Neuere Anschauungen über die Grundlagen der Erdölgeologie

mit besonderer Berücksichtigung der amerikanischen Literatur

von Dr. **M. Lucius.**

(Fortsetzung.)

Bei der zunehmenden Temperatur werden natürlich Erdöl und Wasser sich, je nach ihrer physikalischen Beschaffenheit, ausdehnen und sich dabei nach oben bewegen. Ein Teil des Erdöls wird auch durch den bei der erhöhten Temperatur einsetzenden geochemischen Prozeß in Gas verwandelt, wobei das neue Produkt natürlich ein größeres Volumen einnimmt als das Erdöl und also nach oben drängt bis es in einer Region geringerer Wärme und geringeren Druckes wieder flüssig wird. Dabei wird sich das Erdöl vorab mit Gas sättigen, wodurch es leichter, expansiver und zur Wanderung nach oben geeigneter wird. Infolge des Gasdruckes wird natürlich die Flüssigkeit so weit nach oben steigen, bis die Reibung im Gestein oder eine auflagernde Wassersäule dem Expansionsdruck des Gases das Gleichgewicht halten.

Bis dahin haben wir angenommen, daß die Flüssigkeiten Öl und Wasser sowie das Gas miteinander gemischt sind. Damit aber eine abbauwürdige Lagerstätte entstehe, bedarf es vor allem der Trennung der Flüssigkeiten. Gas, Öl und Wasser zusammen in eine Flasche gebracht, trennen sich leicht nach ihrem spezifischen Gewichte und dieses trifft auch gewöhnlich in den Erdöllagerstätten zu. Diese Trennung vollzieht sich jedoch nicht so einfach wie in einer Flasche, sondern hierbei spielt auch die Durchlässigkeit des Gesteins eine Rolle. Der Grad dieser Durchlässigkeit für verschiedene Flüssigkeiten ist aber abhängig von der Porengröße des Gesteines sowie von der Oberflächenspannung der in Frage kommenden Flüssigkeit.

Nach der Größe des Durchmessers unterscheidet man superkapillare, kapillare und subkapillare Poren. Poren von 0,5 mm Durchmesser und darüber sind für Wasser bei gewöhnlicher Temperatur superkapillar, d. h. es gehorcht den Gesetzen der Hydrostatik. Bei Öffnungen zwischen 0,5 mm und 0,002 mm wirkt die Kapillarattraktion und beeinträchtigt infolge größerer Reibung die aus der Hydrostatik sich ergebende Bewegung. Heißes Wasser bewegt sich indeß schneller als kaltes und unter Druck können sowohl kalte wie heiße Lösungen durch kapillare Öffnungen hindurch getrieben werden. Bei Porenöffnungen unter 0,002 mm scheidet bei gewöhnlichem Druck und gewöhnlicher Temperatur die Hydrostatik aus. Da die Attraktion der Moleküle des festen

Körpers sich über die Hohlräume hinaus erstreckt, so tritt Adsorption ein, welche das Wasser an das Gestein bindet, so daß weitere Bewegung zum Stillstand kommt. Auf diese Weise wird beispielsweise Wasser in feinen Tonen festgehalten. Nur durch Druck- oder Temperaturerhöhung kann die Adsorption überwunden werden.

Bei der Bewegung von Wasser und Öl in den Gesteinsporen, sowie bei der Trennung beider Flüssigkeiten infolge verschiedenen Verhaltens beim Durchtritt durch die Poren, spielt auch die Oberflächenspannung eine Rolle. «Oberflächenspannung ist die Spannung einer Flüssigkeit, zufolge welcher sie wie eine elastisch umhüllende Membran wirkt, die allzeit darnach strebt, die geringste Oberflächengröße einzunehmen.» Hierauf beruht bekanntlich die Tropfenbildung, sowie die Bildung der Seifenblasen. Infolge der Oberflächenspannung werden Wasser und Öl, unbekümmert um die Schwerkraft, in kapillare Öffnungen hineingezogen, wie man ja beim Aufsteigen des Öles in einem Dochte oder vom Wasser in einem Schwamm beobachtet. Haben zwei Flüssigkeiten verschiedene Oberflächenspannung, so sind sie nicht mischbar. Es vollzieht sich eine Trennung beider Flüssigkeiten und Übereinanderlagerung nach dem spezifischen Gewichte, wie das für Wasser und Öl der Fall ist.

Die Oberflächenspannung von Wasser bei atmosphärischem Druck ist 72,8 dyn/cm, von Salzwasser etwa 74 dyn/cm, alles auf 20 Grad C bezogen.

Da die Kapillaranziehung proportional der Oberflächenspannung ist, muß sie also bei Wasser einen etwa 3 mal so starken Zug ausüben als beim Erdöl. Die absolute Größe des kapillaren Zuges ist aber umgekehrt proportional dem Porendurchmesser. Daher wird die Kapillarität das Wasser eher als das Öl in die feinsten Poren drängen, wobei Gas und Öl aus denselben verdrängt werden. Gas kann nicht durch Oberflächenspannung in kapillare Öffnungen gezogen werden, weshalb das Wasser es ohne Widerstand heraustreiben kann. Gas wird sich also schnell in den größten vorhandenen Poren ansammeln. Ebenso wird das Erdöl in die größeren Poren gedrängt werden. Die Kapillarität widersetzt sich aber auch etwa 3 mal so stark dem Austritt des Wassers aus den feinen Poren in größere als sie der Bewegung von Öl aus feinen Poren in größere widersteht. Wasser tritt also dreimal so leicht in die feineren Poren ein und widersteht dreimal so stark dem Austritt als das Erdöl. Die Kapillarität bewirkt also eine Selektion, indem sie Öl und Gas in den größern Poren konzentriert, das Wasser aber in die feinern. Die verschiedene Durch-

lässigkeit eines Gesteines wirkt sich also in einer Trennung beider Flüssigkeiten der Erdöllagerstätten, Öl und Salzwasser, aus.

Dieses Verhalten beider Flüssigkeiten kann veranschaulicht werden, wenn man in einem Glaskasten öldurchtränkten Schlamm in Kontakt mit wasserdurchtränkten Sand bringt. Es wird dann nach und nach ein Austausch des Öles aus dem Schlamm in den Sand und zwar zuerst in die gröberen Partien desselben statt haben, während das Wasser in den Schlamm wandert.

Aber auch eine praktische Bedeutung kommt diesem verschiedenen Verhalten beider Flüssigkeiten zu. Es kommt oft vor, daß in einer Schicht Wasser und Öl unmittelbar nebeneinander vorkommen. Wenn nun in dieser Schicht großporige Linsen von kleinporigen Partien umschlossen werden, so wird das Öl in die großporigen Linsen wandern, und wird ganz von Wasser umschlossen werden. So ist das Öl gefangen und beim Schöpfen wird dann nur reines Wasser gefördert werden, trotzdem Öl oft in der Nähe des Bohrloches vorhanden ist.

Da mit zunehmender Temperatur die kapillare Anziehung abnimmt, muß sie nach der Tiefe immer geringer werden. Bei einer Zunahme der Temperatur um 1 Grad für je 30 m Tiefe wäre sie bei 5000 m etwa noch die Hälfte. Die geothermische Tiefenstufe in Erdölgebieten ist aber gewöhnlich weit geringer. So ist sie beispielsweise in Grosnyi (Kaukasus) für je 1 Grad nur 10 bis 13 m. Dazu kommt noch, daß die Oberflächenspannung der Kohlenwasserstoffe, mit Ausnahme der leichtesten, langsamer abnimmt als dies beim Wasser der Fall ist, so daß in Tiefen von etwa 4000 bis 5000 m alle durch Oberflächenspannung bewirkte Trennung von Öl und Wasser, sowie die Konzentration des Öles und Gases in den großporigen Teilen aufhört. Das Öl wird also in diesen Tiefen in seinem Muttergestein diffus verteilt bleiben. Eine Ausnahme wäre dann möglich, wenn die Schicht früher näher der Oberfläche lag, wo dann in einer Sandschicht bereits eine Konzentration des Öles statt hatte, die beim späteren Versinken in größere Tiefe bewahrt blieb.

Die Beziehungen zwischen der Anreicherung des Erdöles und der Struktur, sowie dem petrographischen Habitus der Schichten.

Die Erdöllagerstätte ist nur ein Spezialfall unter den Erzlagerstätten, dessen Eigentümlichkeit darin liegt, daß es sich um ein flüssiges Mineral handelt. Wie bei allen andern Erzlagerstätten ist das Zustandekommen der Öllagerstätte abhängig von zwei Faktoren, nämlich 1. von der Entstehung des Erdöles an und für sich (vgl. die verschiedenen Fälle der Mineralbildung an und

für sich); 2. von der Struktur der Erdrinde in welcher die Konzentration zu einer abbauwürdigen Erdöllagerstätte möglich ist (vgl. den Prozeß der Konzentration der gebildeten Erze in eine solche Form, daß eine nutzbare Lagerstätte entsteht). Sich über diese Genesis klar zu werden, ist für die Öllagerstätten von nicht minder grundlegender Bedeutung wie dies für die andern nutzbaren Lagerstätten der Fall ist.

Wie schon früher angedeutet, müssen die Erdöllagerstätten so beschaffen sein, daß sie die Wanderung des in einem der Hauptsache nach tonigen Muttergestein diffus verteilten Erdöles in eine gewisse Richtung hinleiten, daß sie die Konzentration ermöglichen, indem sie die Wanderung zum Stillstand bringen, die Sonderung von Wasser, Öl und Gas nach der Dichte ermöglichen und die Ansammlung der nutzbaren Flüssigkeit in einem seitlich eng begrenzten Raume bewirken.

Die Wanderung vollzieht sich unter dem Zusammenpacken der Schichten, der Spannungskraft der Gase und dem Einfluß der Kapillarität. Die erforderte vertikale Trennung nach der Dichte vollzieht sich nur dann, wenn die Porenöffnung nicht unter eine gewisse Größe heruntergeht, weil sonst kapillare Interferenz stattfindet und wenn die Temperatur einen gewissen Betrag nicht übersteigt, weil sonst der Unterschied in der Oberflächenspannung zwischen Öl und Wasser verwischt wird. Innerhalb gewisser Porengrenzen findet die Trennung nur statt, wenn der Inhalt der Poren, Öl, Gas und Wasser in Bewegung ist. Bei superkapillaren und kapillaren Porengrößen findet diese Bewegung statt. Die meisten Sandsteine sind innerhalb dieser Porengrößen. Bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur kann aber auch die sich dieser Bewegung widersetzende Adsorption überwunden werden.

Bleibt noch die Konzentration auf einen möglichst eng begrenzten Raum, der von undurchlässigen Schichten und seitlichem Wasser so abgeschlossen ist, daß die Bewegung nach oben zum Stillstand kommt und auch ein seitliches Entweichen verhindert wird. Es ist einleuchtend, daß wenn alle andern Verhältnisse gleich sind, aufgewölbte Schichten eher eine Anreicherung auf einem seitlich eng umschriebenen Raum ermöglichen, als dies für horizontal gelagerte Schichten der Fall ist. Je mehr sich die Aufwölbung der Kuppel- oder Domform nähert, desto größere Konzentration ist theoretisch möglich, während bei horizontalen, gleichmäßig porösen Schichten das Öl zum Wandern nach allen Richtungen gleiche Leichtigkeit findet und theoretisch also kaum eine genügende Konzentration möglich ist. Doch es liegt schon in der Natur der Ablagerung der Schichten der Erdöllagerstätten

(küstennahe Flachseebildungen, Strandbildungen) daß gewöhnlich feinporige und großporige Partien in der Zusammensetzung der Schicht abwechseln. Selbst wenn der Mittelplan eine vollkommene horizontale Ebene darstellte, so sind doch Hangendes und Liegendes unregelmäßig begrenzt, zeigen Anschwellungen und Einsenkungen, so daß infolge günstigerer Porengröße und flachwelligen Anschwellungen doch an einzelnen, günstigen Stellen eine Konzentration möglich ist. Der früher als ein allgemein geltendes Gesetz aufgestellte Satz, daß alles Öl an Falten gebunden ist, trifft nach unsern heutigen Erfahrungen in dieser Verallgemeinerung nicht zu. Grade in den Vereinigten Staaten, wo die Faltentheorie zuerst aufgestellt wurde, wird heute die Bedeutung der Antiklinalfalte als Ölsammler vielfacher Kritik unterzogen.

Die Kritik macht geltend, daß die Bedeutung der Antiklinalfalte darin bestehe, daß die Falte leicht festzustellen ist. Weil dann in der Falte das Öl sich im höchsten Punkt konzentriert, so ist auch die Stelle der Versuchsbohrung eng lokalisiert, während in horizontalen Schichten es vielmehr ein Zufall ist, auf eine Anreicherung zu stoßen, die durch großporige Sandsteinlinsen oder durch eine Unebenheit im Hangenden der Schicht bedingt sind, Umstände, die sich an der Oberfläche nicht erkennen lassen. Demnach hätte nur das leichtere Auffinden des Öles, nicht aber das häufigere Vorkommen als bei flacher Lagerung, zu einer Überschätzung der Falte geführt und man weist darauf hin, daß in der Zukunft, wenn die Faltenlager erschöpft sein werden, man der flachen Lagerung viel mehr Beachtung schenken wird. Die Bedeutung dieser Lagerung ist gewiß nicht zu unterschätzen. Liefert doch der Mid-Kontinent, wo besonders dieser Typus von Lagerstätten auftritt, über die Hälfte der amerikanischen Produktion.

Das leichtere Auffinden der Faltenlager ist gewiß ein bedeutender Vorzug und heute stammt auch noch das Großteil der Weltproduktion aus den Faltenlagern. Wenn auch die exklusive Bedeutung der Falte als Ölansammler übertrieben war, so hat doch die Erkenntnis des antiklinalen Baues der Öllagerstätten in der Entwicklung des Erdölbergbaues einst eine entscheidende Rolle gespielt und diesen Bergbau aus dem Stadium des Zufälligen in die Bahn des Gesetzmäßigen gebracht. Die Falte bietet zweifelsohne die geeigneteste Struktur zur Bildung einer Erdöllagerstätte, weil die Trennung nach der Dichte und die Konzentration auf einen möglichst eng begrenzten Raum sich voll auswirken können, so daß Gas und Öl sich in den höchsten Teilen der Falte, das Wasser sich in den tiefern Teilen der Schenkel des

Sattels und in den Mulden ansammelt. Wie weit das Öl sich in die Schenkel hinunterzieht, ob es auf einer oder auf beiden Seiten der Falte angetroffen wird, das hängt natürlich von seiner Menge ab, sowie von dem Umstand, ob es von einer oder von beiden Seiten hergewandert ist, ob die Einwanderung vor oder nach der Faltung stattfand, ob die Wassermenge groß oder klein ist. Fehlt das Wasser vollständig, welcher Fall eintreten kann, wenn das Öl in terrestrische Bildungen einwanderte, die unter das Meeresniveau gelangt waren, nachdem sie durch tonige Bildungen gegen das Eindringen des Wassers abgeschlossen waren, so kann auch in einer Mulde Öl vorkommen, denn das Öl ruht ja auf dem Salzwasser und das Wasser hält dem überlagernden Öle das Gleichgewicht. Wo aber das Wasser fehlt, da muß etwa angesammeltes Öl zuerst die Mulden erfüllen, ehe es in den Schenkeln hochsteigt. Aber das Vorkommen einiger abbauwürdiger Ölfelder in Mulden sind Ausnahmefälle, welche nicht gegen die Antiklinaltheorie sprechen.

Wenn auch der antiklinale Schichtenbau für das Zustandekommen der Öllagerstätten die günstigste Struktur ist, so ist er doch nicht die einzig mögliche. Es ist bezeichnend, daß grade in den appalachischen Ölfeldern, wo die Antiklinaltheorie zuerst aufgestellt wurde, sich später Verhältnisse herausstellten, welche auch im Mid-Kontinent eine große Verbreitung haben, die nicht in den Rahmen dieser Theorie passen wollten und die zeigten, daß in den Tafelländern die geologischen und physikalischen Vorbedingungen für eine Wanderung, Trennung und Anreicherung des Erdöles zustande kommen, ohne daß der antiklinale Schichtenbau dabei eine Rolle spielt. Aber in der Antiklinalfalte selbst stellt sich in der Praxis die Verteilung von Öl und Wasser gewöhnlich unregelmäßiger dar, als dies nach den theoretischen Erwägungen zu erwarten ist, weil das Gestein gewöhnlich raschem Wechsel in der petrographischen Zusammensetzung unterworfen ist. Manche Teile sind zu feinporig, um für eine Aufnahme von Erdöl in Frage zu kommen, oder es liegt zwischen gröberem Gesteine viel feines Material; endlich können auch nachträglich die Poren durch ein Bindemittel ausgefüllt worden sein. Besonders die unregelmäßige Verteilung des Bindemittels ist ein störender Faktor in der Kontinuität der Lagerstätten.

Auf ihren einfachsten Ausdruck zurückgeführt, besteht das Wesen der Antiklinal- oder Gravitationstheorie darin, daß Gas, Öl und Wasser sich nach ihrer Dichte anordnen, wobei Öl und Gas in den Scheitel wandern, das Wasser aber die Mulden anfüllt. Aber abgesehen von der Störung, welche die verschiedene Durchlässigkeit des Gesteinskörpers in der gleichmäßigen Ver-

teilung des Gases und Öles hervorruft und welche sich in der Praxis oft unangenehm fühlbar machen, daß in der scheinbar regelmäßigsten Antiklinale neben einem produktiven Bohrloch ein anderes unproduktiv bleibt, ergeben sich weiter in der Untersuchung der physikalischen Grundlagen der Wanderung und Aufspeicherung Probleme, für deren Erklärung das Vorhandensein eines antiklinalen Schichtbaues allein ungenügend erscheint, wie beispielsweise die durch kapillare Attraktion sich ergebenden Schwierigkeiten der Bewegung, sowie der Umstand, daß Gas, Öl und Wasser scheinbar nicht nach spezifischem Gewicht geordnet sind und grade die Scheitel manchmal leer sind. Um diese Schwierigkeiten zu heben, sind verschiedene Korollare zur Antiklinaltheorie aufgestellt worden.

Einer dieser Korollare ist die hydromotive Theorie von Munn, nach welcher das in Bewegung gekommene Wasser das Öl mit sich führt. Bewegt sich das Wasser abwärts oder seitwärts, so sucht das Öl nach oben und in höhere Faltungen zu gelangen. Wird das Wasser durch eine undurchlässige Schicht am weitern Abwärtssteigen verhindert, so sammelt sich das Öl darüber wie in einer Falle an und das Wasser dehnt sich seitwärts aus; neues Wasser kommt hinzu und bringt weiteres Öl herbei, das sich in der Aufwölbung sammelt.

Daly nimmt für die treibende Kraft bei der Wanderung die diastrophische Bewegung in Anspruch, nach welcher der ausquetschende Effekt bei der Faltung das Öl und das Wasser in Bewegung bringt, wobei das Öl dann in dem mehr gelockerten Scheitel sich anhäuft.

Mc Coy behauptet, daß bei sehr schwacher Faltung, wie sie z. B. in dem Mid-Kontinent besteht, wegen der allzu geringen Neigung eine laterale Wanderung des Öles nicht möglich sei (siehe weiter: Tafel- und Terrassenlager). Abbauwürdige Lager beständen also nur da, wo unter dem Lager eine Schicht bituminöser Schiefer entweder in direkter Berührung mit dem Lager oder durch Spalten verbunden existiere. Der ganze Wert der Antiklinale beruhe darauf, daß sie mehr gelockerte Stellen darstellen, oder sich in ihnen von Anfang an mehr Öl gebildet habe.

Johnson glaubt, daß sich das Öl wie ein Film um feine Gasbläschen legte und mit diesen fortgerissen wurde. Dem widerspricht aber Huntley, der nachweist, daß der Gasdruck nur die Adhäsionskraft des Öles zu überwinden habe, welche ohne die Anwesenheit von Gasdruck genügen würde, um das Öl an den Sandkörnern festzuhalten.

Man wird wohl am besten mit Somers und Huntley annehmen, daß diese Theorien neben der Antiklinaltheorie (Gravitationstheorie) in Erscheinung treten und die letztere in ihrer Wirkung unterstützen. Es ist auffallend, daß in allen jüngern Ölfeldern die Antiklinaltheorie ihre volle Gültigkeit behält, während grade aus den Beobachtungen in den ölführenden Devon- und Karbonschichten der Appalachen und des Mid-Kontinentes die Zweifel aufkamen. So lange die alten Schichten locker waren, konnte sich die Gravitation auswirken, denn damals bestanden weite Poren sowie Zusammenhänge zwischen den einzelnen Ölfeldern (pools), die jetzt durch zementierte Zonen vollkommen isoliert sind. Die Gravitation wurde natürlich unterstützt durch Zusammenpressung der Schichten, wobei die Flüssigkeit aus den tonigen Teilen in die mehr sandigen wanderte, die Gasentwicklung wurde lebhafter bei vermehrtem Druck und vermehrter Wärme infolge zunehmender Überdeckung, das Öl leichter und beweglicher. Aber durch die gleichen Ursachen nimmt auch die Zementbildung zu, sodaß schließlich die einzelnen Ölfelder (pools) isoliert sind. Nachträgliche Faltung kann bewirken, daß die einzelnen Ölanhäufungen nicht mit den Scheitellinien der Falten zusammenfallen.

Diese Öle sind besonders leicht, weil die geochemischen Prozesse hier am intensivsten wirkten und aus dem schweren biochemisch entstandenen Schweröl Leichtöle schufen. In diesen ältesten Feldern hat also neben der Bewegung infolge Dichteunterschied, die kapillare Bewegung, der Gasdruck, die Ausquetschung durch Zusammenpressung des Gesteines, die geochemische Bildung von Leichtölen bei der Wanderung und Anhäufung mitgewirkt.

Eine jede für Anreicherung und Aufspeicherung günstige Struktur ist eine Ölfalle, in welcher das Öl solange gefangen bleibt, bis entweder die Erosion ihm einen natürlichen oder das Bohrloch einen künstlichen Ausgang schafft. Die beste Ölfalle stellt noch immer die Antiklinale dar, denn nirgends sind solche Mengen Öl konzentriert worden als eben in der Antiklinale.

Einen anderen, in jüngster Zeit viel besprochenen Typus stellen die Öllager in ungefalteten oder sehr schwach gefalteten Gebieten dar, die gegenwärtig vielfach in einen gewissen Gegensatz zum Antiklinallager gestellt werden. Man bezeichnet sie gewöhnlich als schwach geneigte Tafellager und als Terrassenlager (auch Schwellenlager), die auf sehr flachen Monoklinen und auf tektonischen Terrassen vorkommen. Sie wurden bereits mehrfach erwähnt und sind in der neueren Zeit besonders aus der appalachischen Ölregion, aus dem Illinoisgebiet, der Lima-Indianaregion und aus dem Midkontinentgebiet bekannt geworden.

Diese Gebiete bestehen aus Schichttafeln, die sich über Tausende und Tausende von km² ausdehnen und die in schwacher, dem Auge nicht sichtbarer Neigung von 1 bis 2 Grad einsinnig einfallen. In dieses schwache, gleichsinnige Einfallen kann sich ein vollständig horizontal gelagertes Zwischenstück einschalten, das man als *tektonische Terrasse* oder *Schwelle* bezeichnet. In die flach geneigte Tafel kann sich aber auch eine äußerst schwach ausgeprägte *Faltenwellung* oder *Undulation* einschieben. Je nachdem nun ein Öllager in einer solchen schwach geneigten Tafel oder auf einer Terrasse oder auch in einer Faltenwellung vorkommt, spricht man von flach geneigten Tafellagern (auch flach monoklinen oder homoklinen Lagern) von Terrassenlagern und Undulations- oder Faltenwellenlagern. Diese Öllager haben in den angegebenen Gebieten eine gewaltige Ausdehnung. Bei der Genesis dieser Lager mögen nun die Faktoren, die in den eben besprochenen Korollaren zur Gravitationstheorie erwähnt wurden, eine Rolle gespielt haben, aber ein prinzipieller Unterschied in der Entstehung zwischen typischen Antiklinallagern und diesen liegt nicht vor. Experimente haben bewiesen, daß solch außergewöhnlich sanfte Neigungen genügen, damit die Ölwanderung stattfindet und die verschiedenen Bestandteile des Lagers, Gas, Öl und Wasser sich nach der Dichte anordnen. Wo dann der Wanderung ein Hindernis entgegentritt, muß eine Öllagerstätte entstehen. So werden besonders die Terrassen als solche Stauer angesehen.

Bei dieser Zwitterstellung ist es erklärlich, daß manche Forscher hier ein Versagen der Antiklinaltheorie annehmen, andere aber wieder die Notwendigkeit einer Sonderstellung und Abtrennung der Tafel-Terrassen- und Undulationslager von den typischen Falten- und Schenkellagern nicht zugeben, sondern erstere Lager nur als einen Grenzfall der letzteren betrachten. Nach ihnen handelt es sich um ganz flache Antiklinen oder Monoklinen, wobei bei letzteren eine Änderung in der Porosität oder ein Bruch oder auch die Terrasse als Stauer wirkt. Auch hier ist die Wanderung und Anreicherung durch die Neigung der Schicht zu Stande gekommen.

Es muß gewiß eine Neigungsgrenze geben, unter welcher jede Bewegung des Öles nach oben zum Stillstand kommt. Es gibt Beispiele, wo das Öl noch bei $^1/_2$ Grad Neigung wanderte. In Ontario ist Bewegung bei 1 Grad, im Mid-Kontinent bei $^2/_5$ Grad Neigung beobachtet worden. Welches die absolute Grenze des kritischen Gradienten ist, ist wohl nicht zu bestimmen, da dies mit der Porengröße, dem Gasdruck und der Viskosität des Öles ändert.

Natürlich sind auf den flachen Monoklinen oder auf den Terrassen, die bei so geringen Neigungsunterschieden von einigen Graden sich schwer feststellen lassen, die Öllagerstätten schwerer aufzufinden als auf den äußerlich leicht in die Erscheinung tretenden, gut begrenzten Scheiteln der Falten. Dazu kommt noch, daß auf den flachen Monoklinen äußere Ölanzeichen gewöhnlich fehlen, oder doch sehr selten sind. Die Ölfelder in den Tafelländern erreichen zwar ein in Faltenlagern unbekanntes Ausmaß, aber dafür ist der Zusammenhang zwischen Tektonik und Ölführung in den ersteren viel lockerer, und der Einfluß der verschiedenen Durchlässigkeit des Gesteins scheint bei der Verteilung der einzelnen produktiven Felder über den Einfluß der Tektonik vorzuherrschen, bis in dem extremsten Falle wohl die verschiedene Oberflächenspannung bewirkte, daß das Wasser sich in den grobporigen Gesteinslinsen ansammelte, das Öl hingegen in dem feinporigeren Gestein, ohne daß bei dieser Verteilung die Tektonik eine Rolle spielte. Es fehlt auch das in den Falten gewöhnlich regelmäßig ausgebildete Sichdecken der verschiedenen Ölhorizonte in verschiedenen Tiefen. Es geht hieraus hervor, eine wieviel größere Rolle beim Auffinden dem Zufall zukommt. Die Zahl dieser Lager mag ja viel größer sein als was bisher bekannt wurde, und hier könnte beim Aufsuchen sich ein weites Betätigungsfeld für die geophysikalischen Untersuchungsmethoden eröffnen.

In den tertiären Schichten sind die Tafel- und Terrassenlager unbekannt; sie kommen in den palaeozoischen Schichten vom Devon bis zum Perm vor; einige sind auch in Argentinien aus der Kreide bekannt geworden. Mancherorts ist die Verteilung so, daß selbst eine, wenn auch schwache, doch deutliche Tektonik ohne Einfluß auf dieselbe erscheint. Hier muß dann in Betracht gezogen werden, daß in diesen alten, längst verfestigten Schichten die Ölverteilung bereits lange beendet war, ehe die schwache Faltung erfolgte, so daß die Öllager bald auf einer Monokline, bald auf dem Scheitel einer Falte oder nur auf einer Flanke der Falte zu finden sind, und nicht bis zum Scheitel hinauf oder über denselben hinweg reichen.

Das Wasser der Erdöllagerstätten.

In der Regel ist das Öl in den Lagerstätten von Salzwasser begleitet, das entweder in besondern Schichten vorkommt oder mit dem Öl in der gleichen Schicht angetroffen wird, wobei das Öl den höheren, das Wasser den tiefen Teil des Schenkels und die daran anschließende Mulde einnimmt, so daß das Öl auf dem

Salzwasser schwimmt und von allen Seiten von Salzwasser umgeben ist. Süßwasser kommt selten vor, ebenso selten ist die Lagerstätte wasserfrei. Beides sind sekundäre Erscheinungen, sei es daß Süßwasser aus einem höheren, bereits ausgesüßtem Wasserhorizont Zutritt zu der Erdöllagerstätte fand, sei es daß es als Oberflächenwasser seitlich in die Ölschicht eingedrungen ist. Wasserfreie Öllagerstätten können nur dann entstehen, wenn das Öl unter solchen Bedingungen zur Anreicherung kam, bei denen ein Ansammeln von Wasser oder ein späteres Nachdringen unmöglich war.

Das Salzwasser wurde bereits mit dem Urmaterial zusammen in dem Muttergestein des Erdöles eingeschlossen, weshalb es als «gleichzeitig geborenes» Wasser (connate water) bezeichnet wird. Es steht chemisch dem Meerwasser nahe, nur ist der Kochsalzgehalt gewöhnlich größer, und charakteristisch für das Wasser aus den Erdöllagerstätten ist das starke Zurücktreten oder gar Fehlen von Sulfaten und der Reichtum an Karbonaten, die aber stark zurücktreten, wenn Chloride das vorherrschende saure Radikal bilden. Das Fehlen von Sulfaten macht sich besonders in der Tiefe bemerkbar, während sie nach oben zunehmen und zwar, roh genommen, proportional der Abnahme der Sulfide von unten nach oben. Die Ursache dieser Erscheinung wurde bereits im ersten Abschnitt besprochen. Auch die in Erdölgebieten so häufig auftretenden Schwefelwasserstoffquellen stehen hiermit im Zusammenhang. Jod und Brom sind ebenfalls fast immer vorhanden, manchmal sogar in gewinnbaren Mengen. In manchen obern Schichten herrschen Kalzium und Magnesium vor, nach unten aber Natrium und Kalium.

Es ist klar, daß diese Gesetzmäßigkeit nur dann voll zur Geltung kommt, wo das mit dem Urmaterial gleichzeitig eingeschlossene Meerwasser vor dem Eindringen von atmosphärischem Oberflächenwasser vollständig geschützt war. In der Praxis ist das Wasser näher der Oberfläche gewöhnlich ausgesüßt und nach unten nimmt dann der Salzgehalt allmählich zu.

(Schluß folgt.)