

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die neueren Ansichten über die Entstehung des Erdöles**

**Engler, Carl**

**Berlin, 1907**

Die Abbauprozesse der Bildungsmetamorphose des Erdöls

[urn:nbn:de:bsz:31-266553](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-266553)

stellt, indem er sich die Bildung kohligter Substanzen des Erdöls mehr nach Analogie eines Karamelisierungsprozesses verlaufen denkt. Eine ähnliche Auffassung vertritt auch Marcusson<sup>25</sup> und hält den „Molekularkohlenstoff“ für kolloidalen, in gewöhnlicher Weise durch Oxydation und Polymerisation entstandenen Asphalt. Er führt den Nachweis, daß nach Ausscheidung des Asphalts nach der Holdeschen Methode das polarisierte Licht glatt durch das Oel hindurchgeht.

Für die Annahme, daß Zellulose unter den besonderen Bedingungen hohen Drucks bei niedriger Temperatur direkt Erdöl bilden könne, ohne daß große Mengen Kohlenstoff oder kohlige Produkte daneben entstehen, fehlt jedwede experimentelle Grundlage. Nur insofern, als durch Aufzehrung von Kohlenhydraten durch Mikroorganismen kleine Mengen von Fett gebildet werden<sup>26</sup>), könnten indirekt auch im Bildungsvorgang des Erdöls entsprechende Mengen Fett aus Kohlenhydraten entstehen und diese letzteren also ebenfalls zur Erdölbildung beitragen. Grundsätzlich ist es aber, vom chemischen Standpunkt aus betrachtet, ganz gleich, ob Kohlenhydrate von Mikroorganismen, z. B. Bakterien, oder von Makroorganismen, beispielsweise Sauriern, Fischen etc., in Fett umgewandelt werden, ehe sie in Erdöl übergehen; Fett bleibt in beiden Fällen das nächste Ausgangsmaterial.

### Die Abbauprozesse der Bildungsmetamorphose des Erdöls.

Die weiteren Metamorphosen bei der natürlichen Bildung des Erdöls aus Fettresten sind die Verseifung und die darauffolgende Umwandlung der Fettsäuren in Erdöl.

Der erstere Vorgang, die Verseifung der Fettstoffe, kann durch Wasser oder durch Fermente, oder auch durch gleichzeitige Wirkung beider vor sich gegangen sein. — Inwieweit gemäß den neuesten Ansichten Krämers (Chem.-Ztg., 1907, 677) für die Wachse der Algen der Verseifungsprozeß theoretisch und praktisch ausgeschaltet werden kann, bleibe vorerst dahingestellt.

Daß heißes Wasser oder Wasserdampf Fette verseift, ist

<sup>25</sup>) Chem.-Ztg., 1907, S. 421.

<sup>26</sup>) Omelianski (Compt. rend. 125, 1897, S. 597 und 1131) findet zwar bei Vergärung von Papierzellulose mit seinem Ferment neben Kohlensäure und Wasserstoff etwa 70% Fettsäuren. Diese bestehen aber fast ausschließlich aus Essigsäure und Buttersäure mit einer Spur Valeriansäure, sind also wahrscheinlich Produkte der Oxydation normaler Vergärung, vielleicht auch einer Autolyse. Es fehlen besonders die ausschlaggebenden höheren Homologen.

bekannt. Schon vor langer Zeit angestellte Versuche von J ü n n e m a n n <sup>27</sup> mit Hammeltalg zeigen, daß dieser auch durch kaltes Wasser unter Ausscheidung von freien Fettsäuren vollständig verseift werden kann. Schweineschmalz wird nach Versuchen im hiesigen Laboratorium durch längeres Schütteln auf der Schüttelmaschine mit kaltem Wasser ebenfalls unter Ausscheidung freier Fettsäuren zersetzt.

Daß Fermentwirkungen bei dem Prozeß der Erdölbildung im allgemeinen eine wichtige Rolle spielen, steht außer Frage. Schon in meiner ersten Arbeit <sup>28</sup>) über diesen Gegenstand habe ich in einer solchen Wirkung den Beginn der ganzen Metamorphose erblickt, indem ich annahm, daß dadurch die stickstoffhaltige Substanz und andere Nicht-Fettstoffe der tierischen und pflanzlichen Reste der Hauptsache nach beseitigt werden. Die Annahme liegt nahe, daß die Fermentwirkung mit dem Wegfaulen jener Stoffe nicht plötzlich aufhört, daß sie vielmehr — vielleicht durch Fermente, wie sie sowohl den abgestorbenen Organismen selbst entstammen, als auch von besonderen Mikroorganismen (Bakterien usw.) geliefert werden können — auch auf die stickstofffreien Fettreste übergreift, um zunächst eine Verseifung dieser letzteren unter Bildung freier Fettsäuren herbeizuführen. Die fermentative Verseifung ist bekanntlich schon technisch verwendet <sup>29</sup>).

Ob damit noch eine weitergehende Spaltung hochmolekularer Fettsäuren durch Fermentwirkung verbunden ist, muß dahingestellt bleiben. Als Analogiefall könnte hier nur die von Schreiber <sup>30</sup>) beobachtete Bildung von Buttersäure aus Oelsäure durch Schimmelpilz herangezogen werden. Doch liegt hier ein Ausnahmefall vor, da die Fettsäuren sonst ohne isolierbare Zwischenprodukte vollständig oxydiert werden.

Ueber den nun folgenden Prozeß des weiteren Abbaus der Fettsäuren zu Kohlenwasserstoffen gehen die Ansichten noch auseinander. Die einen nehmen gleichzeitige oder unmittelbar aufeinanderfolgende Kohlensäure- (und Wasser-)Abspaltung

<sup>27</sup>) Bayr. Kunst- und Gewerbeblatt, 1866, S. 724.

<sup>28</sup>) Ber. d. Deutsch. chem. Ges., 21 (1888), S. 1824.

<sup>29</sup>) Siehe darüber insbesondere Connstein, Hoyer und Warthenberg (Ber. d. Deutsch. chem. Ges., 35, 1902, S. 3988); auch D. R.-Patent No. 147 757, Allg. Chem.-Ztg., 1907, No. 35. Neuerdings S. Fokin, Chem. Rev. d. Fett- und Harzindustrie, 1906, Heft 6—10; ferner Zellner: Fettspaltendes Ferment der Pilze, Chem.-Zentr., 1905, II, S. 409; 1906, II, S. 530; Warburg: Spaltung von Laurinestern durch das Pankreasferment, *ibid.*, 1906, II, S. 597; desgleichen Neuberg a. a. O.

<sup>30</sup>) Zentralbl. f. Bakter., Bd., 16 (1906), S. 82, aus Arch. f. Hyg., Bd. 41, S. 328.

sowie Umwandlung in Erdöl durch Wärme- und Druckwirkung an, die anderen (Zaloziecki, Krämer u. a.) lassen die Fettsäuren bezw. die Wachse zunächst in Erdwachs oder erdwachsähnliche Kohlenwasserstoffe<sup>31)</sup> übergehen, die dann erst in späteren Epochen durch die Wirkung von Wärme und Druck<sup>32)</sup> in das eigentliche Erdöl umgewandelt werden. Beides ist möglich, doch sprechen mancherlei Momente, die namentlich auch von Krämer betont werden, für die letztere Auffassung.

Ob man in der Tat bei dem Abbau der Fettsäuren zu Kohlenwasserstoffen, zu erdwachsähnlichen Massen oder gar bis zum Erdöl mit der Möglichkeit solcher fermentativer Wirkungen zu rechnen hat, steht dahin. Die wissenschaftlich exakt verfolgten Beispiele der Bildung von Kohlenwasserstoffen durch Wirkung von Fermenten sind sehr selten; nur Methan<sup>33)</sup> sehen wir sehr häufig als ein solches Produkt in der Natur auftreten. Es ist aber bemerkenswert, daß dabei die höheren Homologen fast immer fehlen. In neuester Zeit hat allerdings Oliviero<sup>34)</sup> durch Einwirkung der Enzyme von *Penicillium glaucum* und *Aspergillus niger* auf Zimtsäure die Bildung von Cinnamen nachgewiesen<sup>35)</sup> und die Bildung kleiner Mengen Styrol aus Zimtsäure auf diesem Wege konnte durch Versuche Ripkes im hiesigen Laboratorium bestätigt werden; doch ist dies der einzige mir bekannte Ausnahmefall dieser Art.

---

<sup>31)</sup> Die Konsistenz dieses Zwischenproduktes kann natürlich sehr verschieden sein zwischen flüssig und fest.

<sup>32)</sup> Daß mit dieser Druckwirkung in erster Reihe die durch den Druck ermöglichte Temperatursteigerung sowie die Erhöhung der Konzentration gemeint ist, und nicht der Druck an sich, möge an dieser Stelle zur Verhütung weiterer Mißverständnisse nochmals besonders betont sein.

<sup>33)</sup> Volta war der erste (s. bei Hoppe-Seyler: Zeitschr. f. physiol. Chem., 10, 1886, S. 201, nach Lettere de Sign. Al. Volta, Patrizio Comasco, sull'aria infiammabile nativa della paluti, Milano 1777, deutsch von Köstlin, Straßburg 1778, pag. 8), welcher auf das weitverbreitete Vorkommen des Sumpfgases aufmerksam machte. Siehe darüber auch L. Popow: Pflügers Arch., 10, 1875, S. 821; Radziszewski: s. bei Höfer: Das Erdöl, II. Aufl., S. 183, und bei Hoppe-Seyler: Zeitschr. f. physiol. Chemie, 10, 1886, S. 201, 401. Ferner Omelianski: Chem.-Ztg., 1906, Rep. 286.

<sup>34)</sup> Chem. Zentr., 1906, II, S. 608.

<sup>35)</sup> Auch die von Weinlandt (Ztschr. f. Biologie, 48, 1906, S. 87, siehe auch Biochem. Zentralbl., 5, 1906, S. 579) konstatierte Abspaltung von Kohlensäure und Wasserstoff aus den Fettsäuren des im Brei der Puppen von *Calliphora* enthaltenen Fettes unter Annahme der Bildung eines Kohlenwasserstoffrestes sei hier erwähnt; sie ist um so bemerkenswerter, als die Abspaltung der Gase nicht durch Bakterien veranlaßt ist.

Erscheint sonach die Möglichkeit einer Bildung des Erdöls aus Fetten auf dem Wege der Fermentation, rein chemisch betrachtet, nicht als ausgeschlossen, so stehen doch einer solchen Annahme unter Mitberücksichtigung der besonderen Verhältnisse, unter denen in der Erdkruste dieser Prozeß vor sich gehen müßte, schwerwiegende Bedenken entgegen.

Dem Ausspruch Z a l o z i e c k i s<sup>36)</sup>, daß so lange man von der Existenz bitumenbildender Bakterien keine Kenntnis hat, die Bildung unter Wärme-Druckwirkung die einzig richtige bleibt<sup>37)</sup>, kann deshalb nur zugestimmt werden. Es kommen aber auch noch positive Anhaltspunkte dazu, die gegen fermentative Wirkung sprechen.

Wenn wir uns vorstellen, daß im allgemeinen die ersten Metamorphosen der Umwandlung von Fettstoffen in Petroleum noch unter freiem Luftzutritt vor sich gehen konnten, so muß doch der Vollzug der späteren Vorgänge, namentlich der letzten Phase der eigentlichen Petroleumbildung, in bedeutenden Tiefen sich abgespielt haben und damit schon bei so hohen Temperaturen, daß eine Entstehung auf dem Wege der Fermentation als sehr unwahrscheinlich erscheint. Zudem „ist in 3—6 m Tiefe der Boden gewöhnlich keimfrei“<sup>38)</sup>, so daß es unwahrscheinlich ist, daß die Bakterien in so beträchtlichen Tiefen ihre Tätigkeit entfalten können. Daß das letzte Stadium der Erdölbildung aber in größeren als nur solchen Tiefen stattgefunden haben muß, läßt schon die Tatsache der Anwesenheit leichtest flüchtiger, bei gewöhnlicher Temperatur teilweise gasförmiger Kohlenwasserstoffe erkennen, die nur außer Kommunikation mit der Atmosphäre und also in großen Tiefen entstanden sein können. Sie hätten sonst längst verdunstet sein müssen und sich nicht durch Jahrtausende erhalten haben können<sup>39)</sup>.

<sup>36)</sup> Chem.-Ztg., 1891, S. 1205; siehe auch Höfer: Das Erdöl, II. Aufl., S. 221.

<sup>37)</sup> Die zahlreichen von Bertels, Sickenberger, Pfeiffer, Lesquereux, Kratter, Radziszewski u. a. gemachten Wahrnehmungen und ausgesprochenen Vermutungen lassen sich auch auf andere Weise deuten. (Näheres siehe bei Höfer, a. a. O., S. 218.) Die von G. Meyer (Chem.-Ztg., 1906, S. 814) gemachte Beobachtung der Bildung von Erdöl durch Fäulnis in einem ihm aus Altenberg zugegangenen Schlamm bedarf noch weiterer Bestätigung, namentlich auf experimentellem Wege.

<sup>38)</sup> A. Gärtner: „Leitfaden der Hygiene“, 4. Aufl., 1905, S. 91.

<sup>39)</sup> Aus dem gleichen Grunde kommen auch paraffinspaltende Fermente, wie ein solches neuerdings von R a h n (Zentralblatt f. Bakteriologie, 16, 1906, S. 383) nachgewiesen wurde, auch Prozesse wie Bildung von Undekan aus Ameisenöl (a. a. O., S. 384, aus Ber. d. Deutsch. chem. Ges., 25, 1892, S. 1489) nicht in Betracht.

Es sind aber auch bis jetzt noch keine Organismen bekannt, die wenigstens gegen größere Mengen von Kohlenwasserstoffen widerstandsfähig wären. Toluol ist Antiseptikum (Emil Fischer), auch Petroleum (Ostwald).

Mag man deshalb auch noch einen Abbau der Fettreste bis zum Stadium von Mineralwachsen, also von hochmolekularen Kohlenwasserstoffen mit wechselnden Mengen sauerstoffhaltiger Reststoffe, durch Fermentwirkung zugeben, so muß doch die letzte Spaltung auf eine gewaltsame Reaktion zurückgeführt werden<sup>40)</sup>: auf die Wirkung von Wärme mit Druck, wobei bis zu einem gewissen Grad Temperatur und Zeit sich kompensieren, d. h. auch erheblich weniger hohe Temperaturen als bei der künstlichen Druckdestillation (300—400 °) angenommen werden können.

Bei dieser Gelegenheit sei richtiggestellt, daß ich diesen gewaltsamen Vorgang der Erdölbildung keineswegs mit einer künstlichen Druckdestillation bis ins einzelne identifizieren wollte. Nur der analoge chemische Spaltungsprozeß war und ist damit in meiner siebenten These gemeint, was ich gegenüber den Einwendungen Krämers besonders betonen möchte. Schon in meiner ersten Abhandlung<sup>41)</sup> ist der Nachweis geführt, daß man Oelsäure oder Fischtran durch Erhitzen unter Druck auch ohne Destillation in „künstliches Petroleum“ umwandeln kann, und wenn auch bei den damaligen Versuchsbedingungen Stearinsäure ohne die Möglichkeit des Abdestillierens der Spaltungsprodukte sich nicht zersetzen ließ, so haben doch neuere, in meinem Laboratorium durchgeführte Versuche gezeigt, daß auch die Stearinsäure beim Erhitzen im Druckrohr auf 380 bis über 400 ° ohne Destillation unter Bildung von erheblichen Mengen leichtsiedender Kohlenwasserstoffe (Beginn des Siedens 35 °) verflüssigt werden kann. Young (und Thorpe: Jahresber. d. Chem., 1871, S. 461) hat übrigens das Paraffin nur unter Druckdestillation in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt und nicht durch bloßes Erhitzen unter Druck ohne Destillation, was Krämer anzunehmen scheint (Chem.-Ztg., 1907, S. 677).

Gegenüber der Bemerkung de Wildes, die den Anschein erweckt, als ob ich die schon lange bekannte Bildung geringer Mengen

---

<sup>40)</sup> Stahl (Chem.-Ztg., 1905, S. 666; 1906, S. 18) nimmt an, daß aus dem Schwefelwasserstoff faulender Proteine mit Eisen (gebildet aus Eisenoxyd und Kohlenstoff der organischen Substanz) Schwefel-eisen und Wasserstoff entstehe, welch letzterer mit dem Kohlenstoff aus Zellgewebe Kohlenwasserstoffe bilde, ein von rein chemischen Gesichtspunkten schwer zu erklärender Vorgang.

<sup>41)</sup> Ber. d. Deutsch. chem. Ges., 21, 1888, S. 1820.

von Kohlenwasserstoffen bei der Erhitzung von Fettsäuren ignoriert hätte, verweise ich auf meine ersten Abhandlungen über die Frage der Erdölbildung (Ber., 21, 1888, S. 1820, und Chem. Ind., 1895, S. 5), wo ich ausdrücklich auf die Untersuchung der von Stas gefundenen Kohlenwasserstoffe durch Cahours und Demarçay (Compt. rend., 80, 1875, S. 1568; 89, 1879, S. 331) sowie auf die Arbeit von Stas selbst hingewiesen habe. Zuerst hat übrigens nicht Stas, sondern wie dort ersichtlich, Gottlieb im Jahre 1846, dann Heintz u. a. die Bildung von Kohlenwasserstoffen bei Destillation von Fettsäuren, also schon lange vor Stas, beobachtet.

Ausschlaggebend ist aber, daß die Fettstoffe sich nur unter Druck so umsetzen, daß sich vorwiegend Kohlenwasserstoffe und wenig oder keine kohligen Rückstände bilden.

Auch Erdwachs läßt sich unter gleichen Bedingungen zu einem dünnen Erdöl verflüssigen, desgleichen und noch leichter der bituminöse, teigige Extrakt aus Reutlinger Posidonomyenschiefer.

Von manchen Seiten wird gegen die Annahme dieser gewaltsamen Reaktion geltend gemacht, daß die Temperatur bei den in Betracht kommenden Tiefen der petroleumbildenden und -führenden Schichten nicht hoch genug gewesen sein, auch der vorauszusetzende natürliche Druck nicht ausgereicht haben könne.

Szajnocha<sup>42)</sup> kommt unter der Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 30 m für die bei meinen Druckdestillationen von ihm angenommenen Temperaturen von 365—420° auf eine Tiefe von 10 950—12 600 m, in der sich der Umwandlungsprozeß vollzogen haben könnte, was nur eine 5—6 mal größere Tiefe bedeute, als beispielsweise das 2000 m tiefe Bohrloch von Paruschowitz, dessen Temperatur 60° betrage. Er hält selbst diese Tiefe für klein im Verhältnis zu den gewaltigen, im Laufe vieler geologischer Epochen eingetretenen Niveauveränderungen der Ozeane und ihrer hart gewordenen Sedimente. Stahl<sup>43)</sup> kommt zu ähnlicher Tiefe (30 000 Fuß) für eine Abänderung des Vorganges bei 300°, ist aber infolge beobachteter Nichtveränderung der unter dem erdölführenden Tertiär des Kaukasusgebietes in größerer Tiefe sich befindenden Steinkohle, die ebenfalls hätte „destilliert“ sein müssen, der Meinung, daß auch die darüber liegende Erdölschicht nicht auf jene hohe Temperatur erhitzt gewesen sein konnte.

Dieser Einwand ist jedoch nicht ausreichend, denn unter Heran-

<sup>42)</sup> Szajnocha: Ueber die Entstehung des karpath. Erdöls. Lemberg 1899.

<sup>43)</sup> Chem.-Ztg., 1906, S. 18.

ziehung der Tatsache, daß bis zu einem gewissen Grade die geringere Höhe der Temperatur durch die Länge der Zeit kompensiert wird, kann man bei gleichstarkem Druck in der Natur mit erheblich niedrigeren Temperaturen rechnen.

Andererseits muß berücksichtigt werden, daß Steinkohle, wenn sie sich unter starkem Druck befindet, eine erheblich höhere Zersetzungstemperatur als unter gewöhnlichem Druck besitzen muß. Ich kann dies durch das folgende, in Gemeinschaft mit Herrn Hviid ausgeführte Experiment bestätigen. Je 25 g Steinkohle aus dem Ruhrbecken wurden das eine Mal im offenen, das andere Mal im zugeschmolzenen Rohr nebeneinander im Bombenofen erhitzt. Bis 270° zeigte sich im ersteren Rohr eine schwache Gasentwicklung von offenbar noch eingeschlossenen Gasen, aber keine deutliche Veränderung des äußeren Aussehens der Kohle; von 270—365° entwickelte sich so viel wie kein Gas, worauf dann mit weiter steigender Temperatur eine deutliche Veränderung der Steinkohle mit zunehmender Gasentwicklung eintrat, auch verdichteten sich in der kleinen Vorlage Teer und Wasser. Es wurde bis 425° erhitzt und zwei Tage lang bei dieser Temperatur erhalten, wobei die Gasentwicklung zuletzt aufhörte; das entwickelte Gesamtvolumen des brennbaren Gases betrug 745 ccm; der Gewichtsverlust der koksartig aussehenden Kohle 4,1 g. Die ganz in gleicher Weise erhitzte zweite, aber zugeschmolzene Glasröhre entwickelte beim Öffnen 850 ccm eines brennbaren, nach Schwefelwasserstoff riechenden Gases, die Kohle erschien jedoch äußerlich nur wenig verändert, auch war von teerigen Zersetzungsprodukten nichts zu bemerken, und beim Extrahieren der rückständigen Kohle mit Aether färbte sich dieser nicht und ergab beim Verdunsten so viel wie keinen Rückstand. Der Gewichtsverlust betrug entsprechend der Gasmenge, die sich später nicht mehr vermehrte, nur 2,1 g. Hieraus darf geschlossen werden, daß unter starkem Druck befindliche Steinkohle nur bis zur Bildung einer bestimmten Gasmenge sich zersetzt, bei der Bildungstemperatur des Erdöls und darüber aber beständig ist, so daß also sehr wohl unzersetzte Steinkohle selbst unter Petroleumlagern vorkommen kann.

Gegen die auch von anderen Seiten erhobenen Einwendungen zu großer Tiefe, in welche die erdölführenden Schichten zu versetzen sind, um Temperaturen von 300° und darüber zu erreichen, muß daran erinnert werden, daß die geothermischen Tiefenstufen nach den Angaben von Arrhenius<sup>44)</sup> keineswegs überall gleich sind, und daß

<sup>44)</sup> Lehrbuch d. kosm. Physik, I, S. 279.



man schon erheblich kleinere Werte als 33 m pro 1° konstatiert hat. *Branco*<sup>45)</sup> z. B. gibt für Neufen in Württemberg als Tiefenstufe nur 11 m an und *Kayser*<sup>46)</sup> führt für die Steinkohlengrube bei Monte Massi (Toscana) 13,7 m, für die Goldbergwerke von Comstock (Nevada) 15,25 m auf, mit welchen Werten man nur auf etwa 4000 bis 5000 m der erforderlichen Tiefe kommt. Auch macht *J. F. Hoffmann*<sup>47)</sup> darauf aufmerksam, daß man für frühere Perioden bei noch geringerer Abkühlung der Erde mit Wärmestauungen und also mit geringeren Tiefenstufen zu rechnen habe<sup>48)</sup>, sowie außerdem mit der stärkeren Sonnenwirkung unter einer Wasserdampfatmosphäre und mit durch dynamische Vorgänge verursachter Reibungswärme.

Bezüglich der in den Erdschichten zur Wirkung kommenden Drucke darf nicht, wie es beispielsweise von *O. Lang*<sup>49)</sup> geschieht, nur mit der durch die auflagernden Horizontalschichten der Erdmasse bewirkten Last gerechnet werden, auch nicht — in Relation dazu — mit den zurzeit in diesen Zonen herrschenden Temperaturen<sup>50)</sup>; es kommen vielmehr ganz besonders auch die Seitendrucke in Betracht, welche durch Faltungen, Verwerfungen usw. in Wirksamkeit treten. *G. Wepfer*<sup>51)</sup> berechnet diese Faltungsdruckkraft für die Alpen auf das 1720 fache der Druckfestigkeit des Granits, welche pro 1 qcm ca. 1000 kg (also ca. 1000 Atmosphären) beträgt. Nach der isostatischen Theorie von *Pratt* sind die Erdmassen in allen Radialrichtungen gleich. Unter den Erhebungen der Gebirge müssen sich deshalb Defekte, unter den Vertiefungen (Meeresgrund) Verdichtungen befinden und letztere treten naturgemäß auch häufig längs der Gebirge an der Grenze gegen die Täler usw. auf, wie z. B. eine solche durch neueste Messungen längs des oberen Schwarzwaldes festgestellt ist. Bei eintretender Verwerfung verschieben sich deshalb oftmals obere Schichten über die unteren, der Gegendruck löst sich hier aus, während er darunter selbstverständlich weiter besteht. Daß solche Verschiebungen und dynamischen Wirkungen oft auch von erheblicher Wärmeentwicklung begleitet sind, liegt auf der Hand und diese Vorstellung

<sup>45)</sup> Geol. Zentralblatt, 1905/1906, S. 187.

<sup>46)</sup> Lehrbuch der Geologie, 1893, S. 41.

<sup>47)</sup> Gerlands Beitr. z. Geophysik, 7, 1905, S. 327.

<sup>48)</sup> Auch für die Anthrazitbildung kommt man nach *Hoffmann* mit der derzeitigen Tiefenstufe von 33 m nicht aus.

<sup>49)</sup> „Glückauf“, Essen 1895, No. 29, 30, 31.

<sup>50)</sup> Selbstverständlich ist auch nach meiner Ueberzeugung das von *Lang* herangezogene Erdöl nicht in den 80–90 m tiefen Oelsanden entstanden.

<sup>51)</sup> Näheres über die Mechanik dieser Vorgänge siehe im Original: Vierteljahrsschrift der Naturforsch.-Ges., Zürich, 50, 1905, S. 135.

steht in Uebereinstimmung mit dem Vorkommen des Erdöls längs großer Gebirgszüge. Damit steht keineswegs im Widerspruch, daß lokal das Erdöl aus tieferen Schichten auch in die Rückenregionen von Schichtensätteln gelangen kann, ohne ein Destillat aus dem Erdinnern zu sein.

Unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse widerspricht es keinerlei Tatsachen, anzunehmen, daß die gewaltsame Reaktion, welche den Endprozeß der Erdölbildung darstellt, eine durch Wärme und Druck bewirkte Zersetzung teilweise schon bituminiertes Fettreste gewesen ist, wobei nicht bloß die normalen Drucke und Temperaturen der Erdkruste in Rechnung zu ziehen sind, sondern auch erhebliche Steigerungen derselben, welche durch Faltungen, Verwerfungen, vielleicht auch durch seismische Vorgänge und durch andere der oben erwähnten Einflüsse hervorgerufen werden können.

Daß dabei oftmals Wanderungen des Oeles aus kompakten dichten in poröse Schichten wie Sand usw. eintreten, ist selbstverständlich und ebenso, daß bei solchen Wanderungen erhebliche Veränderungen der Beschaffenheit des Erdöls — Beseitigung asphaltartiger u. a. Bestandteile — durch Berührung mit Ton, Filtration durch Sand usw. stattgefunden haben können, worauf schon früher wiederholt hingewiesen worden ist.

### Die Selbstpolymerisation der Kohlenwasserstoffe des Erdöls.

Eine notwendige Folge gewaltsamer Zersetzung hochmolekularer Verbindungen unter Abspaltung kohlenstoffärmerer Glieder der Methanreihe ist die Bildung ungesättigter Restspaltstücke<sup>52)</sup>. Und wenn diese in späteren Perioden wieder in niedere Temperaturen gelangen, so muß bei einem dafür günstigen Gleichgewicht jene Selbstpolymerisation derselben erfolgen, deren tatsächliches Eintreten mir<sup>53)</sup> nicht nur bei dem künstlichen Druckdestillat aus Tran, sondern auch bei Destillaten hochsiedender Teile von Erdöl, Braunkohlenteeröl u. a. experimentell nachzuweisen gelang<sup>54)</sup>.

Dasselbe stellte Ubbelohde in anderer Weise durch die Beobachtung fest, daß ein frisch destilliertes Mineralschmieröl in ver-

<sup>52)</sup> Siehe auch schon Thorpe und Young (Lieb. Ann., 165, 1872, S. 1) über die Zersetzung des Paraffins unter Druck.

<sup>53)</sup> Engler: Ber. d. Deutsch. chem. Ges., 30, 1897, S. 2358.

<sup>54)</sup> Umgekehrt nimmt Moissan (Rev. génér. d. Sc., 1901, S. 946; Geol. Zentralbl., 1902, Bd. II, S. 483) für die aus Karbiden gebildeten Kohlenwasserstoffe eine nachträgliche, unter der Einwirkung einer Temperaturerhöhung stattfindende Polymerisation an.