigen in Sandstein oder Kalkstein. Aber mit diesem Schieferöl verhält es sich wie mit dem Golde des Meerwassers; es ist zu allgemein verbreitet, zu diffus verteilt und kann daher nicht gewonnen werden; es wird auch infolge der Feinheit der Poren und der damit zusammenhängenden starken Adhäsion und inneren Reibung nur schwer abgegeben, kann nicht wandern, ist gewissermassen fest mit dem Gestein verknüpft. Mächtige Schiefermassen, obwohl selbst oft öldurchtränkt, wirken daher in der Natur gerade als undurchlässige Hüllen, welche diejenigen Sedimente hermetisch einschliessen, die mit ihren grösseren Poren das Erdöl leicht wandern, leicht sich sammeln und beim Anbohren leicht abfliessen lassen. Ton- und Tonschiefergesteine sind somit vortreffliche Deckgesteine oder Hüllschichten. Die eigentlichen Ölbehälter oder Ölspeicher für grosse Ansammlungen sind ausnahmslos gröberporige Sedimente, in erster Linie poröse Sande oder gar Konglomerate, in zweiter Linie kavernöse Kalke oder Dolomite.

Aus Ölsanden wird Erdöl gewonnen in Pennsylvanien, in Illinois, in Oklahoma-Kansas, in Kalifornien, im Kaukasus, in Rumänien, usf.

Aus Ölkalken stammt das meiste Öl in der Lima-Indiana-Ölregion von Ohio und Indiana, in Louisiana und Texas am Golf von Mexiko, in Mexiko selbst, in Kanada, usf.

So erscheinen die Erdöllagerstätten als Imprägnationen von porösen Sandstein- oder Kalksteinbänken, die zwischen

undurchlässige Tonschichten eingeschlossen sind. Wie diese Sande oder Kalke bilden sie Lager, Linsen, Flötze. Sie sind daher als Imprägnationsflötze, Imprägnationslager oder kurzweg als Lager zu bezeichnen, die in vielfacher Wiederholung in die sedimentäre Schichtreihe eingeschaltet sind.

Folglich wird heute kein Eingeweihter mehr in rein vulkanischen Gebieten oder in den kristallinen Kernen unserer Hochgebirge nach Erdöl suchen. Aber selbst innerhalb der sedimentären Regionen der Erdkruste überwiegen die ölleeren Flächen. Welches sind die Gesetze, die hier die ungleichmässige Verteilung der Ölvorräte regeln? Warum ist an einer Stelle ein einziger Quadratkilometer die Quelle unerhörten Reichtums, während in weitem Umkreis tausende von Quadratkilometern steril bleiben? Solche und ähnliche Fragen einer Lösung näher zu bringen, gehört zu den dankbarsten Aufgaben der modernen Geologie.

Schon vor mehr als einem halben Jahrhundert wurde ungefähr gleichzeitig in Pennsylvanien wie in Hinterindien die eigentümliche Tatsache erkannt, dass die Erdöllager meist auf den Scheiteln der Schichtfalten liegen, dass Erdöllager und Antiklinalaxen sich decken. Bald fand man dieselbe Gesetzmässigkeit auch in anderen Gegenden immer und immer wieder. Gleichzeitig beobachtete man als noch allgemeinere Wahrheit, dass das Erdöl stets von Salzwasser begleitet ist. Wir können heute mit ziemlicher Sicherheit sagen, ohne allerdings in dieser kurzen Abhandlung auf eine Begründung eintreten zu können, dass dieses Salzwasser einen Rest alten Meerwassers gleichwie das Erdöl ein Umwandlungsprodukt der darin einst abgestorbenen Lebewesen darstellt. Erdöl und Salzwasser waren daher ursprünglich diffus gemischt; ersteres ist ja inmitten des letzteren langsam entstanden. Wie wir aber, wenn wir Salzwasser und Öl in einem einfachen Reagenzglase schütteln, bald wahrnehmen, dass das leichtere Öl nach oben steigt, das schwerere Wasser nach unten sinkt und so die beiden Stoffe sich nach ihrem spezifischen Gewichte scheiden, so hat diese Trennung von Wasser und Öl nach der Dichte sich auch in der Natur im Grossen vollzogen. Das Erdöl wanderte innerhalb der porösen Ölhorizonte nach oben, das Salzwasser nach unten; im Einklang damit treffen wir heute in einem gefalteten Ölhorizont Erdöl oben in den Faltenscheiteln, Salzwasser unten in den Schenkeln und Mulden. Wer auf der Antiklinale bohrt, erhält Öl; wer in der Synklinale bohrt, erhält Salzwasser! Das ist die ebenso einfache wie geniale Erklärung des antiklinalen Vorkommens der Öllagerstätten, die sog. Antiklinaltheorie, die schon im Jahre 1861 in Kanada

durch den weitblickenden Sterry Hunt aufgestellt worden ist. Sie hat sich seither in den verschiedensten Weltgegenden als wahres „Ei des Kolumbus“ erwiesen; man hat, ihr folgend, in zahllosen Ölfeldern so beispiellose Erfolge erzielt und sie immer von neuem bestätigen können, dass es nicht wunder nehmen kann, wenn viele geneigt sind, den antiklinalen Typus der Erdöllager für den allein möglichen zu halten. Während zwar Höfer, der selbst zur Ausbreitung der Antiklinaltheorie sehr viel beigetragen hat, doch immer noch vorsichtig bloss vom „begünstigenden Einfluss der Antiklinalen“ spricht, gehen manche andere gleich ins Extrem und sagen: „Ohne Antiklinalen keine Ölanhäufungen!“ Hat dies ja eigentlich schon Sterry Hunt getan, der 1867 die Ansicht vertrat, dass alle produktiven Ölquellen Nordamerikas in Undulationen der Schichten, das heisst in Axen der Antiklinalen angetroffen werden.“¹⁾

Dieser Ausspruch des genialen Urhebers der Antiklinaltheorie geht aber zu weit. Er gilt, wie wir im folgenden zeigen werden, nicht einmal für ganz Nordamerika. So wunderbare Erfolge diese Lehre in vielen Ölregionen erzielt hat, so verfehlt wäre es, ihr unbeschränkte Gültigkeit zuzuschreiben.

Der allgemeinste Überblick teilt die sedimentären Regionen an der Oberfläche unseres Planeten in Tafelländer und in Faltenländer; erstere bilden die unabsehbaren Ebenen, letztere die langgedehnten Züge der Kettengebirge.

Die antiklinalen Erdölvorkommen sind naturgemäss auf die gefalteten Zonen der Erdkruste beschränkt; wir finden sie namentlich in deren einfacher gefalteten Teilen am Fuss der hohen Gebirgszüge, in den Vorländern der Gebirge, so zu beiden Seiten des Kaukasus, so in Galizien und Rumänien am Aussenabfall der Karpathen, in der appalachischen Ölregion am Westfuss der Alleghanies, in der grossen Geosynklinale der Central Valley of California zwischen Sierra Nevada und Coast Range, wie am Fuss der hinterindischen Gebirgszüge.

Die ölführenden Falten können alle möglichen Formen und Dimensionen annehmen. Ihre Länge kann zwischen 10 und 100 km, ihre von Mulde zu Mulde gemessene Breite von 3 bis 15 km schwanken. Ihr horizontaler Verlauf kann geradlinig oder bogenförmig sein, ja in einzelnen Fällen können die Falten aus zwei völlig rechtwinklig zueinander verlaufenden Teilen bestehen. Der Faltenscheitel kann eine oder

¹⁾ Bull. soc. géol. France 2, Bd. 24, 1867, S. 570.

mehrere Kulminationen besitzen. Die Neigung der Schenkel kann nur einige Grade betragen, misst aber doch meistens zum mindesten $10-20^\circ$; sie kann bei einem oder bei beiden Schenkeln bis auf 90° ansteigen, ja der eine Schenkel kann selbst stark überliegen. Demnach unterscheidet man flach- oder breitgewölbte und steilschenkliche, enggedrängte Ölantiklinalen, ferner Ölantiklinalen mit und ohne flache Scheitelumbiegung, schliesslich aufrechte, geneigte und überliegende Ölantiklinalen.

Die bedeutendsten dieser Öllagerstätten sind, der Antiklinaltheorie entsprechend, gewöhnlich an schöngewölbte Faltenscheitel geknüpft. Wir schlagen für diese wichtigsten, auf den Faltenscheiteln gelegenen Öllager die Bezeichnung Scheitellager vor. Diese Scheitellager wandeln sich sowohl nach den Schenkeln wie nach dem einen und andern Gewölbeabfall in Salzwasserlager um; wo ferner der Faltenscheitel anstatt einer mehrere Kulminationen besitzt, trifft man häufig schon auf den die Kulminationen trennenden Scheiteldepressionen Salzwasser an; das Scheitellager ist hier auf mehrere Kulminationen verteilt; es zerfällt in mehrere Kuppellager. Es sind also gerade die stärksten Erhebungen des Faltenscheitels, die domförmigen Aufwölbungen, die Kulminationen oder Kuppeln, die sich am ölfreichsten erweisen. Und wie jede Antiklinale eine oder mehrere Kulminationen besitzt, so bildet jedes solche Scheitellager zugleich ein oder mehrere Kuppellager, die durch ölarne oder sterile Scheiteldepressionen getrennt werden. Das Erdöl ist innerhalb des gesamten Faltenbereichs tatsächlich nach den allerhöchsten ihm zugänglichen Punkten gewandert.

Besonders bekannte Beispiele solcher Kuppellager sind manche Ölfelder von Baku, ferner Grozny am Nordfuss des Kaukasus, Boryslaw-Tustanowice in Galizien, viele Ölfelder der appalachischen Ölregion in Pennsylvanien, Westvirginien und Kentucky, das grosse Saltreeckfeld in Wyoming, das berühmte Spindletop-Feld in Texas, wie auch die meisten hinterindischen Ölfelder. Die Breite der produktiven Kuppellager schwankt nach ihrer Grössenordnung um einen Kilometer, die Länge kann $1-10$ km und mehr betragen; die Flächenausdehnung kann von Bruchteilen eines Quadratkilometers bis auf 10 und 20 Quadratkilometer ansteigen.

Im Laufe der Zeit stiess man aber da und dort auf Öllager, die zwar immer noch auf dem Faltenscheitel liegen, aber nicht mehr auf dessen höchster Erhebung; man lernte Scheitellager kennen, die keine Kuppellager sind. Man fand nämlich da und dort produktive Lagerstätten im Gewölbeabfall, zwar stets vereinzelt, aber oft von

unerwartetem Reichtum. Als besonders bedeutendes Beispiel solcher Scheitellager im Gewölbeabfall seien erwähnt die reichen Öllager im südlichen Abfall der Coalinga-Antiklinale in Kalifornien; ein weiteres, kleineres aber sehr schönes Beispiel ist das Shannon-Feld im nördlichen Abfall der Saltcreek-Kuppel in Wyoming, ebenso Arbanasi im nördlichen Gewölbeabfall der Berca-Beciu-Antiklinale in Rumänien.

Schon diese Depressionslager scheinen im Widerspruch zu stehen mit der Antiklinaltheorie, nach der wir doch eigentlich das Erdöl auf der höchsten Kulmination erwarten sollten. Das Öl ist aber in diesen Fällen meist in seiner Wanderung unterbrochen worden dadurch, dass der Ölhorizont gar nicht bis zur Kulmination reicht, sondern vorher entweder auskeilt oder durch einen Bruch abgeschnitten wird oder gar offen austreicht. Man kann demnach auskeilende, abgeschnittene oder offen austreichende Scheitellager im Gewölbeabfall unterscheiden; davon kommen als gelegentlich reich produktive Vorkommen namentlich die ersteren beiden in Betracht.

Gänzlich im Widerspruch mit der Lehre vom antiklinalen Vorkommen der Öllager stehen nun aber die Schenkellager, die man in den letzten Jahrzehnten an manchen Orten entdeckt hat und die in seltenen Fällen sogar ebenfalls sehr reich sein können. Schenkellager finden sich mit Vorliebe in stark und unregelmässig gefalteten Schwerölregionen.

Das Musterland der Schenkellager ist daher Kalifornien. Dort schöpft das Westside-Feld im Coalinga-Distrikt aus einem ganz ausnahmsweise reichen Schenkellager im Ostabfall der Coast Range zur Central Valley of California. Ebenso enthält die Region der Puente Hills südöstlich Los Angeles reiche steile Schenkellager. Zahlreiche kleinere produktive Schenkellager finden sich zu beiden Seiten des Tales von Santa Clara nordwestlich Los Angeles.

Der Geologe, der aus den Ölgebieten Pennsylvaniens oder Bakus oder Birmas kommt, traut seinen Augen erst kaum, wenn er in Kalifornien zahlreiche produzierende Brunnen in ganz steilen Schichten antrifft!

Auch in den durch Deckenbau ausgezeichneten Ölgebieten Galiziens findet man produktive Schenkellager. Immerhin sind in der Mehrzahl der Fälle, wie in Kalifornien so noch mehr in Galizien, die Erträge dieser Schenkellager klein.

Zwei weitere stark und unregelmässig gefaltete Ölregionen, die wir vergleichend betrachten wollen, sind die Golfküste von Loui-

siana-Texas und die rumänische Ölregion. Beide Ölgebiete haben den gemeinsamen Zug, dass mächtige Salzablagerungen der ölführenden Stufenfolge eingeschaltet sind. An der Golfküste treffen wir eigentümliche, orographisch zwar kaum sich abhebende, aber tektonisch jäh und unvermittelt aus dem umgebenden Flachlande aufsteigende Salzdome, die schon früh Aufsehen erregt haben und vielfach aufgefasst wurden als Aufwölbungen, erzeugt durch die Kristallisationskraft des Salzes! Nach unserer Auffassung handelt es sich jedoch sowohl in den kuppelartigen Aufwölbungen der amerikanischen Golfküste mit ihren Salzkernen wie in den rumänischen Antiklinalen mit ihren Salzkernen um Falten, die deshalb besonders stark gestört und unregelmässig sind, weil die in die gefaltete Schichtmasse eingelagerten plastischen Salzsichten sich dem Faltungsvorgang gegenüber anders verhalten haben als die übrigen Schichten. Wahrscheinlich vollzieht sich jede Faltung, worauf zuerst Buxtorf im schweizerischen Jura aufmerksam gemacht hat, über einer plastischen Schichtgruppe, die als Schmiermittel und Füllmittel die sich faltende Decke von der ruhig bleibenden Unterlage trennt und gleichzeitig in die sich aufwölbenden Faltenkerne emporsteigt. Wo nun gar ganz ausnahmsweise plastische Salzsichten die Faltungsunterlage bilden und in die Faltenkerne aufsteigen, da ist die Faltung eine besonders unregelmässige geworden. Das gilt auch für andere gefaltete Salzregionen. Im Einklang damit sind an der Golfküste wie in Rumänien die Gewölbeschenkel vielfach verquetscht oder zerrissen. Dementsprechend sind auch die Ölhorizonte in den Schenkeln bald linsenförmig angeschwollen, bald ganz zerdrückt oder abgeschnitten. Es ist daher nur natürlich, dass in diesen Regionen besonders häufig eine Wanderung des Öles nach dem Kuppelhöcsten durch Brüche oder durch Ausquetschung verhindert wurde; was an anderen Orten durch primäres Auskeilen, ist hier durch tektonische Ausquetschung erreicht worden. Wir werden somit in diesen Gebieten neben ausstreichenden und auskeilenden namentlich abgeschnittene und abgequetschte Schenkellager antreffen. Für Louisiana-Texas wie für Rumänien sind denn auch Schenkellager an Falten, deren Kern von Salzkörpern gebildet wird, vielfach bezeichnend. An beiden Orten wird dementsprechend öfters Erdöl in steilen Schichten erbohrt.

Zusammenfassend, können wir also, wie bei den Scheitellagern im Gewölbeabfall, so auch bei den Schenkellagern ausstreichende, auskeilende und abgeschnittene unterscheiden und hier noch die abgequetschten Schenkellager hinzufügen. Auskeilende, ab-

geschnittene und abgequetschte Schenkellager können in einzelnen Fällen sehr reich sein. Auch in allen diesen Fällen hatte das Erdöl die Tendenz, nach der Faltenkulmination zu wandern; es ist aber im Schenkel stecken geblieben, weil der Ölhorizont selber in zusammenhängender Form nicht weiter reichte. Also auch hier ist, das Erdöl nach der höchsten ihm überhaupt zugänglichen Stelle gewandert! Von einem antiklinalen Vorkommen, einem Vorkommen auf dem Faltscheitel, auf der Antiklinallinie oder Antiklinalaxe kann man aber gewiss nicht mehr sprechen.

Doch ist das noch nicht die grösste Abweichung vom antiklinalen Typus der Erdöllagerstätten. Man hat schliesslich selbst Muldenlager in vereinzelteten Fällen zweifellos festgestellt! Immerhin sind solche ausbeutbare synklinale Erdölvorkommen äusserst selten. Man kennt bisher einige wenige in Kalifornien, so das Arroyo Grande Feld südlich San Luis Obispo¹⁾, die Kentuck Wells auf der engequetschten Oats Mountains Synklinale im Norden der Santa Clara Valley²⁾, vielleicht eines in Rumänien, und schliesslich liesse sich auch das Asphaltlager des schweizerischen Val de Travers hieher rechnen. Alle diese mir bekannten synklinalen Ölvorkommen sind solche von asphaltischem Schweröl, im Val de Travers ja schon zu Asphalt erstarrt, und alle sind nicht sehr bedeutend. Ein reiches Erdöllager in einer Synklinale ist unbekannt; die Zahl der bisher aufgefundenen kleinen Muldenlager ist zudem so gering, dass sie fast verschwinden, verglichen mit der Gesamtheit.

So zeigt eine vergleichende Prüfung aller der zahllosen Erdöllagerstätten in gefalteten Gebieten, dass Scheitellager stark überwiegen, dass sie aber doch nicht die einzige Art ausbeutbarer Ölvorkommen darstellen, wie heute noch viele Fachgenossen annehmen. Neben den vorherrschenden und oft aussergewöhnlich reichen Kuppellagern findet man gelegentlich auch reiche Scheitellager im Gewölbeabfall; ebenso kennen wir einzelne reiche und viele arme Schenkellager; in sehr seltenen Fällen hat man sogar schwach produktive Muldenlager aufgefunden.

Wenn wir daher schon im Faltenlande der „Antiklinaltheorie“ keine absolute Gültigkeit zuerkennen können, so steigt weiter die noch wichtigere Frage auf: Sind denn Öllagerstätten überhaupt auf das Faltenland beschränkt? Fehlen sie dem Tafellande?

Die endlosen Ebenen, die im Südwesten der grossen Seen,

¹⁾ U. S. Geol. Survey, Bull. 322, von Arnold und Anderson.

²⁾ U. S. Survey, Bull. 309, von Eldridge und Arnold.

zwischen Alleghanies und Rocky Mountains, durch das Stromnetz des Mississippi zum mexikanischen Meerbusen entwässert werden, sind der Typus eines weiten Tafellandes. Die Einförmigkeit der Landschaft spiegelt die Eintönigkeit und Stetigkeit im Aufbau des Felsgerüstes. Durch viele Tagereisen bleibt der geologische Wanderer stets in demselben Gestein, wobei, soweit das Auge reicht, flache Felsbänke nach allen Himmelsrichtungen in schwindender Ferne den Horizont begrenzen. Deutliche Faltung ist diesen Regionen fremd. Und trotzdem treffen wir hier Öllagerstätten, und zudem noch solche von gewaltigem Reichtum und sonst unbekannter Ausdehnung!

Man hat unbegreiflicher Weise immer wieder versucht, auch diese Ölfelder in das Schema des Antiklinaltypus einzupassen! Man hat kleinste Schichtschwankungen als Anzeichen von Antiklinalen gedeutet! Nach unserem Dafürhalten sollte aber kein vernünftiger Beobachter erwarten, dass diese Schichttafeln, die über tausende und zehntausende von Quadratkilometern, ja über ganze Staaten und über namhafte Teile von Kontinenten sich erstrecken, mathematische Ebenen oder Teile einer mathematischen Kugel- oder Geoidfläche darstellen. Schon bei der ursprünglichen Ablagerung am Meeresgrunde können ja leichte Unregelmässigkeiten, wie leichte primäre Schichtschwankungen nicht gefehlt haben; in erster Linie wird eine weitverbreitete Meeresablagerung häufig ein leichtes primäres Gefälle von der Küste seewärts besitzen, entsprechend der Neigung des Meeresgrundes, auf dem die Sedimentation sich vollzog. Ebenso werden ursprüngliche leichte Schichtwellen oder Undulationen nicht fehlen, ebenfalls im Zusammenhang mit der Beschaffenheit des Ablagerungsuntergrundes. Ob die ebenso flachen wie ungemein ausge dehnten schildförmigen Erhebungen, mit Schichtneigungen von Bruchteilen eines Grades, wie der Cincinnati-Schild, dessen Zentrum im Winkel der Staaten Indiana, Ohio und Kentucky liegt und dessen grösste Breite gegen fünfhundert Kilometer, d. h. die dreifache Breite der Alpen zwischen Mailand und Zürich misst, oder wie der Ozark-Schild mit Zentrum im südlichen Missouri als solche primäre Undulationen oder als äusserst flache Geantiklinalen zu deuten seien, mag hier dahingestellt bleiben. Über ganze Staaten wird durch diese Schilde ein gleichsinniges äusserst schwaches Fallen hervorgerufen. Allerdings kann dieses einförmige leichte Fallen gelegentlich durch horizontale Zwischenstücke, die wir tektonische Stufen oder Terrassen nennen, oder gar durch ebenso sanftes Gegenfallen, also wieder durch kleine Wellen, leichte Undulationen, unter-

brochen werden. Aber alle diese Nebenerscheinungen, Schilde, Terrassen, Undulationen und Brüche vermögen nicht, den alles beherrschenden Eindruck des Tafeligen, der allverbreiteten Horizontalität der Schichten zu stören. Auge und Kompass sind in diesen Gebieten gewöhnlich nicht mehr imstande, Schichtneigungen festzustellen. Es ist den amerikanischen Geologen erst durch sorgfältiges Nivellieren charakteristischer Gesteinsbänke über grosse Entfernungen, wie durch Kartieren des Formationswechsels allmählich gelungen, die in diesen Tafelländern überhaupt noch vorhandenen kleinsten Schichtneigungen, die gewöhnlich nur nach Bruchteilen eines Grades zählen, zu erkennen. Dass solche Schichtabweichungen von der Horizontalen vorkommen, ist nicht verwunderlich; aber dass sie so gering sind, dass solche Stetigkeit im Aufbau des Untergrundes, solche tektonische Ruhe herrscht über so weite Gebiete, das scheint uns wahrhaft erstaunlich! So müssen wir denn auch erwarten, dass die hier vorhandenen Erdöllagerstätten, verglichen mit den bisher beschriebenen, ein wesentlich verändertes Gepräge tragen. Wir nennen sie im Gegensatz zu den Faltenlagern Tafellager. Gewisse Übergänge zwischen beiden Typen finden sich in der appalachischen Ölregion.

Die appalachische Ölregion, die sich am Westfuss der Alleghanies vom Staate New York bis nach Tennessee erstreckt, ist nur zum Teil der Typus eines gefalteten Ölgebietes, soweit nämlich als sie im westlichen Teil der grossen appalachischen Geosynklinale liegt. Diese uralte Faltungszone erscheint in den Alleghanies intensiv gefaltet; im westlichen Vorlande der Alleghanies, eben in der appalachischen Ölregion, ist dagegen die Faltung äusserst sanft. Man kennt hier nur noch maximale Schichtneigungen von 2—3°, allerhöchstens 5° und das durchschnittliche Fallen übersteigt nie einen Grad. Diese schon sehr schwache Faltung nimmt westwärts, mit der Entfernung vom Gebirgsfuss, noch immer mehr ab, bis schliesslich in den westlichen Teilen der appalachischen Ölregion nach unserem Dafürhalten von Faltung überhaupt nicht mehr gesprochen werden kann. Das Faltenland geht dort allmählich über in die grosse Mississippi-Tafel. Die Ölführung ist indessen nicht beschränkt auf das Faltenland; sie reicht auch in das Tafelland, und so erscheint die appalachische Ölregion zum Teil als gefaltetes Ölgebiet, allerdings das schwächst gefaltete, das wir kennen, zum Teil aber als reines Tafelland. In letzterem haben stellenweise tektonische Terrassen noch einen bedeutenden Einfluss auf die Ölverteilung; an anderen Stellen schwindet auch der letzte Einfluss der Tektonik gänzlich. Diese beiden Öl-

feldertypen des appalachischen Tafellandes seien noch kurz besprochen.

Zum ersten Typus gehören namentlich viele Ölfelder in Südost-Ohio. Orton fand schon in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts, dass in West-Pennsylvanien, Südost-Ohio und Kentucky sehr viele Öl- und Gasfelder mit tektonischen Unregelmässigkeiten und terrassenähnlichen Strukturen zusammenhängen, wobei das äusserst sanfte, einen Grad nie erreichende Schichtfallen auf eine bestimmte Strecke unterbrochen wird und so eine horizontale Stufe oder Terrasse innerhalb des allgemeinen Fallens entsteht.

Ein hierher gehöriges Beispiel bietet das Macksburg-Feld in Südost-Ohio¹⁾: Eine ölführende Schichtfolge von 500 m Mächtigkeit sinkt mit einer Neigung von $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}^\circ$ langsam nach Südosten; im Bereich des Ölfeldes hört plötzlich auf eine Breite von etwa fünf Kilometern jedes messbare Fallen auf; die so entstandene horizontale Terrasse umfasst 40—50 km². Jenseits derselben stellt sich von neuem das normale Fallen ein. Die ölführende Schichtfolge enthielt im Jahre 1888 fünf Ölsande, wovon jeder Öl auf der Terrassenfläche und Gas auf der äusseren Terrassenkante lieferte; die produzierenden Flächen aller fünf Sande haben ungefähr dieselbe Umgrenzung, was alles deutlich auf den Zusammenhang von Tektonik und Ölführung hinweist.

Der zweite Typus umfasst Ölfelder, die ohne solchen Zusammenhang mit tektonischen Terrassen oder anderen Unregelmässigkeiten, wie auch ganz unbekümmert um das appalachische Streichen verlaufen. Wollte man da noch von Antiklinalen oder Synklinalen sprechen, wie dies manche Amerikaner tun, so würden dieselben von den anders verlaufenden Öllagern vielfach geschnitten; auch ist der eine Ölhorizont in dieser, der andere in jener County ölführend! Beim einen müsste also eine Kulmination hier, beim anderen dort liegen. Nichts spiegelt besser den gänzlich verschwundenen Einfluss der Tektonik als diese Inkongruenz, dieses Nichtsichdecken der Ölsammlungen verschiedener Horizonte!

Ein Beispiel für diesen Typus bietet uns der Sewickley Quadrangle nördlich Pittsburg in Pennsylvanien: Dieses Gebiet umfasst eine Fläche von gegen 600 km² mit zahlreichen Ölhorizonten und mit Anfangserträgen einzelner Brunnen bis zu 2000 Fass. Das Fallen der Schichten wird in diesen weiten Gebieten nie grösser als $1\frac{1}{3}^\circ$ und ist durchschnittlich nur etwa $\frac{1}{2}^\circ$, bald nach dieser, bald nach

¹⁾ Vergl. E. Orton, The Trenton Limestone. 8th Annual Report U. S. Geol. Survey. 1889. S. 526.

jener Himmelsrichtung. Von den verschiedenen innerhalb einer 150 m mächtigen Schichtfolge vorhandenen Ölsanden wird der eine hier, der andere dort produktiv; die Ölsande zeigen in ihren Ölsammlungen weder untereinander noch mit irgend welcher Tektonik irgend welchen Zusammenhang! Es ist mir daher unbegreiflich, wie man in diesem Gebiete noch von antiklinalen Ölvorkommen hat sprechen können¹⁾.

So vollzieht sich innerhalb der schwächst gefalteten Ölregion, die wir kennen, ein allmählicher Übergang vom Faltenlande zum Tafellande. Von Osten gegen Westen schwindet langsam der Einfluss der Tektonik auf die Ölanhäufungen mehr und mehr. Aber Tafelland wie Faltenland enthalten ausbeutbare Lagerstätten. Bei solcher Sachlage erscheint es heute erklärlich, dass gerade in der Gegend, die neben Kanada die Wiege der Antiklinaltheorie darstellt, über diese Lehre durch Jahrzehnte hindurch der erbitterteste Kampf tobte, der je in der geologischen Wissenschaft ausgefochten worden ist. In jeder anderen Ölregion der Erde wäre die Antiklinaltheorie entweder gleich zum Siege gelangt oder überhaupt nicht entstanden, weil sie dort entweder ziemlich allgemein oder gar nicht gilt. In der appalachischen Ölregion ist sie schliesslich doch durchgedrungen und feierte dann, auf günstigeren Boden verpflanzt, ihren Siegeszug um den Erdball. Sie gilt aber nicht einmal für die gesamte appalachische Region, geschweige denn für den ganzen Planeten.

Ein Tafellager, das schliesslich als antiklinales gedeutet werden könnte, ist das Illinois Feld, das im Südosten des Staates Illinois auf der La Salle Undulation liegt, die Raymond S. Blatchley²⁾ als eine ebenso ausgedehnte wie flache Falte auffasst. Ihr Westflügel besitzt eine durchschnittliche Neigung von etwa $1/2^\circ$ und eine Breite von 20—40 km; der Ostflügel ist noch flacher bis zur Unbestimmtheit. Die produktive Scheitelfläche ist etwa 100 km lang, bis 12 km breit und besitzt eine Ausdehnung, die wir auf 700 km² schätzen. Da nicht erwiesen ist, dass diese grosse, sanfte Welle durch Faltung entstanden ist, ziehen wir vor, von einer Undulation des Tafellandes zu sprechen. Auf jeden Fall ist indessen der Einfluss der Schichtlage auf die Position der Ölsammlungen deutlich; alle die verschiedenen Ölhorizonte werden auf dem Scheitel der Undulation produktiv.

Anders verhält es sich bei der Lima-Indiana Öl- und Gas-

¹⁾ J. Munn, Econ. Geol. Vol. 4, 1909, S. 141.

²⁾ Econ. Geol. Vol. 7, 1912 S. 574.

region, in West-Ohio und Ost-Indiana. Sie liegt in gleichsinnig äusserst sanft nordfallenden Schichten, im Nordflügel des Cincinnati-Schildes. Das ganze Öl- und Gasgebiet zerfällt in mehrere Teilfelder, wovon das Gasfeld von Indiana, das ausgedehnteste Gasfeld der Erde, eine Fläche von etwa 7000 km², ungefähr einem Siebentel der Schweiz entsprechend, einnimmt. Der grösste im Lima-Feld, einem anderen Teilfeld, beobachtete tektonische Höhenunterschied beträgt trotz der ebenfalls grossen Ausdehnung nur hundert Meter. Lage wie Umgrenzung der Öl- und Gaslager zeigen meist keinerlei Zusammenhang mit der Tektonik und müssen versuchsweise durch Bohrungen bestimmt werden.

Nicht viel grösser ist der Einfluss der Tektonik im Midcontinent-Gebiet, der Ölregion von Kansas-Oklahoma¹⁾. Dieses weite Gebiet bildet in tektonischer Hinsicht eine gewaltige, mit etwa einem halben Grade gegen Westen fallende Tafel, die den Westflügel des in Missouri kulminierenden Ozarkschildes darstellt. Innerhalb einer Region, die an Ausdehnung die ganze Schweiz übertrifft, findet man überall dasselbe äusserst sanfte Westfallen, das vom Auge und selbst mit dem Kompass gewöhnlich nicht einmal wahrgenommen werden kann. Ebenso wenig vom blossen Auge zu erkennen sind leichte tektonische Terrassen oder überaus flache Undulationen. Sie können mit Ölfeldern zusammenhängen. Wahrscheinlich sind aber auch häufig einfach gegen Osten auskeilende Tafellager. Primäre Sedimentationsfaktoren haben bei der Entstehung und Umgrenzung der „Pools“ von Kansas und Nord-Oklahoma eine grössere Rolle gespielt als die so einförmige Tektonik. Diese hat insofern einen allgemeinen Einfluss ausgeübt, als sie bei dem schwachen Schichtenansteigen nach Osten ein allgemeines Ölwandern gegen Osten hervorgerufen hat; zum Stillstand dieser Wanderung und damit zur Ölanhäufung kam es bald da, wo dieses Schichtenansteigen einen Unterbruch erlitt, bald aber da, wo ein Ölhorizont ostwärts auskeilte. In letzterem Falle ist es ganz unmöglich, Vorhandensein und Ausdehnung der unterirdischen Erdölvorräte nach Anzeichen der Erdoberfläche vorauszusehen. Der ausgedehnteste aller Oklahoma Pools ist 50 km lang, bis 10 km breit und hat eine Fläche von etwa 200 km²: er ist also grösser als das Fürstentum Liechtenstein oder entspricht dem dritten Teil des Glarnerlandes.

Ähnlich wie das Midcontinentgebiet bildet die mexikanische

¹⁾ Vgl. Bulletins und Geologic Folios der U. S. Geol. Survey, sowie Snider, Petroleum and Natural Gas in Oklahoma, 1913, und Kansas Geol. Survey, Vol. IX, von Haworth. — Süd-Oklahoma gehört nicht dazu.

Ölregion oder Tampicoregion¹⁾ eine flache, äusserst sanft meerwärts geneigte Tafel. Diese Platte wird hier von zahlreichen Bruchzonen und Spalten, die teilweise mit Basaltgängen und Reihen von Basaltschloten erfüllt sind, durchschnitten. Das Erdöl, offenbar einst innerhalb der schwach geneigten Ölhorizonte gegen Westen schichtenaufwärts wandernd, hat sich dann namentlich längs der Basaltgänge und Bruchzonen gestaut, in deren Nachbarschaft die meisten reichen Ölvorkommen der Gegend gefunden werden. Wie für Oklahoma und Kansas auskeilende, so scheinen für Mexiko abgeschnittene Tafellager besonders bezeichnend.

Nach dieser kurzen Darstellung einiger Tafellager seien die beiden Haupttypen von Öllagerstätten, die Scheitellager und die Tafellager noch rasch verglichen, die man, im Banne der Antiklinaltheorie, bisher trotz ihres recht verschiedenen Charakters nicht deutlich auseinandergehalten hat. Wohl mag es Forscher geben, die auch im Tafellande in jeder Unregelmässigkeit der Schichtlage embryonale Faltung sehen. Aber solange als man überhaupt zwischen Faltenland und Tafelland einen Unterschied macht, wird man auch die Ölvorkommen in Faltenlager und Tafellager gliedern müssen. Wie überall in der Natur, so bestehen auch hier Übergänge; wir haben solche in der appalachischen Ölregion gefunden. Aber meist sind die Unterschiede zwischen beiden Typen von Lagerstätten so gross, dass man im einen das andere nicht mehr zu erkennen glaubt.

Die Scheitellager sind mehr oder weniger scharf begrenzt durch die sterilen, wassererfüllten Schenkelzonen; die Tafellager besitzen keine solche deutliche Umgrenzung. Diese kann hier nicht zum voraus bestimmt, sondern muss durch Versuchsbohrungen langsam abgetastet werden.

Die Scheitellager sind viel weniger ausgedehnt als die Tafellager, deren Oberfläche oft nicht nur die von Faltscheiteln, sondern von ganzen Falten vielfach übersteigt. Die grössten mir bekannten Faltenlager besitzen eine Ausdehnung von 10—20 km²; selbst die kleinsten Tafellager sind meistens grösser, und die ausgedehntesten, wie manche Pools von Oklahoma, wie das Illinois Feld oder das Findlay Gasfeld überziehen Flächen von mehreren hundert Quadratkilometern, ja, wenn wir das Indiana Gasfeld als ein einheitliches betrachten, selbst von mehreren tausend Quadratkilometern!

Die antiklinalen Felder erscheinen daher wie vereinzelte, zer-

¹⁾ Vergl. „Petroleum“, IV, 1909, S. 1186 (Bericht von Dr. Emil Böse) und „Petroleum“, IV, 1909, S. 1340 (nach D. T. Day, Petroleum Review, Bd. 20).

streute Punkte innerhalb der weiten sterilen Muldenregionen, während die Tafellager sich vielfach fast berühren oder gar schliesslich zusammenfliessen und einen grossen Teil der Fläche der gesamten Ölregion einnehmen, bis diese, wie beim Midcontinent Gebiet beinahe als ein einziges riesiges Ölfeld von der Grösse der ganzen Schweiz erscheint.

In den antiklinalen Feldern herrscht im Zusammenhang mit der Faltung der Schichten oft starke Veränderlichkeit der Bohrtiefe; die Tafellager sind ausgezeichnet durch auffallende Konstanz der Bohrtiefe über weite Gebiete.

Bei Scheitellagern decken sich die produzierenden Flächen der verschiedenen übereinanderliegenden Ölhorizonte annähernd, und kleine Abweichungen stehen im Einklang mit dem Faltenbau. Im Tafelland kann dieses Sichdecken, diese Kongruenz der verschieden tiefen Öllager vollständig wegfallen, und das umso eher, je mehr der Einfluss der Tektonik bei der Bildung der Ölabsammlungen gegenüber anderen Einflüssen zurückgetreten ist.

Im Faltenland ist Streifenform der Felder in der Richtung des allgemeinen Falten- und Gebirgstreichens vorherrschend; im Tafelland fehlt jede solche Gesetzmässigkeit.

Allgemein kann man sagen, dass im Faltenland Ölführung und Tektonik in engem Zusammenhang stehen; im Tafelland ist ein solcher Zusammenhang nur noch locker oder fehlt ganz.

Im Faltenland sind die Ölbohrungen im Durchschnitt vielleicht reicher im Ertrag. Das Tafelland ist dagegen ausgezeichnet durch die sehr grosse Zahl der Brunnen auf den viel ausgedehnteren Feldern, sowie durch eine grössere Konstanz ihrer Produktion. Das Erdöl ist vielfach im Tafellande gewissermassen noch allgemeiner verteilt; im Faltenlande scheint es in höherem Masse an einzelnen Punkten konzentriert.

Die grossen und reichen Ölvorkommen sind fast ausnahmslos entweder Scheitellager oder Tafellager, im besonderen entweder Kuppellager oder Tafellager! Reiche Schenkellager sind sehr selten, reiche Muldenlager unbekannt. Daraus ergibt sich weiter, dass sehr bedeutende Öllagerstätten gewöhnlich an flache Schichtlage geknüpft sind; Ölvorkommen in steilen Schichten sind vorwiegend klein und wenig anhaltend.

Wenn daher eine vergleichende Betrachtung wie die vorliegende den verbreiteten Glauben zerstören muss, dass sämtliche Öllager auf Faltscheitel oder gar auf deren höchste Erhebungen, auf Kuppeln

beschränkt seien, so ist doch ein Zug sozusagen allen ausbeutbaren Lagerstätten gemeinsam. Bei allen werden wir zur Annahme geführt, dass das Erdöl aus einem weiteren Umkreis an seinen heutigen Fundort gewandert ist, sich dort angereichert hat, indem es dabei stets innerhalb des Ölhorizontes an die höchste ihm überhaupt erreichbare Stelle stieg. Nur bei den Muldenlagern trifft das nicht zu. Sonst ist das einzige mir bekannte Gebiet, wo diese Gesetzmässigkeit nicht überall deutlich scheint, der westliche, dem Tafellande angehörige Teil der appalachischen Ölregion. Dagegen haben selbst die noch so geringen, aber über ungeheure Entfernungen anhaltenden gleichmässigen Schichtneigungen im Lima-Indiana-Gebiet, in Illinois, in Oklahoma, in Kansas genügt, um Ölwanderungen zu veranlassen, wie anderseits horizontale Schwellen oder sanftestes Gegenfallen genügten, um diese Wanderungen zu einem Abschluss zu bringen und zu einer Ölanreicherung zu führen. Die eigentliche Ursache dieses aufsteigenden Wandertriebes liegt, wie wir schon eingangs erwähnt haben, begründet in der verschiedenen Dichte von Erdöl und Salzwasser, die in den Ölhorizonten stets miteinander verknüpft sind wie das Erz mit der Gangart. Das leichte Öl stieg nach oben, das schwere Wasser sank nach unten, und so kommt es, dass überall, wo man in einem Ölfelde mit Bohrungen in der Richtung des Fallens vorwärts schreitet, man schliesslich in Salzwasser gerät. „The oilsand dips into water“ sagt der amerikanische „Oilman“, und diese Erfahrung wird immer und immer wieder gemacht, sei es in steil gefalteten Regionen, sei es im Tafellande, dessen Schichtneigungen sich von Auge nicht erkennen lassen. Das leichte Öl schwimmt innerhalb des Ölhorizontes auf dem schwereren Wasser.

Wenn manche Fachgenossen versucht haben, die Gesetzmässigkeiten der Ölverteilung innerhalb der Erdrinde auf andere Ursachen zurückzuführen, wenn manche die stärkere Zerklüftung der Faltenscheitel als Grund der Ölanreicherung auf Antiklinalen betrachten, oder wenn Mrazec in Rumänien die Ölwanderungen und Ölanreicherungen auf durch die Faltung hervorgerufene tektonische Druckdifferenzen zurückführt, so können wir solchen Einflüssen nur eine nebensächliche Bedeutung zusprechen. Diese Deutungen müssten im Tafelland von vornherein dahinfliegen. Wenn wir für den geschilderten Kreis von Erscheinungen nach einer allgemeinen Erklärung trachten, so kennen wir heute noch keine bessere als die vor mehr als einem halben Jahrhundert von Sterry Hunt gegebene, nach der im Innern der Erde wie vor unseren Augen im Reagenzglas Öl und Wasser sich nach der Dichte scheiden müssen.

Als auf einen wahren Prüfstein dieser Anschauung machen wir zum Schlusse auf die Tatsache aufmerksam, dass die gesetzmässige Scheidung von Wasser und Öl nach der Dichte um so klarer ausgesprochen erscheint, je grösser der Dichteunterschied der beiden Flüssigkeiten ist. Daher finden wir in den gefalteten Leichtölregionen, sei es in Pennsylvanien, in Birma, in Wyoming oder anderswo, die Ölanreicherungen auf Gewölbescheiteln und deren domförmigen Aufwölbungen stets am schönsten ausgeprägt. Die gefalteten Leichtölregionen liefern die Musterbeispiele für die Antiklinaltheorie. Dagegen werden die Gesetzmässigkeiten in der Ölverteilung um so weniger streng, je mehr die Dichtedifferenz von Öl und Wasser schwindet. Darum konnten wir schon oben Kalifornien mit seinen schweren Asphaltölen das Land der Schenkellager nennen; darum kommen dort selbst Muldenlager vor! Alle uns bekannten Muldenlager bis und mit demjenigen vom Val de Travers in der Schweiz sind in der Tat Vorkommen von schwerem Asphaltöl. Wo das Öl fast oder ganz ebenso schwer geworden ist wie das Wasser, fällt der Grund zur Scheidung beider Flüssigkeiten dahin. Das Öl hat damit seinen Wandertrieb nach oben verloren und folgt nun wie das Wasser der Schwere!

Eine tabellarische Klassifikation der Erdöllagerstätten ist auf folgender Seite beigelegt.

A n h a n g.

**Tabellarische Übersicht der Erdöllagerstätten
und vorgeschlagene Nomenklatur.**

I.

- I. In Faltenland Faltenlager
 - 1. Auf Faltenscheitel Scheitellager
 - a) Auf Kulmination Kuppellager
 - b) In Gewölbeabfall Abfallager
 - 2. In Faltenschenkel Schenkellager
 - 3. In Mulde Muldenlager
- II. In Tafelland Tafellager
 - 1. Auf sanft geneigten Tafeln Geneigte Tafellager
 - 2. Auf Undulationen Undulationslager
 - 3. Auf Stufen, Terrassen Stufenlager

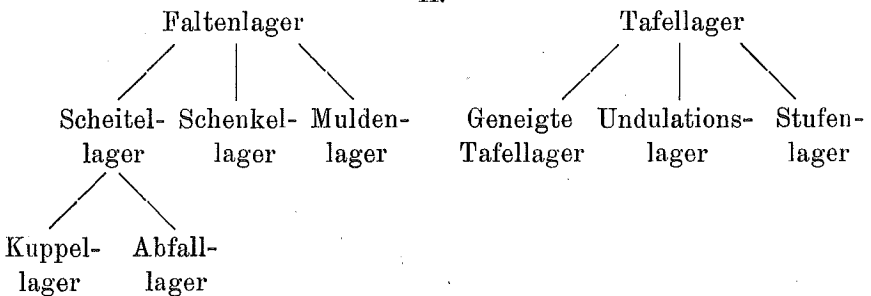
(Abfallager: offen ausstreichende, auskeilende, abgeschnittene)

(Schenkellager: ausstreichende, auskeilende, abgeschnittene, abgequetschte)

(Geneigte Tafellager: ausstreichende, auskeilende, abgeschnittene)

Wichtigste Öllager: Scheitellager (Kuppellager) und Tafellager.

II.



III.

- Scheitellager Antiklinallager
- Kuppellager Kulminationslager
- Abfallager Depressionslager
- Schenkellager Monoklinallager
- Muldenlager Synklinallager
- Tafellager Plateaulager
- Geneigte Tafellager Monokline Plateaulager
- Schichtwellenlager Undulationslager
- Stufenlager Terrassenlager