Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 17 (1922-1923)
Heft: 5

Artikel: Die Entstehung des Asphaltes im Département du Gard
Autor: Heim, Arnold
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-158104

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 28.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Entstehung des Asphaltes im Département du Gard.

(Nach Vorträgen, gehalten an der Vers. schw. naturf. Ges. Bern, Aug. 1922 und in der Geol. Ges. in Zürich, Nov. 1922.)

Von Arnold Heim (Zürich).

Mit 1 Tafel (XXIII) und 7 Textfiguren.

Inhalt.

Seite
1. Geologische Lage 468
2. Verbreitung und Abbau des Asphaltkalkes 468
3. Stratigraphische Übersicht 470
4. Die Asphaltkalkschichten 472
5. Kalkalgen als Asphaltbildner 475
6. Auftreten des Asphaltes in den Chara-Röhrchen 478
7. Mollusken als Asphaltbildner 479
8. Plankton 480
9. Vergleich mit rezenten Seebildungen 480
10. Weitere Faciesbeobachtungen 482
11. Tektonik und Asphaltführung 483
12. Porosität und Verdunstung 484
13. Chemische Umwandlungen 486
14. Chemische Analysen 487
15. Ergebnisse 491

Das Asphaltgebiet des Département du Gard ist das bedeutendste Frankreichs, und wie kaum ein anderes der Erde geeignet, die Entstehung des Asphaltes aufzuklären. Da der Asphalt aber nichts anderes als eine Modifikation von Erdöl ist, so gelten die Resultate zugleich auch als Spezialfall der Petroleum-Geologie.

Die allgemeinen geologischen Verhältnisse sind dargestellt auf der geologischen Karte von *Alais*[1]), von welcher zur Zeit eine Neuauflage im Drucke steht.

Die paläontologische Stratigraphie des Tertiärs dieser Gegend ist durch die wertvollen Arbeiten von Fontannes, und von Fr. Roman[2]) klargestellt worden. Ein zwar sehr

---

[1]) Carte géol. détaillée de la France, par Fabre, 1 : 80,000, No. 209,1901.

[2]) Fr. Roman, Contributions à l'étude des bassins lacustres de l'Eocène et de l'Oligocène du Languedoc, B. S. G. F. 1904, und Faune saumâtre du Sannoisien du Gard, B. S. G. F. 1910, p. 927.

schematisches und teilweise unrichtiges Profil von St. Jean-de-Maruéjols gibt Vedel[1]).

Über die Asphaltführung berichtet Nicou[2]) in einer vorwiegend technischen Arbeit. Die Frage der Entstehung der Asphaltimprägnation, ob durch Vulkanismus oder Thermalwasser, oder aber auf primäre Weise, wird am Schlusse diskutiert, ohne ein Resultat zu zeitigen.

1. *Geologische Lage.*

Zur Eogenzeit erstreckte sich von der Nähe des Mittelmeeres (Montpellier) aus nach Norden ein See von 5—10 km Breite und über 70 km Länge. Zu Beginn des Oligocän stand er durch Lagunen mit dem Meer in Verbindung. So gesellten sich zu den reinen Süsswassermollusken wie Limnea, Planorbis, Bithynia, Melania, Helix, typische Brackwasserformen, wie Cyrena, Bithynella, Hydrobia, Striatella etc. Das Gebiet dieses ehemaligen Sees, das bis heute teilweise die Form eines flachen Beckens bewahrt hat, wird in der Literatur als „Bassin tertiaire d'Alais" bezeichnet (Fig. 1).

Es wird im NW von dem alten Gebirgsrumpf der Cevennen, auf allen übrigen Seiten eingefasst und unterteuft von Urgonkalk (Untere Kreide), welcher gegen das Rhonetal hin ausgedehnte Plateaus bildet. Über die vermeintliche „Faille des Cévennes" bei St. Ambroix, sowie über P. Termier's sogenannte Überschiebung von „Urgonien mylonitique sur l'Oligocène" von Alais soll in einer besonderen Arbeit berichtet werden.

2. *Verbreitung und Abbau der Asphaltbildungen.*

Die Asphaltbildungen des Département du Gard gehören dem *Ostrande* des Beckens von Alais an, und sind zum Teil an der Oberfläche, z. T. durch Bohrungen nachgewiesen worden von Mons östlich Alais nach NE bis Avéjan, d. i. auf eine Länge von 23 km und auf eine Breite bis zu 2 km. Die Unterbrechung zwischen dem südlichen und dem nördlichen Teil der Zone, bei Rivières, ist vielleicht nur scheinbar, infolge von Mangel an Aufschlüssen und an Bohrungen.

Dem südlichen Teil, zwischen Mons und Auzon, gehören 5 lückenlos aneinander gereihte Konzessionen auf Asphalt an.

---

[1]) Louis Vedel, Note sur le rôle de la Faille des Cévennes dans la région de Saint-Ambroix, B. S. d'Etude d. Sc. nat. de Nîmes, 1912—13.

[2]) P. Nicou, Les calcaires asphaltiques du Gard, Annales des Mines. 11e livr., 1906, p. 513—568.

Doch wird in diesem Gebiete heute nicht mehr gearbeitet, und die Aufschlüsse sind zum Teil verfallen. Wir beschäftigen uns daher in der vorliegenden Arbeit *nur mit dem nördlichen Gebiet* (nördlich der Sèze), dem 3 Konzessionen angehören, wovon 2 in Betrieb stehen:

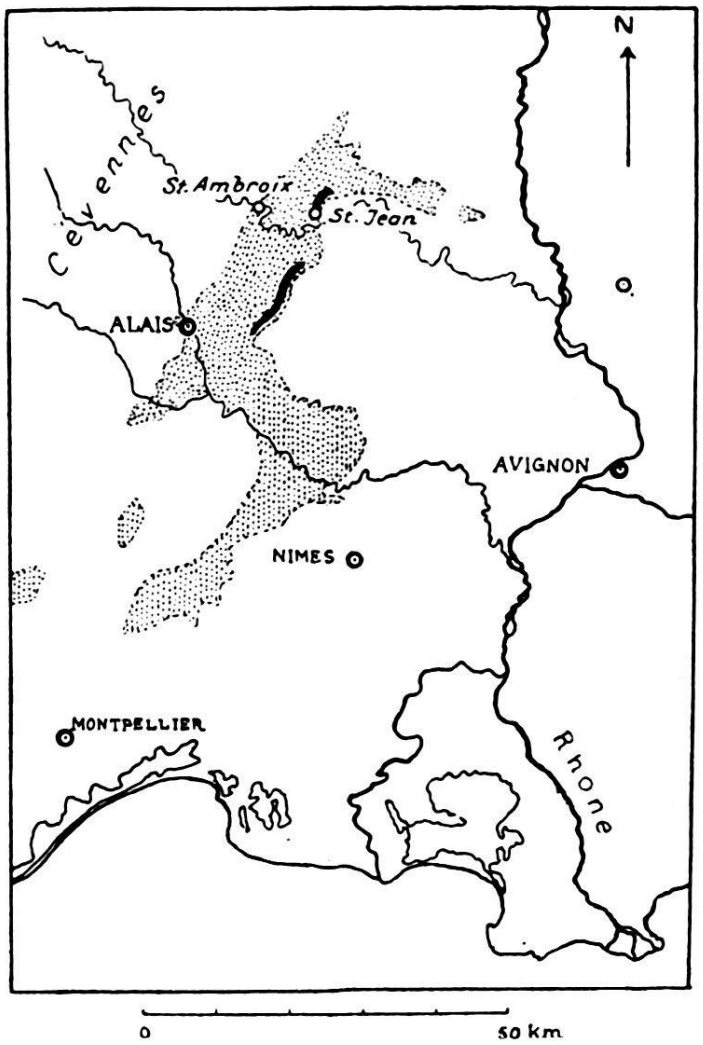

Fig. 1. Kartenskizze des Tertiärbeckens von Alais, 1: 150,000. Punktiert: Eogen, darin schwarz das Asphaltgebiet.

I. Concession von Saint-Jean-de-Maruéjols, unmittelbar nördlich an dieses Dorf anschliessend, ausgebeutet durch die „Société Française des Asphaltes".

II. Concession Fontcouverte, NE daran schliessend, mit dem Dorfe Avéjan in der Mitte, ausgebeutet durch die „Société du Centre".

Diese beiden Gesellschaften bauen noch heute ausschliesslich das seichte Gebiet östlich der Landstrasse ab, bis zu Tiefen

von etwa 100 m unter der Oberfläche, während die tiefe und viel reichere Zone westlich der Strasse erst durch einige Sondierbohrungen erschlossen ist.

Der Abbau erfolgt auf Schichtstollen. Der Asphaltkalk wird gesprengt und in Blöcken zu Tage gefördert, teils in Schächten (Soc. française), teils auf geneigtem Schichtstollen, weil der alte Schacht ersoffen ist (Soc. du Centre, Fig. 3).

Die Bruchstücke werden bei Tage von Hand sortiert, und alles, was unter 6—8% Asphalt bleibt, auf die Halde geworfen. Der asphaltärmere Kalk mit im Durchschnitt 8% Asphalt wird gemahlen, dann auf 110° C erhitzt und mit 560 Atmosphären

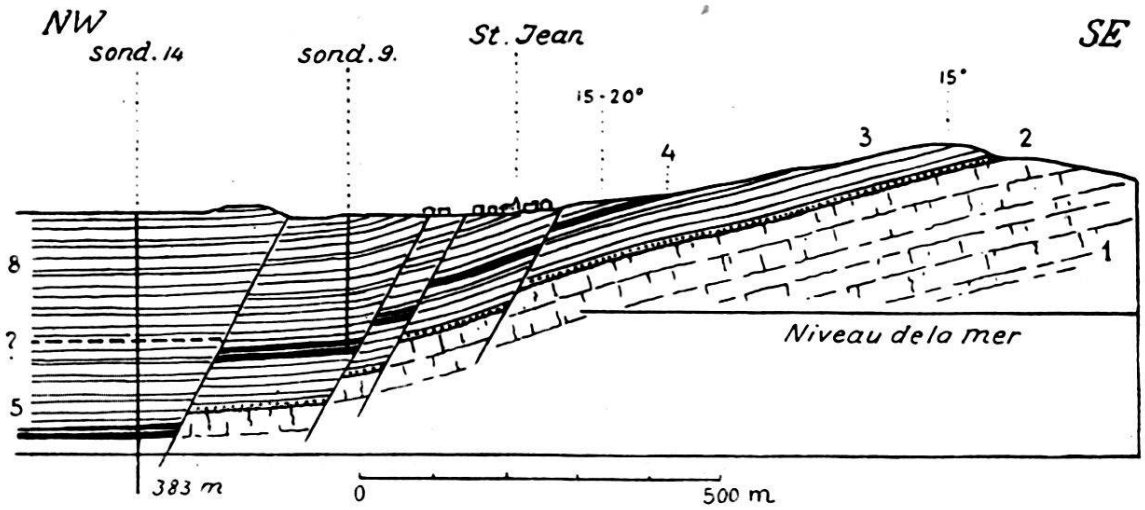

Fig. 2. Schematisches Profil von Saint-Jean-de-Maruéjols, Gard.

1 = Urgonkalk, 2 = Sandstein (Kreide), 3—8 = Stinkkalke des Sannoisien, 4 = Asphaltkalkschichten.

Druck zu „Ziegeln" gepresst. Diese werden vornehmlich zu Bepflasterung und für Hausböden verwendet. An der Luft wird die schokoladebraune Farbe weiss gebleicht.

Der Asphaltkalk mit über 10% Asphalt wird gemahlen und in heissem Zustand mit importiertem Asphalt von Trinidad gemischt, nach der gleichen Methode wie im Val de Travers (Schweiz). Die Kuchen („Pains") werden zur Bepflasterung via St. Ambroix exportiert, besonders nach Paris.

In den letzten Jahren (1920—1922) wurden im Ganzen etwa 50—100 Tonnen Asphaltkalk täglich abgebaut.

3. *Stratigraphische Übersicht.*

Die Schichtfolge bei St. Jean und Avéjan ist die folgende; von unten:

I. Kreide.

1. *Urgonkalk*, massig, im oberen Teil feinkörnig porös, bildet die Bergrücken SE der Asphaltzone, meist 15° NW fallend.
2. Grauer sandiger Kalkstein bis grünlichgrauer quarzitischer Sandstein, feinkörnig, auf der geol. Karte von Alais als Turonien bezeichnet (Gargasien?) ca. 15 m.

II. Oligocän.

Infolge Fehlens der eocänen Süsswasserkalke bei Saint-Jean wird die Kreide unmittelbar konkordant überlagert von

3. Bankigem *Stinkkalk*, weisslich bis licht bräunlich, kreideartig, brackisch, mit *Cyrena Dumasi* Dumas und *Jacquotia apirospira* (= Sannoisien moyen nach Roman), ca. 50 m.
4. Horizont der *Asphaltkalke*. Schwarze und braune Asphaltkalkschichten mit bis 16% Asphalt, in Wechsellagerung mit hellen kreidigen Kalkbänken. Einzelne Lagen sind reich an Mollusken: *Cyrena Dumasi* Dumas, *C. strangila* Font., *Striatella Barjacensis* Font., *Melanopsis* etc.[1]) 14—30 m.
5. *Stinkkalk*, kreidig, teilweise mergelig, mit Cyrenen 80–100m.
6. *Kalkoolith*, in dicken Bänken, bildet das Plateau von Avéjan (Fig. 3.) 10—20 m.
7. Horizont der *Kohle* (Lignite) von Barjac, mit Mergeln, darin nach Roman *Anoplotherium commune*, *Palæotherium medium*, zerdrückte Süss- und Brackwassermollusken: *Limnea*, *Melanoides albigensis* var. *Dumasi* Font., *Melanopsis acrolepta* Font., *Striatella Barjacensis* Font. etc. 20 m.

[1]) Die sandige Facies (grès de Célas) mit bis zu 14 prozentigem Asphaltsandstein ist im Gebiete von St. Jean nicht mehr vorhanden.

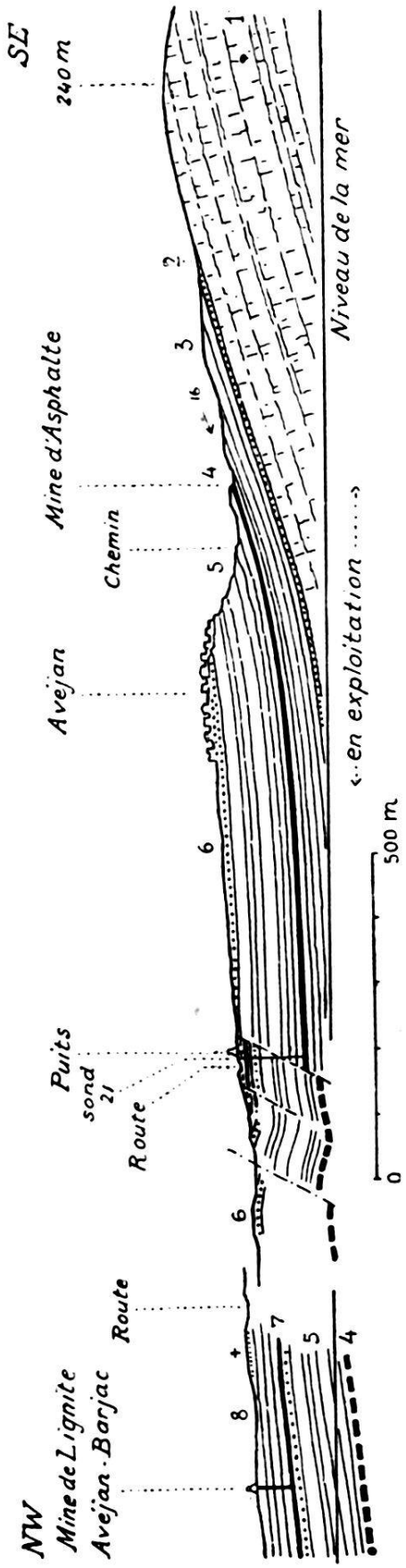

Fig. 3. Querprofil von Avéjan (Concession Fontcouverte).
1—8 wie in Fig. 2, näheres im Text mit gleichen Nummern.

8. *Stinkkalk* und Mergel, kreidig abfärbend, weisslich, erfüllt mit Abdrücken kleiner Cyrenen und Gastropoden, bankig bis plattig, bildet den Hügelrücken 200 m westlich der Landstrasse Saint-Jean-Barjac (Fig. 2). Mächtigkeit unbestimmt, wohl wenigstens 150 m.
9. *Bunte Mergel* mit Sandstein und Conglomeraten, enthaltend *Limnea* und *Planorbis*. Füllmasse des Beckens, mächtig.

Nos. 3—8, zusammen wohl über 300 m mächtig, sind vorwiegend *brackische Kalkbildungen des Sannoisien* (= Tongrien inf.), während No. 9 *kontinentalen Charakter* hat und nach Roman dem *Stampien* bis *Aquitan* angehört.

4. *Die Asphaltkalkschichten.*

Wie oben gezeigt, bildet der Horizont der Asphaltkalke von Saint-Jean eine *normale, schichtförmige Einlagerung innerhalb der mächtigen, brackischen Seekreidebildung des Sannoisien.* Auch innerhalb der Asphaltstufe herrscht *regelmässige Schichtung* von dunkeln Asphaltkalklagen mit hellen Kalken in allen erdenklichen Variationen und Repetitionen. Während einzelne Kalkbänke inwendig kompakt und massig sind, erkennt man in den Asphaltkalken, auch wo diese anscheinend kompakte dicke Bänke bilden, noch eine feinere, oft bis millimeterdünne Schichtung mit der gleichen Wechsellagerung im Kleinen wie im Grossen. Nur dort, wo der Asphalt geflossen ist und den porösen Kalkstein seitlich imprägniert hat, wird die feinste Schichtung etwas verwischt. Der Anblick im Berginneren gehört zum wunderbarsten, was überhaupt von Schichtung zu finden ist.

In der „Mine du Centre", 1 km weiter NE, ist die Schichtfolge noch so wenig verändert, dass selbst einzelne Schichtchen wieder erkannt werden können (vergl. Fig. 4—5 mit Taf. XXIII. Fig. 2). Hier wird auch der untere Teil des Asphalthorizontes teilweise abgebaut. Unter dem Dorf Avéjan, im Minenstollen, wurde folgendes Profil notiert; von oben:

Dach: 5 cm weisser Kalkstein.
5—10 cm schwarze Schiefermergel, entsprechend k.
80 cm Wechsellagerung von Asphaltkalk- und kreidigen Kalkschichten.
50 cm Hauptlager wie f, stellenweise Tropfen von zähflüssigem Asphalt einschliessend.
13 m (ca.) Wechsellagerung wie oben, teilweise abgebaut. Im mittleren Teil, 8,5 m unter dem Dach, befindet sich ein harter dichter blaugrauer Kalkstein mit schön erhaltenen Fossilien, besonders Chara, und Cyrena Dumasi Dumas. (Näheres später.)
10—15 cm schwarzer Schiefermergel wie k.

In der „Mine française" liessen sich folgende Schicht-Unterabteilungen unterscheiden; von oben (vergl. Fig. 4 und 5):

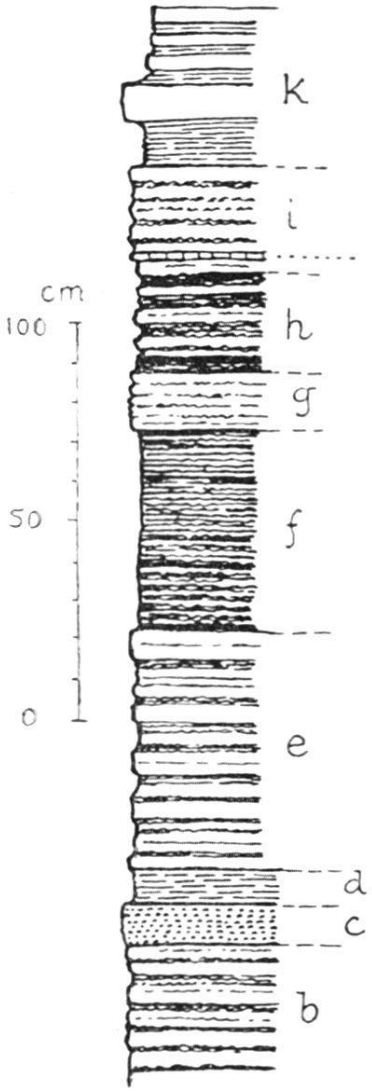

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 4—5. Profile der abgebauten Asphaltkalkschichten der Mine française, Saint-Jean (oberer Teil des Asphalthorizontes).

Dach: Stinkkalk, mergelig, inwendig bläulich, davon im Förderschacht 23 m sichtbar.

k. 40 cm schwarze, asphaltfreie Schiefermergel mit kreidigen Kalkbänken.

i. 20 cm Kalkschichten mit dünnen, braunschwarzen, asphalthaltigen Einschaltungen. An der Basis 1—2 cm dicke braune Silexlagen.

h. 30 cm ebenso, jedoch die asphaltigen Lagen vorherrschend, und teilweise abbauwürdig.

g. 15 cm dünnschichtiger, asphaltarmer Kalk.

f. 50 cm *Hauptlager*. Fein geschichteter, tiefbrauner Asphaltkalk mit 12% mittlerem Asphaltgehalt.

e. 40 cm mergeliger Kalk mit dünnen Asphaltkalklagen.

d. 5—20 cm schwarze Schiefermergel wie oben.

c. 5—15 cm rötlichbraune kompakte asphalthaltige Kalkbank, nicht abbauwürdig („couche rouge").

b. 180 + ? cm kreidige Kalklagen wechsellagernd mit schwarzen Asphaltkalkschichten, stellenweise abgebaut.

Im unmittelbaren Liegenden dieser Schichtfolge findet man oberhalb des Stolleneinganges der Mine du Centre im kreidigen weissen Kalkstein bis 20 cm dicke Bänke von braunem, durchscheinendem *Silex*, der sich unter dem Mikroskop als körnig-filziger Chalcedon erweist. Von Diatomeen ist nichts erkennbar.

In den asphaltführenden Bänderkalken kommen sowohl *feinste weisse poröse Kalkschichtchen* von weniger als 1 mm Dicke *im schwarzbraunen Asphaltlager* vor, als auch umgekehrt *feinste Asphaltkalkschichtchen im weissen Kalkstein*, und zwar beide Arten in ungezählten Repetitionen, wie es *bei einer sekundären Imprägnation völlig undenkbar wäre.*

Vielleicht bedeuten die weissen Kalkschichtchen der fein geschichteten Ablagerungen die *chemischen Sommersedimente*, die dunkeln das *organische Wintersediment.*

Auch die hellen Kalkbänke im Liegenden und Hangenden des Asphaltkalk-Horizontes scheinen spurweise asphalthaltig zu sein, und ergeben in Chloroform leichte Braunfärbung. Der Geruch ist ähnlich wie derjenige der Asphaltschichten. Dies ist ein scharfer Unterschied gegenüber den Sapropeliten vom Typus Torbanite, Boghead, oil shales etc., die geruchlos sind.

Der Fossilgehalt lehrt, dass die gesamten Ablagerungen des Sannoisien *mehr oder weniger brackisch* sind.

Die Veränderungen der Asphaltführung beruhen auf *Faciesveränderungen.* Nach den Resultaten der Bohrungen und Schächte werden *die weiter beckenwärts gelegenen Schichten reicher an Asphalt*[1]). So berichtet z. B. Nicou (l. c. p. 557) von den Schächten südlich Avéjan: „La couche du toit, pauvre au puits A, s'enrichit dans les travaux du puits B au point d'arriver à 12 m exploitables". Vor allem sind es die tieferen Schichtabteilungen, welche sich anreichern, wie die Kerne der Bohrungen No. 9 und No. 14 lehren. Bohrung No. 9 hat von allen *die reichsten Ablagerungen* angetroffen, wie man sich von den prachtvollen Bohrkernen im Bureau der Mine du Centre überzeugen kann: eine 16,5 m dicke Schichtfolge mit einem Gesamtgehalt, der 1,05 m reinen Asphaltes gleichkommt. Man kann sagen, dass die Schichten in der Tiefe von 150—300 m bei gleicher Fläche bis über 5 mal mehr abbauwürdigen Asphaltkalk enthalten, als in den Stollen am Rande des Asphaltgebietes. Die tiefste Bohrung, No. 18, hingegen, die nach

---

[1]) Nach Nicou, sowie nach frdl. Mitteilungen der Herren Directeur Guichard und Ing. François Roche der Mine du Centre, denen der Verfasser auch für die Führung in die Grube zu besonderem Danke verpflichtet ist.

Nicou im Jahr 1905 etwa 1200 m westlich der Kirche von Saint-Jean bis auf 466,8 m abgeteuft wurde, fand keine nennenswerte Asphaltschichten, wohl aber Kohlenflötze, bei 264, 426, 429 und 438 m Tiefe.

Diese Faciesverhältnisse erinnern an die recenten Seen, in denen die Faulschlammschichten mit der Entfernung vom Ufer dunkler und reicher an organischen Stoffen werden[1]), weil der Sauerstoffgehalt des Grundwassers abnimmt, bis schliesslich die Entfernung vom Ufer zu gross wird.

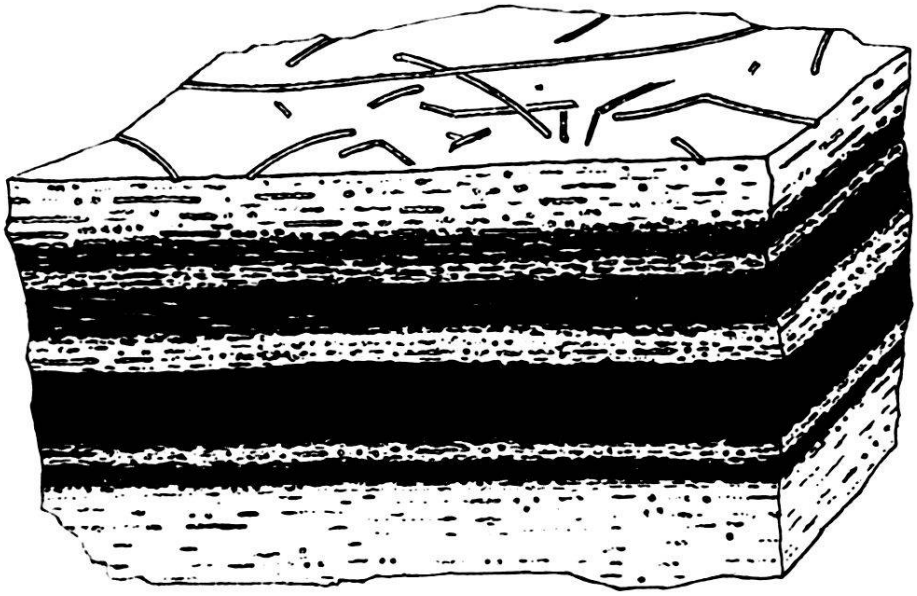

Fig. 6. Handstück von Asphaltkalkschichten, 3/4 nat. Gr.

5. *Kalkalgen als Asphaltbildner.*

Auf den fein geschichteten asphaltärmeren Schichtflächen lassen sich fast in allen Handstücken unmittelbar Algen erkennen, deren Bänder oft dicht gedrängt kreuz und quer übereinander liegen, niemals aber die Schichtflächen quer durchsetzen. Die Bänder erscheinen auf dem Querbruch als kreisrunde oder platt gedrückte Röhrchen. Sie haben einen äusseren Durchmesser von 0,6 bis 1,2 mm, und können über 8 cm lang werden, ohne dass deutliche Verzweigungen erkennbar wären (Fig. 6).

Die nähere Prüfung mit einer starken Lupe ergibt folgendes (Fig. 7).

Um ein kreisrundes *Zentralröhrchen* von 0,4—0,8 mm äusserem Durchmesser gruppieren sich wie die Rippen einer

[1]) Fr. Nipkow, Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee, Zeitschr. für Hydrologie, Aarau 1920.

Säule feinere kreisrunde *Randröhrchen* mit 0,15—0,25 mm Durchmesser. Die Anordnung ist oft vollkommen regelmässig, oft aber auch unregelmässig und lückenhaft. Die Zahl der Randröhrchen wechselt zwischen 8 und 17, häufig ist die Zahl 10. Auch ihre Grösse ist ungleich. Die Wandungen aller Röhrchen bestehen aus dichtem Kalk. Hie und da lassen sich zwei Kalkschichtchen unterscheiden, ein kreidig weisses, und ein gelbliches, dichtes von der Gesteinsfarbe.

Diese Lupenbeobachtung wird auch im Dünnschliff unter dem Mikroskop bestätigt. Die Innenwände, 0,02—0,03 mm

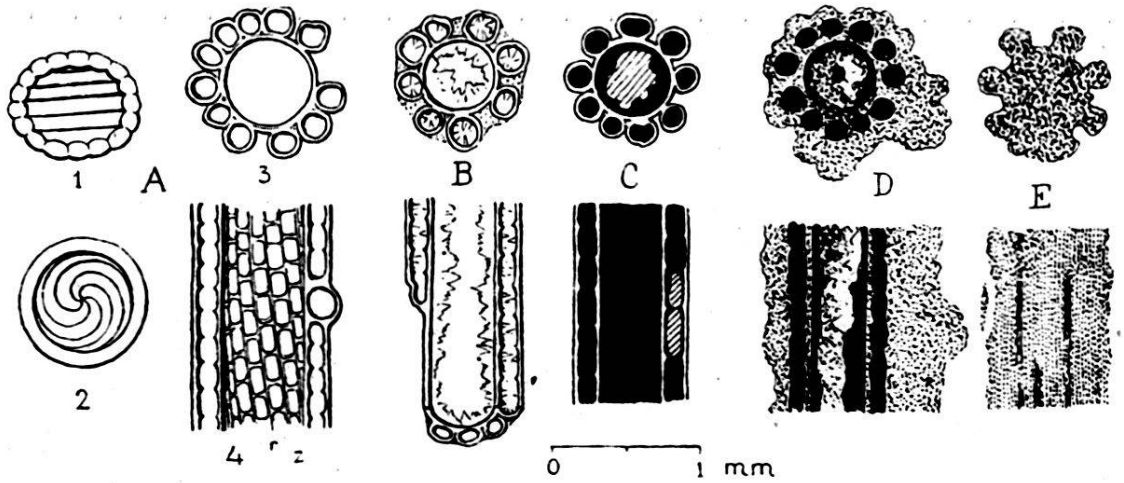

Fig. 7. Asphaltführende Kalkalgen: Chara medicaginula Lam. var. minor Dollfus et Fritel, in verschiedener Erhaltung.

A. Hohlräume leer. 1—2 Oogonien in Längs- und Querschnitt, den Hohlraum von innen zeigend. 3. Querschnitt, 4. Längsschnitt der Stengelröhrchen.
B. Kalkröhrchen teilweise mit Calcit gefüllt; dichte Kalkfüllung aussen zwischen den Randröhrchen.
C. Kalkröhrchen mit Asphalt gefüllt.
D—E. Form der Röhrchen verschwommen, Asphalt auch die Kalksteinhülle imprägnierend.

dick, sind kryptokristallin, die äussere, meist etwas dickere, aber unregelmässige Rinde ist dicht, weniger durchsichtig, und nicht scharf von der dichten Grundmasse des Gesteins getrennt. Die letztere ist von dichten marinen Kalken, z. B. Seewerkalk, nicht unterscheidbar, lässt aber ausser Chara keine anderen Spuren von Organismen erkennen.

Stellenweise ist auch eine maschenartige Struktur auf der Innenwand des Zentralröhrchens angedeutet, derart, dass einzelne Furchen (r in Fig. 7), und zellenartige, abgerundet rechteckige Maschen (z) erkennbar sind. Eine entsprechende Querrippung ist auch im Inneren der Randröhrchen an gut

erhaltenen Stellen vorhanden. So entsteht eine gewisse Querstreifung.

Im Längsverlauf stehen die Randröhrchen zur Längsaxe des Zentralröhrchens annähernd parallel bis spiralig, wobei eine ganze Umdrehung auf 15 mm, bei besonders starker Krümmung schon auf 8 mm Länge zustande kommt.

Gewöhnlich sind die Zwischenräume der Randröhrchen von feinkörnigem Kalk erfüllt, der von der umgebenden Gesteinsmasse nicht zu unterscheiden ist. In seltenen Fällen jedoch ist eine dickere Kalkrinde vom umgebenden Gestein unterscheidbar, welche die Randröhrchen einhüllt oder verklebt (Fig. 7B). Diese wurde vermutlich von der Alge schon zu Lebzeiten abgesondert.

Ausser Zweifel wurden die *Kalkröhrchen von der lebenden Alge gebildet.* Nur so ist es verständlich, dass sie in einzelnen Schichtlagen dem Gesteinsdruck standzuhalten vermochten, ja sogar die leeren Hohlräume in kreisrunder Form erhalten bleiben konnten.

Nach dieser Beschreibung kann schon nicht mehr bezweifelt werden, dass die asphaltführende Alge eine *berindete Characee* ist, und der Gattung *Chara* angehört. In der Tat sind auch die typischen spiraligen Früchtchen, die *Oogonien* zu finden, wenn auch nicht massenhaft. Nach Auffinden und Durchsicht von etwa 15 Exemplaren in den gesammelten Handstücken können folgende Merkmale genannt werden:

Oogonien polwärts etwas abgeplattet, aussen 0,7 auf 0,9 mm, innen 0,2 bis 0,3 mm enger. Die Kalkrinde ist 2—3 mal dicker als diejenige der Stengelröhrchen, und spiralig gegliedert. Die Zahl der Spiralwindungen in der Axialrichtung ist 5—7 (Fig. 7, A 1—2). Diese Befunde stimmen überein mit *Chara medicaginula* Lam. var *minor* Dollfus et Fritel[1]) aus dem Calcaire de Beauce (marnes d'Etampes) von Etampes, côte Saint-Martin (Seine-et-Oise) des Pariserbeckens. Während diese Art aber dort im Stampien (Rupélien) auftritt, und nur nach den Oogonien bekannt ist, tritt sie im Département du Gard schon im Sannoisien auf.

Am schönsten sind diese Charen erhalten in der asphaltarmen Kalkbank 8,5 m unter dem Dach der Mine du Centre.

Das Fehlen deutlicher Wirtel ist wohl darauf zurückzuführen, dass sich diese durch die Wasserbewegung von den Stengeln lostrennten, und vom Ufer in eine tiefere Zone ver-

---

[1]) G. F. Dollfus et P. H. Fritel, Catalogue raisonné des Characées fossiles du Bassin de Paris, B. S. G. F., t. XIX, 1920, p. 258.

schwemmt wurden. Den lebenden Chara-Rasen müssen wir uns also in der östlichen Uferzone des brackischen Sees von Alais vorstellen, die durch die seitherige Erosion abgetragen ist.

6. *Auftreten des Asphaltes in den Chara-Röhrchen.*

Die Asphaltbildung kann in verschiedenen Stadien verfolgt werden, denn innerhalb des gleichen Handstückes sind die Algenröhrchen teils mit Luft, teils mit Calcitkriställchen, teils mit Asphalt gefüllt. Einzelne Schichtchen zwischen schwarzen Asphaltbändern enthalten nur *leere* Charen, während die Chara-Röhrchen in den schwarzen Lagen mit Asphalt gefüllt sind. Nicht nur aber ist die Asphaltführung veränderlich nach den Schichtlagen, sondern selbst oft innerhalb des gleichen Chara-Fadens: einzelne Randröhrchen enthalten Asphalt als Füllung, andere des gleichen Querschnittes sind leer. Auf dem Längsschnitt wechselt ebenso oft der Asphaltgehalt vom einen zum anderen Ende.

In den asphaltarmen Schichten findet sich der *Asphalt nur im Inneren der Kalkröhrchen*, das heisst also an Stelle der ehemaligen Pflanzenzellen mit ihrem Zellsaft. Das gleiche gilt für die nicht leeren Oogonien, bei denen ebenso das Innere der kalkigen Schale mit Asphalt belegt ist. Der Asphalt entstand somit vorzugsweise in der Abgeschlossenheit der Kalkgehäuse, welche die organische Substanz vor Verwesung schützte.

In den tief-braunen bis schwarzen, asphaltreichen Schichten sind die Chara-Röhrchen meistens abgeplattet oder zerdrückt. Der Asphalt tritt aus den Röhrchen heraus, und imprägniert die kalkigen Algenwände und das poröse Kalkgestein, so dass die Algenstruktur verwischt oder ganz unkenntlich wird (Fig. 7 D—E). Schliesslich dringt der Asphalt von den schwarzen Schichtbändern auch auf den Spältchen ein Stück weit in das Nebengestein. Eine solche Konzentration findet sich in den abgebauten Schichten, in denen man nur noch einzelne schwarze glänzende Punkte als Reste der Röhrchen in der braunen Asphaltkalkmasse herausfinden kann. *Dass auch die reichen Lager selten mehr als* 16% *Asphalt enthalten, wird nun verständlich, da die Characeen schon primär kalkreiche Gebilde sind.*

Ob bei den asphaltierten Charen die Weichteile unmittelbar in Asphalt übergingen, oder ob sich bei der Fäulnis und Bituminierung auch Mikro-Organismen betätigten, kann hier nicht erörtert werden. Dass ein Teil der Individuen neben den faulenden verwesen konnte, ist vielleicht auf die Tätigkeit von

Bakterien zurückzuführen, welche besonders in die verletzten Röhrchen eindringen konnten. Das schichtförmige Abwechseln von asphaltierten und leeren Algen hingegen ist wohl die Folge wechselnden Sauerstoffgehaltes im Grundwasser.

Die Verfolgung aller dieser Übergänge im Terrain hat ergeben, dass *der grösste Teil des Asphaltes von Saint-Jean-de-Maruéjols, im ganzen mehrere Millionen Tonnen, aus Charen hervorgegangen ist.*

7. *Mollusken als Asphaltbildner.*

Im allgemeinen kann man sagen, dass die asphaltreichen Lagen arm oder frei von Mollusken sind, und *dass sich Charen und Mollusken aus dem Wege gehen.* In einzelnen an Chara und Asphalt armen Lagen innerhalb des Asphalthorizontes treten aber massenhaft Mollusken auf. Sie sind besonders schön erhalten in der genannten Bank 8,5 m unter dem Dach der Mine du Centre. Eine Schicht von 1—2 cm von bläulichem Mergelkalk ist ganz erfüllt von *Cyrena Dumasi*, deren Erhaltungszustand besonders bemerkenswert ist: die jeweilen zusammengehörenden Schalen sind in aufgeklappter Form abgedrückt, am Gelenk zusammenhängend. Die Schale ist aber verschwunden, dafür in einzelnen Fällen durch ein zartes braunes Asphalthäutchen ersetzt. Da der umschliessende Mergelkalk asphaltfrei ist und abdichtet, kann dieses Asphalthäutchen nur von den Weichteilen der betreffenden Muschel herrühren.

Zwei Zentimeter davon entfernt folgt ein Schichtchen, das neben einzelnen asphaltierten *Charen* erfüllt ist von der kleinen *Striatella Barjacensis.* Die Hohlräume dieser Schnecke sind sämtlich mit Asphalt belegt, obwohl der umgebende Kalk asphaltfrei ist. Andere Lagen sind so reich an asphaltierten Charen und Striatellen, dass der schwarze Asphalt in Tropfen ausschwitzt und an den Stollenwänden zu spröden Kügelchen erhärtet.

Besonders lehrreich ist die Schichtabteilung No. 8 (p 470). Der kreidig abfärbende dünnschichtige Kalkstein, der zwar beim Zerschlagen bituminös riecht, aber keine Asphaltalgen enthält, ist vom Asphalthorizont durch über 100 m mächtige, teilweise völlig abdichtende Schichten getrennt. Einzelne Lagen sind reich an Mollusken, namentlich kleinen Cyrenen. Auch hier sind die Schalen verschwunden, und an deren Stelle, oder auch in den Steinkernen in einzelnen Fällen Spuren von

Asphalt zu finden. Dass dieser wiederum von den Mollusken herstammt, ist kaum zu bezweifeln.

Es gibt aber auch *asphaltreiche Kalksteine, deren Asphalt ausschliesslich von Mollusken geliefert wurde.* Handstücke dieser Art wurden auf einem Schutthaufen südlich des geneigten Stolleneinganges der Mine du Centre gesammelt. Die genaue stratigraphische Lage konnte nicht bestimmt werden. Der kreidige Kalkstein ist erfüllt von Steinkernen und gelegentlichen Schalenresten von Muscheln (grosse *Cyrenen*) und Schnekken der Uferzone. Der Asphalt tritt an Stelle der aufgelösten Schalen auf, oder füllt das Innere als Steinkern. Die Schneckengehäuse, anscheinend von *Melanopsis*, enthalten oft eine kompakte, pechschwarze. spröd erhärtete Asphaltfüllung in den inneren Windungen. Wo die Mollusken dicht gehäuft und zerdrückt sind, bildet der Asphalt sogar das Zement zwischen den Schalen, und füllt ausgibig die Zwischenräume und Spalten.

8. Plankton.

Ausser Charen und Mollusken ist vermutlich in wechselndem Grade auch *Plankton* an der Asphaltbildung mitbeteiligt. Während einzelne Schichten oder Schichtchen zweifellos fast ausschliesslich Charen als Asphaltbildner enthalten, kommen für Plankton solche Schichtchen in Frage, die anscheinend homogen imprägniert sind, aber doch hie und da eingeschlossene Charen erkennen lassen.

Man könnte einwenden, dass auch der Asphalt in den Chararöhrchen aus Mikroorganismen stamme. Dem widerspricht aber die Tatsache, dass in einzelnen armen Schichten sich Asphalt nur in Chararöhrchen findet, während die übrigen Poren des weissen Kalksteins leer sind.

9. Vergleich mit rezenten Seebildungen.

Herr Apotheker H. Nipkow in Zürich, dem wir die Erforschung der Sedimentation im Zürichsee verdanken, hatte die Freundlichkeit, die Handstücke von Saint-Jean durchzusehen und darüber folgendes zu berichten:

„Die Gesteinsproben stellen Sedimente aus zwei verschiedenen Seeregionen dar:“

„1. Die *ungeschichteten*, mit zahlreichen *Bruchstücken und ganzen Molluskenschalen* gespickten Proben stammen aus der „submersen *Uferzone*“ und geringer Wassertiefe. Sie enthalten bald vorwiegend kalkige Stellen, bald wieder zahlreiche leere

oder mit asphaltiertem Material gefüllte Schneckenschalen und Reste der submersen Makrophytenflora im Kalk eingebettet. Der schwarzbraune, mattglänzende, nach Asphalt riechende Inhalt der Schneckenschalen kann nichts anderes sein, als die ursprünglich hauptsächlich aus Fetten und Proteïnen bestehende tierische Substanz, welche zuerst durch Fäulnis und später durch langsame Bituminierung die jetzige Stufe der chemischen Umwandlung erreicht hat."

„Die Art und Weise, wie der Asphalt innerhalb der scharf begrenzten Organismenreste gelagert ist und uns gleichsam ein räumliches Bild der früher lebenden organischen Substanz hinterlassen hat, lässt keinen Zweifel übrig, dass wir es hier mit einer *Asphaltbildung an primärer Lagerstätte* zu tun haben."

„Die ganze Bildung ist vielleicht am ehesten zu vergleichen mit einer an organischen Substanzen relativ reichen *Uferkreide*, wie sie noch heute in den meisten Süsswasserseen fortwährend neugebildet wird, und z. B. im Zürichsee besonders schön ausserhalb der natürlichen, noch mit Schilf bewachsenen Uferzone zu beobachten ist. Je nachdem die abgestorbenen Tier- und Pflanzenkadaver schneller oder langsamer von nachfolgenden organischen oder anorganischen Sedimenten zugedeckt werden, geht natürlich auch die Zersetzung in Form einer Fäulnis oder Verwesung vor sich, und das Resultat wird eben ein Sapropelit oder ein rein anorganisches Skelett oder vollständige Auflösung sein. Daneben werden selbstverständlich alle Übergänge der beiden Zersetzungsvorgänge an der organischen Substanz zu beobachten sein."

„2. *Die regelmässig, periodisch geschichteten Proben* scheinen Sedimentbildungen aus der *Tiefenregion* darzustellen. Das Korn ist feiner, und es fehlen diesen Sedimenten die Schneckenschalen und Makrophytenskelette der Uferzone. Die Schichtung ist vermutlich zustande gekommen durch einen ziemlich regelmässigen Wechsel in produzierter organischer Substanz und indirektem chemischen Kalkniederschlag."

„Die *mikroskopische Analyse* lässt uns leider vollständig im Stich. Es ist in sämtlichen Proben *keine Spur von Skeletten* der Mikroflora oder Mikrofauna zu entdecken, was umso auffallender ist, als doch alle an organischer Substanz einigermassen angereicherten Sedimente aus unseren heute existierenden Süsswasserseen sowohl Kieselskelette von Diatomeen, Chitinpanzer und Kalskelette der abgestorbenen Fauna und oft auch Cellulosereste von Grünalgen enthalten. Man kann auch nicht annehmen, dass diese Skelette zur Zeit der Bildung

dieses sapropelitischen Brackwasserkalkes gefehlt haben, vielmehr ist wohl die einzig mögliche Erklärung die, dass im Verlauf der Umwandlung dieses Sapropels die Lösung der Skelette vor sich gegangen ist."

10. Weitere Faciesbeobachtungen.

In lithogenetischer Hinsicht sind noch die folgenden Beobachtungen zu erwähnen:

1. Etwa 2—3 km nördlich des Dorfes Avéjan befinden sich zwei *Kohlengruben* (Mines de lignite, Fig. 3 links). Das Kohlenlager befindet sich 50 resp. 80 m unter der Oberfläche, und ist im Ganzen 5 m mächtig, wovon etwa die Hälfte brauchbar ist (4800 Kal.). Die Schichten fallen schwach nach Norden. In der pechschwarzen Kohle sind Schichtchen von braunem, schwach *asphalthaltigem Kalkstein eingelagert*, die stellenweise erfüllt sind von weissen Schalenbruchstücken von Süss- oder Brackwassermollusken. Auf frischem Bruch ist starker Geruch nach H_2S bemerkbar. Das Hangende der Kohlenbildung wird von Stinkkalk gebildet, in dem man hie und da Tropfen und Flecken von Asphalt findet. Wir erkennen also hier einen innigen *Facieszusammenhang zwischen Kohle- und Asphaltbildung.*

Solche Lignite kommen nach Nicou (l. c. pag. 528) auch im südlichen Gebiet als Einlagerungen in Asphaltkalken vor, sogar unmittelbar zwischen ausbeutbaren Schichten (Fumades).

2. Etwa 300 m südlich des Kohlenschachtes der Concession Avéjan, auf einem Hügelchen nahe der Strasse, im Hangenden des Kohleflötzes, sind die kleinen Schneckengehäuse mit dichtem *Schwefel* ausgefüllt (+ in Fig. 3). Dieser ist aus Analogie mit rezenten Seebildungen als Zersetzungsprodukt in der Übergangszone von Uferschlamm und Tiefenschlamm zu betrachten.

3. An der gleichen Stelle trifft man einen grauen, asphalthaltigen, feinkörnigen Sandstein, der reich von *sulfidischem Erz* durchsetzt ist, und ebenso etwas Schwefel enthält, als Produkte der reduzierenden Wirkung des Faulschlammes (See-Erz).

4. Das Plateau von Avéjan liegt auf *Kalkoolith*, der sich in sanfter Neigung bis an die Landstrasse $^3/_4$ km nördlich des Dorfes fortsetzt (Fig. 3). Die dicken Bänke sind normal in Seekreide-Kalkstein eingelagert, und mit diesem, oft innerhalb des gleichen Handstückes, durch Übergänge verbunden, derart, dass die Ooide zuerst einzeln in der feinförmigen Grundmasse auftreten, dann sich anreichern, bis das Gestein fast nur noch

aus Kügelchen besteht. Die Zwischenräume sind teils mit feinstkörniger Kreide gefüllt, teils primär leer, oder ausgelaugt. Wo die Ooide dicht gedrängt sind, zeigen sie stets deutliche *Eindrücke*, so dass sie an Pentagondodecaëder oder ähnliche reguläre Formen erinnern. Wie bei den Geröllen der Konglomerate scheint auch hier das Gesetz zu gelten, dass das kleinere Element sich in das grössere eindrückt. Die Grösse der Ooide schwankt zwischen 0,1 und 1,5 mm. Durch Verwitterung zerfällt das Gestein in einen Ooidsand.

Das mikroskopische Bild eines Dünnschliffes ergibt, dass die Ooide aus völlig dichter, fast undurchsichtiger Kalkmasse bestehen, die nur undeutlich zonalen Bau nebst polyedrischen Feldern erkennen lässt, und mit dem ebenso struierten, etwas weniger undurchsichtigen aber noch bei 200-facher Vergrösserung kryptokristallinen Kalk der Zwischenmasse verwachsen ist.

Die Oolithe sind im allgemeinen massig, können aber auch Andeutung von Schichtung innerhalb der grösseren Bänke zeigen, und zwar durch Anordnung verschiedener Korngrössen und Korndichten. Dazu kommen vereinzelt auch noch eigenartige diagonal bis fast rechtwinklig zur Schichtung stehende derartige Streifen vor, deren Entstehung noch nicht erklärt ist[1]).

Es scheint, dass die beschriebenen limnisch-brackischen Kalkbildungen, d. h. *die chemischen Niederschläge vom Typus der Seekreide, die verschiedenen Strukturarten aufweisen können, die von marinen Kalksteinen bekannt sind: dichte, mikrokristalline, onkolithische*[2]) *und oolithische.* Die Bildung dieser Oolithe war also offenbar nicht von der Tätigkeit des amerikanischen „Bacterium calcis" abhängig, sondern ein rein chemisch-physikalischer Vorgang.

Die nähere petrographische Untersuchung dieser Kalksedimente wäre eine wertvolle Arbeit für sich, die manches Licht auf die Entstehung der marinen Sedimentgesteine verbreiten könnte; denn die Zeiten sind vorüber, da die marinen Kalkgesteine kurzweg als zoogen bezeichnet werden durften.

11. Tektonik und Asphaltführung.

Die primäre Form des Tertiärbeckens von Alais ist durch die nachträglichen tektonischen Bewegungen *verschärft* worden, und zwar in doppeltem Sinne:

---

[1]) Eine ähnliche Erscheinung von Diagonalschichtung kommt im carbonischen Oolith an der SW Küste von England (Swansea) vor.

[2]) Vergl. Arnold Heim, Monogr. d. Churfirsten, Beiträge z. geol. Karte d. Schweiz, III. Teil, 1916.

1. Die vermutlich ganz geringe primäre Uferböschung ist bis zu 10—30° Neigung aufgerichtet worden.

2. Das westliche, seewärts gelegene Gebiet ist in schiefen Staffelbrüchen abgesunken, wodurch die verschiedenen „Gradins" der Asphaltminen entstanden sind (Fig. 2). Die bedeutendsten der Verwerfungen scheinen NNE, d. h. dem Beckenrand parallel zu verlaufen. Die äusserste, randlichste dieser Verwerfungen ist sehr schön in einem Stollen der „Mine du Centre" aufgeschlossen. Sie streicht N 10° W und fällt 60° W. Ein Klemmpaket von 80 cm Dicke ist mit Rutschflächen und *Streifen in der Fallrichtung* versehen. Statt einer Spaltenzirkulation von asphaltigen Substanzen sind die Rutschflächen mit blauem plastischem Ton *abgedichtet.*

Allerdings trifft man hie und da, z. B. westlich an dieses Klemmpaket anschliessend, kleine Spalten im Kalkstein, die sekundär mit zähflüssigem Asphalt imprägniert sind. Es handelt sich hierbei aber um eine lokale Erscheinung im Kleinen.

Nach den Bohrungen sind die tektonischen Einbrüche am tiefsten westlich von Saint-Jean, wo die untere Oligocängrenze wenigstens 500 m tiefer liegt als am Beckenrand (Bohrung No. 18). Nach NE wird der Beckenrand flacher und seichter, und auch die Sprunghöhen der Verwerfungen scheinen rasch abzunehmen (Fig. 2—3).

In den tieferen Gradins fand man nach Mitteilung des Herrn Fr. Roche alle einzelnen Schichten des Asphalthorizontes *in ihrer gleichen Reihenfolge* wieder, wenn auch schwankend nach Mächtigkeit und Asphaltgehalt. Es geht daraus hervor, dass die tektonischen Vorgänge, insbesondere die *Verwerfungen keinerlei bedeutende Veränderungen der Asphaltführung hervorgebracht haben.* Das primäre Sedimentationsbild ist fast unverändert erhalten geblieben.

12. Porosität und Verdunstung.

Die Porosität der asphaltführenden Schichten mit ihren zahlreichen Röhrchen und Drusen, die teils mit Luft, teils mit Calcit gefüllt sind, steht im Einklang mit der geringen tektonischen Umformung und der geringen Belastung, die wohl kaum jemals mehr betragen hat, als der ursprünglichen Seefüllung gleichkommt, d. h. einer Gesteinsdecke von 100—300 m. Unter diesen Umständen *konnten die asphaltartigen Öle zu keiner nennenswerten Wanderung gezwungen werden.* Im Gegenteil könnte das Asphaltlager heute noch viel mehr Asphalt

in sich aufschlucken. Auch dies ist ein *Beweis gegen sekundäre Imprägnation.* Die Bezeichnung Imprägnation passt überhaupt nicht für unseren Fall.

Wir kommen hier zu dem gleichen Resultat wie für die Ölsande der schweizerischen Molasse, in denen das Erdöl an Stellen geringen Druckes auch nicht einmal einen Millimeter weit zu wandern vermochte[1]).

Auch die nicht asphaltführenden Kalksteine sind im allgemeinen porös, und wo sie lokal vollkommen erhärtet sind, als hätte man es mit Urgonkalk zu tun, bleiben doch immer noch Hohlräume von kleinen Gastropoden bestehen.

Trotz der Porosität schwitzt an vielen Stellen Asphalt in Tropfen aus. Selbst innerhalb der gleichen Bank ist also im Kleinen keine gleichmässige Verteilung des Asphaltes vorhanden. Die zähe Flüssigkeit ist nicht aus den geschlossenen Hohlräumen herausgetreten, wohl aber dort ein wenig gewandert, wo diese auf natürlichem Wege (durch Risse) oder auf künstlichem Wege geöffnet wurden.

Nach der Tiefe lassen sich, soweit wir bis jetzt wissen, keine prinzipiellen Unterschiede in der Beschaffenheit des Asphaltes erkennen. Dass in grösserer Tiefe das Gestein mehr gesättigt aussieht, versteht sich aus dem höheren Druck und der geringeren Porosität. So wurden z. B. von Bohrung No. 14 nach Nicou aus 312—320 m Kerne zu Tage gefördert, aus denen das Bitumen heraustropfte. Das gleiche ist aber stellenweise auch schon nahe der Oberfläche der Fall.

Von der genannten Bohrung wurden auch beträchtliche Ausströmungen von *Gasen* notiert, die jedoch *nicht brennbar* waren. Brennbare Gase oder schlagende Wetter sind weder aus den Bohrungen noch aus den Stollen bekannt. In den Stollen der Asphaltschichten riecht man nur den Asphalt (nichts benzinartiges, wie z. B. in den Erdwachsgruben von Boryslaw, wo sich das Erdwachs auf sekundärer Lagerstätte befindet und ein Verdunstungsrückstand des Erdöls ist). Man kann also kaum annehmen, dass Gase der Methanreihe jemals in ausgiebiger Weise entstanden seien und so vollkommen durch die teilweise völlig gasdicht abschliessende Gesteinsserie hindurch entweichen konnten.

---

[1]) Vergl. Arnold Heim und Adolf Hartmann, Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz, Beiträge z. Geologie d. Schweiz, geotechn. Serie, Lfg. 6, 1919.

Auch aus den *Asphaltsandsteinen* des südlichen Gebietes (Fumades) werden zwar bituminöse Schwefelquellen, nicht aber freiflüssige Erdöle oder Gase erwähnt.

13. Chemische Umwandlungen.

Nach den genannten Befunden müssen wir annehmen, dass der Asphalt von Saint-Jean, Gard, *nicht einen Verdunstungsrückstand* darstellt, wie dies bei vielen grossen Asphaltvorkommnissen Amerikas der Fall ist, sondern dass die uns vorliegende asphaltige Substanz *unmittelbar als solche aus den betreffenden Organismen hervorging.* Die in Betracht kommenden Weichteile von Chara und Mollusken sind nun aber keineswegs besonders fettreich, und es ist nicht annehmbar, dass ihre Fette allein asphaltiert werden konnten, die anderen organischen Verbindungen spurlos verschwunden wären. Die Fette würden auch niemals ausgereicht haben, um jedem Algenstengel so viel Asphalt zu liefern, wie er tatsächlich enthält. Ferner sollten die verschwemmten Oogonien besonders asphaltreich sein, während das Gegenteil zutrifft.

Damit kommen wir also zu dem Schlusse, dass es *die organischen Verbindungen in ihrer Gesamtheit sind, die sich in Asphalt verwandelten.* Wir haben somit nicht nur in geologischer Hinsicht den Asphaltkalk als primäre Bildung zu betrachten; *der Asphalt ist auch chemisch primäres Rohmaterial.*

Da nun aber das pflanzliche Ausgangsmaterial 40—50% Sauerstoff enthält, so ergibt sich die Frage, ob ein Entweichen von CO_2 durch Teilverwesung vor der Einbettung stattgefunden habe. Die Angabe von nicht brennbarem Gas aus einer Tiefbohrung würde darauf hindeuten.

Nimmt man im allgemeinen an, dass Luftabschluss, Druck und hohe Temperatur die Umwandlung der lebenden Substanz in Petroleum oder Asphalt bewirken, so kann im vorliegenden Falle (ebenso wie bei den Ölsanden der schweizerischen Molasse) *weder hoher Druck noch erhöhte Temperatur* in Betracht fallen, sondern einzig die *lange Zeit* von einigen Millionen Jahren. In der Tat konnte die Temperatur kaum jemals 35° überstiegen haben, und betrug wohl im Durchschnitt nicht mehr als 15—25° C. Der Gebirgsdruck andererseits war nie bedeutend. Horizontale Stauung fällt so gut wie ausser Betracht und die Last der Gesteinsdecke genügte nicht einmal, um die Poren und Hohlräume der Fossilien zu schliessen.

Bezüglich der *Nomenklatur* der bituminösen Gesteine herrscht noch manche Verwirrung. Es wird folgende Einteilung vorgeschlagen:

I. Die oben beschriebenen Asphaltbildungen gehören zu denjenigen Gesteinen, die *primäre Petrolea* enthalten, d. h. solche Kohlenwasserstoffe und deren Oxyde und Sulfoxyde, die mit Chloroform, Benzol, Schwefelkohlenstoff etc. *ohne Erwärmung gelöst und extrahiert* werden können. Man möchte sie als **Petrolite** bezeichnen.

II. Die sogenannten *bituminösen Schiefer*, Oil Shales, Torbanite, Boghead, Kerosene Shales, von Autun, Schottland, Australien etc. liefern erst Öle durch *destructive Destillation* unter Erhitzung, und sind durch alle Übergänge mit bituminösen Kohlen (Cannel) verknüpft. Man könnte sie vielleicht als **Karbonite** bezeichnen. Wir hätten dann zu unterscheiden zwischen bituminösen und humösen Karboniten.

14. Chemische Analysen.

Herr Dr. P. Schläpfer, Direktor der Eidgenössischen Prüfungsanstalt für Brennstoffe in Zürich, hatte die grosse Freundlichkeit, einige Proben von Asphaltkalk von St-Jean, Gard, zu analysieren, und darüber folgendes zu berichten:

„Die mir zur Untersuchung überlassenen Asphaltkalkstücke, die alle aus dem Asphalthorizont des Sannoisien von Saint-Jean-de-Maruéjols stammen, sind folgendermassen bezeichnet:

No. 1. Dichter bis mikrokristalliner, hell-bräunlicher Kalkstein voller Mollusken (Cyrenen und Schnecken), der an Stelle der Schalen, oder als Füllung der Mollusken, sowie in den Spalten eine schwarz glänzende, asphaltähnliche Masse enthält. Diese ist auch in erhärteten Tropfen ausgeschwitzt. Im übrigen ist der Kalkstein *nicht* von Bitumen imprägniert. In dieser Probe kommen *nur Mollusken als Asphaltbildner* in Betracht. Sie stammt von einer Halde bei St. Jean. Die genaue Schichthöhe innerhalb des Asphaltlagers ist nicht bekannt.

No. 2. Wie No. 1, das Bitumen jedoch feiner und gleichmässiger verteilt.

No. 3. Heller Kalkstein mit braunschwarzen, asphaltgetränkten Schichten wechselnd. Die letzteren enthalten sowohl *Chara* als auch in einzelnen Lagen massenhaft winzige *Striatellen*, deren Hohlräume mit schwarzem Bitumen gefüllt sind. Auf den Bruchflächen sind ausgeschwitzte und erhärtete schwarze Tropfen vorhanden.

No. 4. *Asphaltkalk aus dem reichsten Teil des abgebauten Lagers*, schwarzbraun, etwas ähnlich wie Travers-Asphalt,

jedoch von feinsten weissen Kalkschichtchen durchzogen, welche reichere und weniger reiche Lagen des Asphaltkalkes trennen. Die Chararöhrchen sind noch teilweise erkennbar, grösstenteils aber zerdrückt, wobei der Asphalt geflossen und den Kalk mehr oder weniger gleichförmig imprägniert hat. Mollusken fehlen, doch ist es möglich, dass neben Chara auch noch Mikroplankton bei der Asphaltbildung beteiligt ist.

No. 5. Wie No. 1.

Vorbereitung und Untersuchung der Proben.

Von den einzelnen Gesteinsstücken wurden Durchschnittsmuster abgeschlagen und pulverisiert. Das Pulver zeigte folgendes Aussehen:

No. 1. schwach gelb gefärbt,
No. 2. gelbbraun,
No. 3. hellbraun,
No. 4. dunkelbraun, wegen des hohen Bitumgehaltes nicht fein pulverisierbar,
No. 5. grau.

Je 50 bis 100 gr des Pulvers wurden in hohe, mit eingeschliffenen Stopfen versehene Messzylinder eingefüllt, mit 200 cm^3 Schwefelkohlenstoff übergossen, und unter öfterem Schütteln bei Zimmertemperatur längere Zeit stehen gelassen. Das im Gestein gelöste Bitumen färbte den Schwefelkohlenstoff alsbald dunkelbraun und war darin *vollständig löslich.*

Ein aliquoter Teil der Schwefelkohlenstofflösungen wurde hierauf aus den Messzylindern abpipettiert, und der Schwefelkohlenstoff auf dem Wasserbade abdestilliert. Die erhaltenen Extrakte waren braunschwarz bis schwarz gefärbt, bei gewöhnlicher Temperatur kaum flüssig und asphaltähnlich.

Es wurden folgende Ausbeuten an Rohasphalt erhalten; in Gewichts-Prozenten:

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
2,6	4,2	7,9	15,7	0,2

Bei der näheren Prüfung der einzelnen asphaltartigen Massen zeigte sich, dass sie zum Teil noch ziemlich aschenhaltig waren, weshalb sie nochmals in Chloroform gelöst und zentrifugiert wurden. Auf diese Weise gelang es, die fein suspendierte, hauptsächlich aus Carbonaten bestehende Asche fast vollständig zu entfernen.

Prüfung auf asphaltartige Stoffe.

Vier Bitumenproben wurden qualitativ auf benzinunlöslichen und ätheralkoholunlöslichen Asphalt untersucht.

Prüfung auf benzinunlöslichen Asphalt:

No. 1. in beträchtlicher Menge zugegen,
No. 2. viel solcher zugegen,
No. 3. zugegen,
No. 4. zugegen.

Prüfung auf ätheralkoholunlöslichen Asphalt:

No. 1. zugegen,
No. 2. in beträchtlicher Menge vorhanden.
No. 3. „ „ „ „
No. 4. „ „ „ „

Alle Proben enthalten also ätheralkohol- und benzinunlöslichen Asphalt.

Bestimmung der Verbrennungswärmen.

Von den zwei Proben No. 1 und 4, die nach der zweiten Reinigung nur noch Asche in Spuren enthielten, wurde die Verbrennungswärme in der kalorimetrischen Bombe bestimmt, und folgende Werte erhalten:

No. 1: 8985,
No. 2: 9320.

Der Schwefelgehalt betrug:

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
15,6 %	11,1 %	9,6 %	11,0 %

Es handelt sich also um sehr *schwefelreiche* asphaltähnliche Produkte, deren Verbrennungswärme weit niedriger ist als diejenige normaler Erdölrückstände.

Elementaranalysen:

	No 1	No. 4
Kohlenstoff	73,4 %	75,9 %
Wasserstoff	8,4 %	9,3 %
Schwefel	15,6 %	11,0 %
Sauerstoff und Stickstoff	2,6 %	3,8 %
	100,0 %	100,0 %

Auch diese Bestimmungen zeigen, dass der Kohlenstoffgehalt teilweise durch organisch gebundenen Schwefel ersetzt

worden ist. Es stand mir zu wenig Substanz zur Verfügung, um eingehendere Untersuchungen über die chemische Natur des untersuchten Asphaltes auszuführen. Ich beabsichtige aber, die ergänzenden Prüfungen in nächster Zeit nachzuholen. Die vorgenommenen Untersuchungen zeigen aber, dass der aus den verschiedenen Gesteinsproben gewonnene und untersuchte Asphalt in gewissen Lösungsmitteln wie z. B. Schwefelkohlenstoff und Chloroform bei Zimmertemperatur vollständig löslich ist, und sich in dieser Beziehung ähnlich verhält wie andere Asphalte. Was den grossen Gehalt an organisch gebundenem Schwefel anbetrifft, so glaube ich annehmen zu dürfen, dass dieser kaum im ursprünglichen organischen Ausgangsmaterial vorhanden war, sondern erst durch später vor sich gegangene Reaktion in das Bitumen hineingelangt ist. Da im Gestein oft schon von blossem Auge elementarer Schwefel zu erkennen ist, könnte man annehmen, dass der Schwefel durch den Schwefelkohlenstoff aus dem Gestein herausgelöst worden wäre, und die extrahierten Asphalte deshalb so schwefelreich ausfielen. Ich habe deshalb die Probe No. 4 auch mit Chloroform, das den elementaren Schwefel nur wenig löst, extrahiert und analysiert. 100 Teile Chloroform von 22° lösen 1,25 Teile Schwefel. Die oben angeführten Analysenwerte für die Probe No. 4 beziehen sich auf die mit Chloroform extrahierte Probe, und beweisen, dass der Schwefel im Bitumen tatsächlich chemisch gebunden ist.

Untersuchung von Chara.

Die bei 110° getrocknete Probe von Chara aus dem Greifensee ergab 0,9% eines schwefelkohlenstofflöslichen, nach Algen riechenden gründlichen Extraktes. Wegen Substanzmangel konnte ich mit denselben keine weiteren chemischen Untersuchungen durchführen. Beim Erhitzen im Glührohr entstanden geringe Mengen teerartiger Substanzen. Die getrocknete Chara ergab 24,5% Caronatkohlensäure, und hinterliess beim Veraschen in der Muffel 38,1% Asche. Organische Substanz 36,9%; $CaCO_3$ 55,7%; in HCl unlösliche Asche 7,4%.

* * *

Nach diesen Resultaten wird man daran erinnert, dass die asphaltreichen Schweröle im allgemeinen schwefelreich sind, und möchte vermuten, dass der *Schwefelgehalt des betreffenden Sedimentationsbeckens die Ursache der Schwerölbildung sei.*

So verstehen wir auch, dass die Asphaltkalke in der Tiefe wie nahe der Oberfläche fast die gleiche Beschaffenheit beibehalten konnten. Es ist der gebundene Schwefel, der die Verflüchtigung verhindert. Was wir vermuteten ist damit chemisch bestätigt: der Asphalt des Departement du Gard ist nicht ein Verdunstungsrückstand, sondern wurde primär als solcher gebildet.

Die Zusammensetzung des Asphaltes aus Mollusken (No. 1, 2, 5) und desjenigen aus Characeen (No. 4) ist nicht wesentlich verschieden.

Im Vergleich zum Urgon-Asphalt des *Val de Travers* dagegen zeigen sich bedeutende Unterschiede, wie aus den neuen Untersuchungen von Herrn Dr. P. Schläpfer hervorgeht[1]). Dort ist die Asphaltierung nicht so weit fortgeschritten, vielleicht in Folge des geringen Schwefelgehaltes, der nur 1% beträgt (C = 86%, H = 10%, O = 2—3%). Dementsprechend ist die Verbrennungswärme des Travers-Asphaltes höher.

15. Ergebnisse.

Die vorliegende Untersuchung hat bezüglich der Entstehung des Asphaltes im Département du Gard folgende Resultate ergeben:

1. Der Asphaltkalk bildet *primäre*, an Ort und Stelle abgelagerte Schichten der unteroligocänen Schichtfolge (Sannoisien). Eine regionale Wanderung des Asphaltes hat nicht stattgefunden. Dies geht aus der wunderbaren, bis in alle Feinheit verfolgbaren regelmässigen Schichtung, aus der Porosität, und dem Ausbleiben nennenswerter Veränderungen der Asphaltführung durch die Verwerfungen hervor. Die vorhandenen Veränderungen sind Faciesveränderungen.

2. Die Asphaltkalkschichten sind normal *eingebettet* in *chemischen Kalkniederschlag vom Typus der Seekreide*, und sind selbst mit solchem gemengt. Es sind Ablagerungen eines Brackwassersees.

3. Der Asphalt ist im Sinne von Potonié durch Fäulnis und Bituminierung aus *Faulschlamm* hervorgegangen. Der Asphaltkalk ist ein *Kalksapropelit.*

4. Als *Asphaltbildner* sind vor allem die Weichteile von Kalkalgen und Mollusken beteiligt. Weitaus den grössten Anteil hat *Chara medicaginula* Lam., welche Art fast allein

[1]) in Max Frey, Asphalt von Travers, Beiträge z. Geol. d. Schweiz, geotechn. Serie, Lfg. IX, im Druck.

den Asphaltgehalt der abgebauten Flötze bedingt, und mehrere Millionen Tonnen Asphalt erzeugt hat.

5. Der Asphalt ist nicht ein Verdunstungsrückstand, sondern das an Ort und Stelle ohne grosse Substanzverluste hervorgegangene Umwandlungsprodukt der gesamten organischen Substanz.

6. Zu dieser Umwandlung haben weder hoher Druck noch hohe Temperatur geführt. Nur die lange Zeit von einigen Millionen Jahren war massgebend.

7. Das Bitumen des Asphaltkalkes ist in Schwefelkohlenstoff vollständig löslich und durch einen abnorm hohen Gehalt an chemisch gebundenem Schwefel (im Mittel 12%) ausgezeichnet.

* * *

Im allgemeinen herrscht heute die Ansicht, dass Erdöl und Asphalt der konservierenden Wirkung des Salzes wegen *nur aus salzhaltigen Gewässern* hervorgehen können.

Für die primären schweizerischen Ölsande wurde die Notwendigkeit von Salzwasser bereits in Frage gestellt, da sie der *Unteren Süsswassermolasse* angehören. Nach Mitteilung von Herrn Prof. Dr. L. Rollier findet man Asphalt auf primärer Lagerstätte im Süsswasserkalk mit Helix rugulosa (Stampien) von Ehingen bei Ulm (Württemberg), und zwar an Stelle der aufgelösten Molluskenschalen. Bei Clermont-Ferrand, Auvergne, findet laut brieflicher Mitteilung mein Freund Dr. H. Hirschi über dem brackisch-marinen Ölhorizont des Stampien einen harten, massigen oligocänen Süsswasserkalk mit prächtigen Helix und Planorbis, deren Gehäuse mit Asphalt ausgefüllt sind.

Die beschriebenen Asphaltkalkschichten des Département du Gard sind nun zweifellos brackisch, doch war das Wasser offenbar sehr schwach salzig. Die Characeen leben bekanntlich in Süss- und Brackwasser.

Wenn weitaus die meisten Erdöl- und Asphaltlagerstätten der Erde Sedimenten aus salzigem Wasser entstammen, so ist dies nach der Ansicht des Verfassers nur ein Ausdruck des überwältigenden Vorherrschens mariner Sedimentgesteine.

Die Analogie mit den Sedimenten der gegenwärtigen Seen ist so überraschend, dass fast nur noch die Diagenese mit ihrer Auflösung der Mikroskelette, und die Zeit zur Bituminierung fehlt, um aus gewissen See-Faulschlammen zu Asphaltschichten vom Typus der beschriebenen zu gelangen.

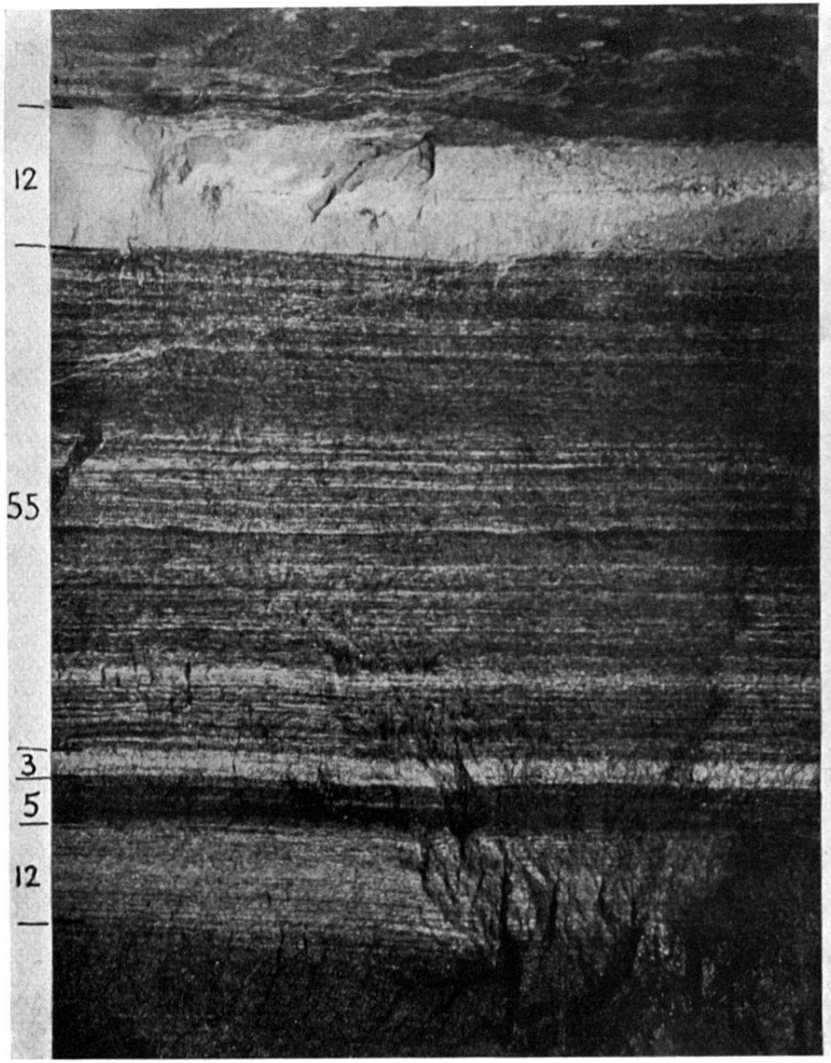

Fig. 1.

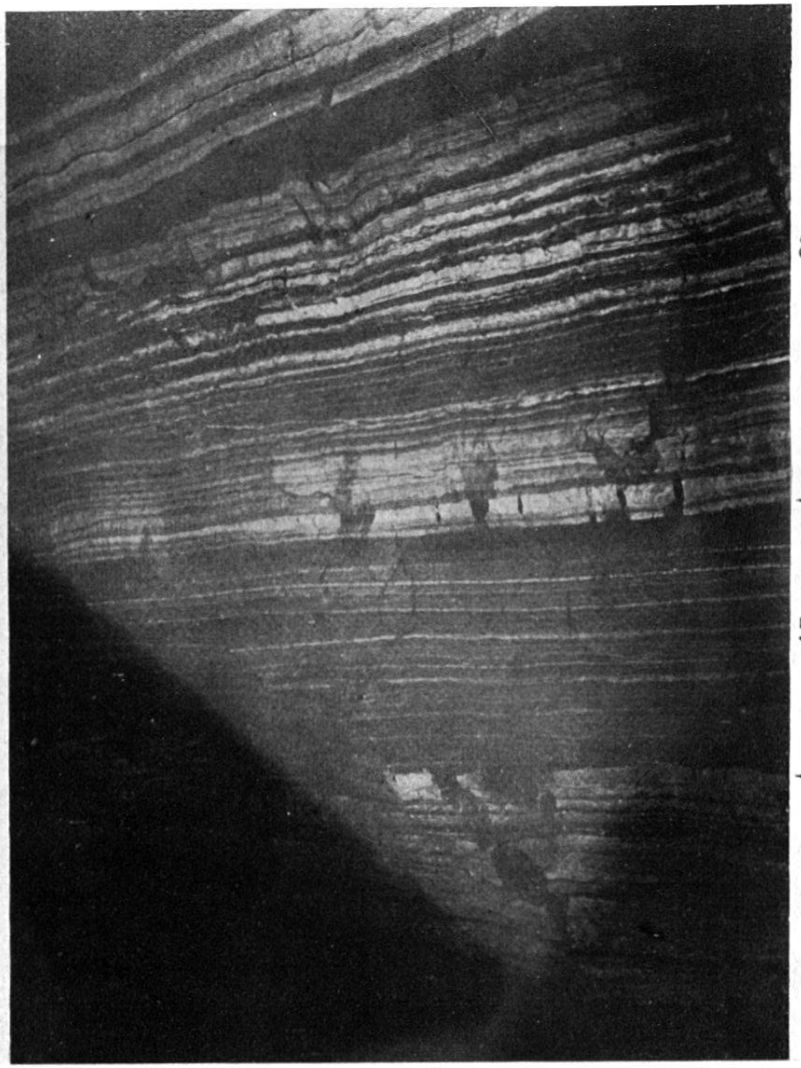

Fig. 2.

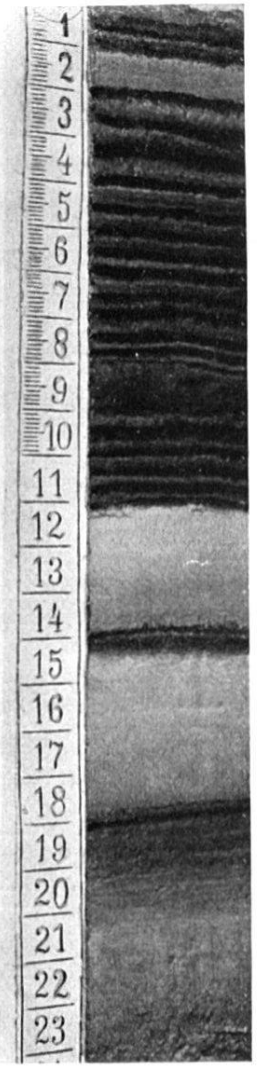

Fig. 3.

Die Zahlen bedeuten Zentimeter Mächtigkeit. Fig. 1—2 Magnesiumlichtaufnahmen von Arn. Heim, Fig. 3 von H. Nipkow.

Fig. 1. Schichtung asphaltärmerer Kalke 8 m unter dem abgebauten Lager, mit gut erhaltenen Algen wie in Textfig. 6.
Fig. 2. Schichtung im Förderstollen der Mine von Saint-Jean. Abgebautes Asphaltlager 50 cm.
Fig. 3. Jahresschichtung am Grunde des Zürichsees bei 135 m Tiefe. Die schwarzen Schichtchen sind Faulschlamm, die hellen Seekreide. Die abnorme Dicke der 3 unteren Kalkschichten ist die Folge von Uferrutschungen der Jahre 1895—1898.

Von diesem ontologischen Standpunkte betrachtet wäre der oligocäne See von Alais ein wunderbares Gebiet zu einer systematischen, vergleichend geologisch-biologisch-chemischen Bearbeitung, an dem noch manches wichtige Problem wie kaum in einer anderen Gegend aufgeklärt werden könnte. In geologischer Hinsicht fehlt vor allem noch eine genaue Untersuchung des südlichen Asphaltgebietes.

Mögen die hier gegebenen Bemerkungen, hervorgegangen aus kaum drei Beobachtungstagen, dazu die Anregung bieten.

Manuskript eingegangen am 10. März 1923.

Zur Geologie des zentralen Plessurgebirges.

Von Joos Cadisch (Zürich).

Mit 1 Textfigur.

Zwischen dem rechtwinklig geknickten Tallauf der Plessur und dem alten Lenzerheide-Taltorso liegt eine fächerartig gegen Nordwesten bis Nordosten auseinanderstrebende Gruppe von Gebirgsketten mit der höchsten Erhebung des Aroser Weisshorns. Die Geologie dieser Berge ist auf Blatt A der geologischen Karte von Mittelbünden[1]) zur Darstellung gelangt. Der zugehörige ausführliche Text kann in nächster Zeit noch nicht erscheinen und deshalb sollen im Folgenden mit Erlaubnis der Schweizerischen geologischen Kommission die wichtigsten Beobachtungsresultate kurz erwähnt sowie einige zurzeit in der Literatur zur Diskussion stehende tektonische Fragen gestreift werden.

Im Bergland zwischen Arosa und Parpan liegt ein Stück Südrand der Prättigauer Schieferbucht vor uns: Über der Bündnerschieferunterlage schwimmt das unterostalpine Schuppenwerk der Falknis-Sulzfluhdecke und der Aroserzone.

Eine stratigraphische Gliederung der Schiefermassen liess sich nur im Westen durchführen, wo die Tertiärflyschserien

---

[1]) Beiträge zur geol. Karte der Schweiz, Spezialkarte No. 94, aufgenommen auf Veranlassung und unter Mitwirkung von Herrn Prof. Dr. P. Arbenz in Bern.