

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure |
| Herausgeber: | Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure |
| Band: | 40 (1973-1974) |
| Heft: | 98 |
| Artikel: | Feste Erdölbitumina in der Gemsmättli-Schicht am Pilatus (Kanton Luzern) |
| Autor: | Renz, Otto |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-199108 |

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: 26.01.2026

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

Feste Erdölbitumina in der Gemsmättli-Schicht am Pilatus (Kanton Luzern)

mit 8 Tafeln und 1 Figur
von OTTO RENZ¹⁾

Zusammenfassung

Es wurde versucht, den Verlauf der Diagenese von Erdöl in Kammern von Cephalopoden (Taf. 1, Fig. a), zu festen Erdölbitumina (unter anderem Epi-Impsonit), an Hand von lichtmikroskopischen und raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen zu rekonstruieren. Im Laufe der alpinen Orogenese konnten mehrere Phasen nachgewiesen werden, während denen Veränderungen des Erdöls durch Thermometamorphose stattgefunden haben: 1. Entstehung von Klüften, mit Bildung von Calcitkristallen in Hohlräumen der Ammoniten, zwischen denen sich das Erdöl anreicherte (Taf. 2, Fig. a). 2. Umwandlung von Erdöl zu halbfesten Asphalten und Entwicklung von Gasblasen, die von Calcit ausgefüllt wurden (Taf. 7, Fig. a). Bildung von bipiramidalen Quarzkristallen in den Asphalten (Taf. 4, 5). 3. Entstehung von «Trockenrissen», durch Verlust flüchtiger Bestandteile, an Oberflächen von Asphalten, in Hohlräumen zwischen Calcitkristallen und Umwandlung derselben in feste Erdölbitumina (Taf. 3, Fig. a). 4. Bildung von SpannungsrisSEN, sowohl in den gerundeten Calcitkristallen (Taf. 6, Fig. a), als auch im spröden Bitumen, und teilweise Füllung derselben mit Calcit aus den Calcitkristallen (Taf. 8, Fig. b).

H. JACOB, der das Bitumen mikropetrographisch untersuchte, konnte 4 Generationen unterschiedlicher Reflexion in diesem feststellen, woraus auf 4 Phasen von Thermometamorphose geschlossen werden kann.

Inwieweit Zusammenhänge bestehen zwischen den makroskopischen und mikropetrographischen Befunden einerseits, und den orogenetischen Phasen während der Entstehung der Alpen andererseits, ist heute noch nicht zu übersehen.

Abstract

An attempt has been made to reconstruct the diagenesis of oil to solid oil-bitumina (among others Epi-Impsonit), present within the camerae of cephalopoda (pl. 1, fig. a). In the course of the alpine orogenesis several phases could be recognized, during which the oil has been influenced by thermometamorphism: 1. Formation of cleavages and deposition of calcite crystals within cavities in ammonites, causing the oil to accumulate between the crystals (pl. 2, fig. a). 2. Transformation of oil into semi-solid asphalts and formation of gas bubbles within these asphalts, which in turn were filled by rounded calcite crystals (pl. 7, fig. a). Formation of bipiramidal quartz crystals within the asphalts (pl. 4, 5). 3. In cavities between calcite crystals, cracks developed on the surface of the asphalt, due to loss of volatile components. Subsequently the asphalts were transformed into solid oil-bitumina (pl. 3, fig. a). 4. Tension-cracks opened, affecting the brittle oil-bitumina, as well as the rounded calcite crystals (pl. 6, fig. a). They partly were filled with calcite derived from the calcite crystals (pl. 8, fig. b).

The bitumen has been examined micropetrographically by H. JACOB. 4 generations of different reflection could be recognized, suggesting 4 phases of thermometamorphism.

The connections which might have existed between the macroscopical and micropetrographical observations with orogenetic phases, during the development of the Alps, are not yet ascertained.

Schon 1867 erkannte F. J. KAUFMANN die meisten der morphologisch deutlich hervortretenden lithologischen Einheiten, aus denen sich die Untere Kreide im Gebiet des Pilatus aufbaut (Taf. 5, Fig. 3). Die glaukonitisch-phosphatischen Kondensationshori-

¹⁾ Naturhistorisches Museum, Augustinergasse 2, 4051 Basel

zonte, die Gemsmättli-Schicht über dem Valanginienkalk und die Altmann-Schicht an der Basis der Drusberg-Mergel-Formation, wurden damals noch als gleichaltrig interpretiert (Taf. 1, Profil 6).

1905 begann A. BUXTORF mit einer Neukartierung des Pilatusgebietes. 1907 (p. 3; Profil 1, p. 8) wurde die Bezeichnung Gemsmättli-Schicht für den Glaukonithizont zwischen dem Valanginienkalk und der Kieselkalk-Formation erstmals eingeführt. Die Typuslokalität (Koordinaten: 660.500/203.000) liegt im Kern der Tomlishornfalte, am Fusse der aus Kieselkalk bestehenden E-Wand des Gemsmättli 1999 m (BUXTORF 1934, Fig. 4, p. 729; Fig. 5, p. 732). Von dieser Stelle stammen auch die meisten der von BUXTORF aus der Gemsmättli-Schicht gesammelten Fossilien, die heute vom Naturhistorischen Museum in Basel aufbewahrt werden. Ein weiterer Fundort, von dem ebenfalls Material vorliegt (Sammlungen W. BERNOLLI und C. RENZ), befindet sich am Weg von Pilatus-Kulm zum Hotel Klimsenhorn, ebenfalls im Kern der Tomlishornfalte, in genau gleicher stratigraphischer Position wie an der Typuslokalität. Längs dieses Weges wurde das von H. FUNK (1969) definierte Typusprofil der helvetischen Kieselkalk-Formation aufgestellt (Fig. 1, p. 195).

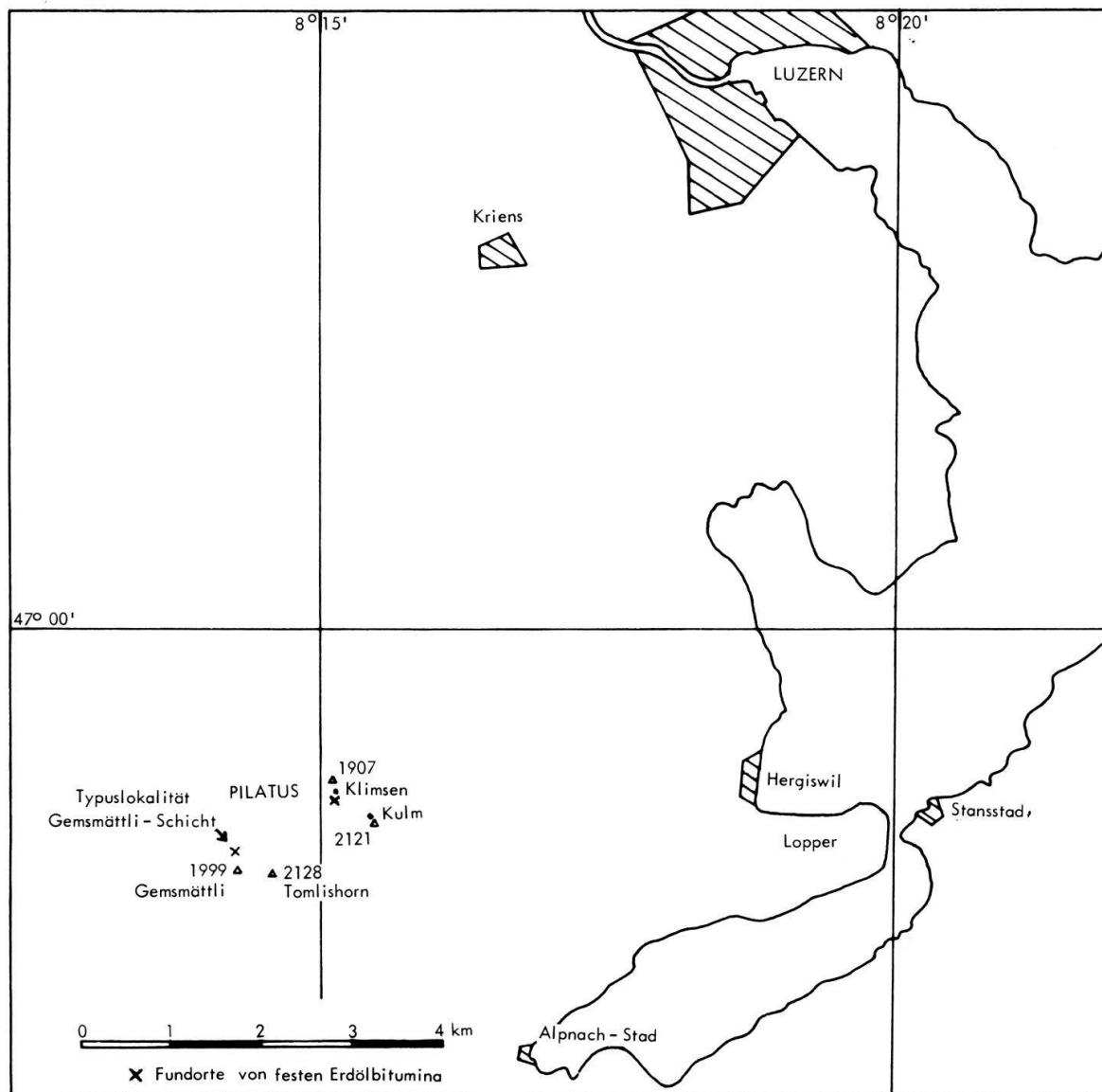


Fig. 1. Fundorte von festen Erdölbitumina in der Gemsmättli-Schicht am Pilatus. 1:100.000.

An der Typuslokalität erreicht die Mächtigkeit der Gemsmättli-Schicht nach BUXTORF (1907, p. 3) 1.50 m. Am Weg von Pilatus-Kulm zum Hotel Klimsenhorn wurden von FUNK (p. 193) im Kern der Tomlishornfalte 1.75 m gemessen (Schichten 7 bis 9). HANTKE (1966, p. 495) beschrieb die Lithologie der Gemsmättli-Schicht und erläuterte ihre räumliche Ausdehnung im Helvetikum.

Der Hauptanteil der Gemsmättli-Schicht (1.30 m) wird von einem dunkel grüngrauen, massigen, sehr harten und zähen und vorwiegend grobsandigen, kieselreichen Kalk mit unregelmässig verteilten Glaukonit- und Glaukocalcit-Körnern gebildet (Schicht 8).

Die Quarzkörner sind kantengerundet und zeigen eine matte und rauhe Oberfläche. Der Carbonatgehalt des Gesteins erreicht zwischen 27 und 36 %. Tonminerale sind untergeordnet. Die Fossilien beschränken sich innerhalb dieses Abschnitts auf einige Brachiopoden und zum Teil silifizierten Belemniten.

Die eigentliche Gemsmättli-Fauna, die sich vorwiegend aus Cephalopoden zusammensetzt, stammt aus linsenförmigen Ansammlungen (Schicht 7), welche sich zwischen dem Valanginienkalk und der Hauptschicht 8 einschalten. Die Mächtigkeit dieser Linsen schwankt zwischen wenigen cm bis zu über 30 cm. Die Grundmasse des Gesteins ist hier ein kieselreicher, dunkelgrauer Kalk mit gleich ausgebildeten Quarzkörnern wie oben. Der Carbonatgehalt schwankt zwischen 45 und 56 %. Häufig sind hellbraune Calcitkörner, die dem Gestein ein gesprenkeltes Aussehen verleihen. Im Dünnschliff lassen sich hie und da organische Strukturen erkennen, und es könnte sich daher um umkristallisierte Schalenreste handeln. Feldspat wurde keiner festgestellt. Nach Behandlung mit HCl verbleibt oft ein schwammig-poröses Kieselgerüst zurück, das nicht selten Fragmente von Kieselspongien erkennen lässt. Glaukonit ist deutlich weniger verbreitet als in Schicht 8 im Hangenden.

Die Füllmasse der meisten Ammoniten und Nauiliden erscheint homogener, als das umliegende Sediment. Die Quarzkörner liegen hier meist in einem dichten, dunkelgrauen, ebenfalls kieselreichen Kalk mit einem Carbonatgehalt von 45 bis 70 %. Glaukonitkörner wurden nur vereinzelt beobachtet.

Auffallend ist die vollkommen ungeordnete Einbettung der Fossilien, was den Eindruck erweckt, dass diese auf sekundärer Lagerstätte liegen und durch Bodenströmungen aus ihrem ursprünglichen Zusammenhang herausgelöst, verfrachtet und zu den heute vorhandenen unregelmässigen Linsen angehäuft wurden.

Die Gemsmättli-Fauna setzt sich vorwiegend aus Ammoniten und Nauiliden zusammen. Daneben finden sich zahlreich Belemniten, unter denen *Duvalia lata* (BLAINVILLE) zu erwähnen wäre; weiter einige Brachiopoden (meist Terebrateln) und selten Pelecypoden.

Das Alter der meisten Ammoniten weist auf Oberes Valanginien. Daneben treten aber auch einige Gattungen und Arten auf, die anderswo vorwiegend im Hauerivien vorkommen. Zu erwähnen wären besonders die Gattungen *Subastieria*, *Subsaynella* und *Acanthodiscus*, ferner die Arten *Leopoldia* cf. *leopoldina* (d'ORB.) und *Saynella clypeiformis* (d'ORB.).

Das Fehlen von *Saynoceras verrucosum* (d'ORB.) in diesem reichhaltigen Material scheint anzudeuten, dass wir es hier mit Sedimenten zu tun haben könnten, die möglicherweise schon über der *verrucosum*-Zone liegen, also das alleroberste Valanginien repräsentieren würden (BARBIER et al. 1965, p. 83). Dagegen sprechen allerdings Vertreter von Gattungen wie *?Sarinella* und die grosse Verbreitung der Neocomiten, die doch eher auf älteres Valanginien deuten. Ähnliches gilt auch für die Abgrenzung gegen oben. Vertreter der Gattung *Lyticeras* (Unteres Hauerivien, DEBELMAS et al., 1965, p. 88) konnten mit Sicherheit nicht nachgewiesen werden. Dagegen gibt es aber die oben erwähnten Vertreter von Gattungen, die aus dem Hauerivien bekannt sind. Die sehr dünne Sedimentlage scheint also doch einer beachtlichen Zeitspanne zu entsprechen, die sich an-

scheinend über mehrere Ammoniten-Zonen erstreckt. Die Merkmale die für einen Kondensationshorizont sprechen sind gegeben.

In der untenstehenden tabellarischen Übersicht der wichtigsten Ammoniten-Gattungen aus der Gemsmättli-Schicht wurden die auf Hauerivien weisenden vorangestellt.

| | ohne feste Erdölbitumina | mit feste Erdölbitumina |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <i>Phylloceras, Hypophylloceras</i> | 15 | 3 |
| <i>Lytoceras</i> | 27 | 3 |
| <i>Neolissoceras</i> | 24 | — |
| <i>Subsaynella</i> | 4 | — |
| <i>Leopoldia (Leopoldia)</i> | 2 | — |
| <i>Acanthodiscus</i> | 1 | — |
| <i>Barremites (Raspailiceras)</i> | 1 | — |
| <i>Subastieria</i> | 6 | — |
| <i>Olcostephanus</i> | 20 | 1 |
| <i>Neocomites</i> | 127 | 29 |
| <i>Polyptychites (Polyptychites)</i> | 2 | — |
| <i>Polyptychites (Euryptychites)</i> | 7 | 1 |
| <i>Kilianella</i> | 4 | 1 |
| <i>Valanginites</i> | 3 | — |
| <i>Distolochoceras</i> | 15 | 6 |
| <i>Leopoldia (Karakaschiceras)</i> | — | 4 |
| <i>Oosterella</i> | 1 | 2 |
| ? <i>Sarasinella</i> | 2 | — |
| <i>Heteromorpha</i> | 17 | 1 |
| Nautiliden | 21 | 1 |
| | 299 = 85,2 % | 52 = 14,8 % |

Beim Präparieren und Bestimmen der Cephalopoden zeigte es sich, dass im Innern zahlreicher Ammoniten Ansammlungen eines festen Bitumens auftreten. Dieses ist längs der Kammerscheidewände, um den Siphon und besonders unter der Schale angereichert, wo es sich an der Oberfläche bemerkbar macht (Taf. 1, Fig. a). Auch im Sediment innerhalb von Fossilien, längs kleiner Spalten und zwischen Calcitkristallen (Taf. 1, Fig. b), die sich in Kammern bildeten, welche nicht ganz mit Sediment gefüllt wurden, hat sich Bitumen angehäuft. Im Gestein, das die Fossilien umgibt dagegen, wurde Bitumen bis jetzt nie beobachtet. Auch fehlt es vollkommen zwischen Calcitkristallen längs Klüften, die während der alpinen Orogenese entstanden sind, und die sowohl die Fossilien, als auch das Nebengestein durchqueren.

Wegen der sehr geringen Porösität des umliegenden Sediments ist kaum anzunehmen, dass Erdöl aus tieferen Schichten in die Fossilien migriert ist. Es darf folglich angenommen werden, dass vorliegendes Bitumen auf Erdöl zurückzuführen ist, welches seinerseits aus der organischen Substanz des Tieres entstanden ist.

Solche Vorkommen von Bitumen in den Fossilien bleiben keineswegs auf die Typuslokalität der Gemsmättli-Schicht begrenzt. 1.3 km ENE finden sie sich in gleicher Ausbildung ebenfalls im Kern der Tomlishornfalte, zwischen Pilatus-Kulm und dem Hotel Klimsenhorn wieder (Fig. 1). Allerdings sind die Fossilien hier, wegen der etwas intensiveren tektonischen Beanspruchung, weniger günstig überliefert. Es scheint also, dass während des Oberen Valanginien ein für die Erhaltung von Kohlenwasserstoffen günstiges Milieu herrschte, das sich über weitere Flächen erstreckt haben könnte.

Es sei noch erwähnt, dass bis jetzt Bitumen in Fossilien auf das Gebiet des Pilatus beschränkt bleibt. In Ammoniten aus der Gemsmättli-Schicht, aus dem Gebiet der Churfirsten im Osten und dem Justistal (Thunersee) im Westen konnten keine Spuren von Bitumen festgestellt werden.

Beim prüfen der vorliegenden Cephalopoden auf Bitumen zeigte es sich, dass 14,5 % aller untersuchten Stücke der vorliegenden Sammlungen ein positives Resultat ergaben. Aus der obigen Zusammenstellung lässt sich allerdings nicht allzuviel herauslesen, da ja das Museumsmaterial nicht zerstört werden kann, und wir daher nur auf Beobachtungen an den Oberflächen der Ammoniten angewiesen waren. Es lässt sich trotzdem erkennen, dass Arten, deren Vorkommen auf das Hauterivien beschränkt ist, kein Bitumen enthalten. Allerdings handelt es sich hierbei um zu wenig Stücke, um Folgerungen abzuleiten. Merkwürdig ist jedoch das Fehlen von Bitumen in den zahlreich vorliegenden *Neolissoceras*, die während des ganzen Valanginien und Hauterivien lebten. Ebenso wurde nur an einem Exemplar der 21 Nautiliden Spuren von Bitumen gefunden.

Die Untersuchung des Bitumens vom Pilatus ergab ein homogen erscheinendes, pechschwarzes, stark reflektierendes, sehr sprödes, muschelig bis hackig brechendes Material (Taf. 3, Fig. b), dessen Strich schwarz ist. Beim Erhitzen schwollt das Bitumen etwas und zersetzt sich dann, ohne einen Schmelzpunkt zu erreichen. In Chloroform und Schwefelkohlenstoff bleibt es unlöslich.

Basierend auf den Beschreibungen von A. J. LAVORSON, 1954, p. 656), M. GARY et al. (1972, p. 356) und L. H. KING et al. (1963, p. 46, 53) wurde das Bitumen vom Verfasser als Impsonit bestimmt. Der Name Impsonit wurde 1901 von ELDRIGE (Fig. 17, p. 264) eingeführt, und zwar für ein Pyrobitumen, das in einem Sandstein des Ordovicium im Impson Valley in Oklahoma in Gängen vorkommt.

Um den Grad der Metamorphose des Bitumens festzustellen, wurde eine Probe für eine mikropetrographische Untersuchung an H. JACOB an der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover gesandt. Der Befund lautet:

Fragestellung:

Liegt Impsonit vor?

Analytik:

a) **Makrobefund**

dunkles, sprödes Bitumen als Kammerfüllung von Ammoniten — in Paragenese mit Calcit- und Quarz-Kristallchen (nach RENZ)

b) **Auflicht-Mikroskopie (Hellfeld)**

mehrere Bitumen-Generationen unterschiedlicher Reflexion — Bitumen ist optisch isotrop bzw. nahezu isotrop — ältere Bitumen-Generationen vereinzelt mit SpannungsrisSEN und mylonitisiert — in der ältesten Generation häufig Verwitterungsrisse — Verwachsung mit Karbonspäten — vereinzelt Pyrit-Sphärolithe, meist aber in Eisenoxydhydrate umgewandelt (z. T. pseudomorph nach Pyrit-Sphärolithen)

c) **Reflexions-Photometrie**

(Ölimmersion — 546 nm — 144 Messungen) wenigstens vier Verteilungs-Maxima bei 0.38 %, 0.50 %, 0.70 % und 0.95 % — in gleicher Abfolge nimmt der Volumen-Anteil dieser Bitumen-Generationen zu

d) **Löslichkeit in Immersionsöl**

im Verlauf von ca. zwei Stunden keine Ätzung der Oberflächen festgestellt

e) **Fliesspunkt**

nach RENZ weist das Material keinen Fliesspunkt auf

Ergebnis:

Das Bitumen befindet sich in Paragenese mit Calcit, Pyrit und Quarz; Eisenoxydhydrate sind erst später durch Verwitterung von Pyrit entstanden. Es konnten wenigstens 4 Bitumen-Generationen festgestellt werden:

1. Generation = Epi-Impsonit,
 2. Generation = Albertit oder Grahomit,
 3. Generation = Albertit oder Grahomit,
 4. Generation = Albertit oder Glanzpech.
- } nähere Diagnose
wegen inniger Verwachsung
nicht möglich

Demnach hat die Öl/Bitumen-Migration wenigstens in 4 Phasen stattgefunden. Zwischenzeitlich erfolgte Thermometamorphose des in «Fallen» (Ammoniten) befindlichen Bitumens. Durch Erosion bedingt wurde das Material der Verwitterung ausgesetzt. Hierbei ist nicht nur Pyrit z. T. in Eisenoxydhydrate verwandelt worden, sondern auch die Bitumina sind z. T. davon betroffen. Erfahrungsgemäss weisen stärker metamorphe Bitumina (z. B. Impsonite) höhere Verwitterungsempfindlichkeit als schwach metamorphe auf.

Eine spektralanalytische Untersuchung des Bitumens wurde von W. B. STERN vom Mineralogisch-Petrographischen Institut in Basel durchgeführt. Die qualitative Spurenanalyse ergab folgendes Resultat:

Anwesend sind die Elemente (als Hauptkomponenten, bzw. Spurenelemente): Ca, K, Al, Mg, Si, Fe, Sr, Mn, Ni, V, B, Zr, Pb. Es fehlen die Elemente Y, Ti, Mo, Ba, Li, Cu, Be, Co, Nb, Ta, Au, P.

Nicht erstaunlich ist das Vorkommen von Nickel und Vanadium, zwei Elementen, die in den meisten Erdölen nachzuweisen sind.

Zusammenfassende Betrachtungen.

Aus der organischen Substanz der Cephalopoden des Valanginien aus der Gemsmättli-Schicht bildete sich Erdöl, das wegen der sehr geringen Porösität des kieselreichen umliegenden Gesteins nicht weiter migrieren konnte. Dieses Erdöl lagerte sich an den Kammerscheidewänden und besonders im Winkel zwischen diesen und der Schale der Gehäuse ab (Taf. 1, Fig. a). Es imprägnierte hier die feinsten Spalten zwischen den Calcitkristallen, aus denen sich die Kammerscheidewände aufbauen, und drang sogar längs der feinen Rillen zwischen den Zwillingslamellen vor (Taf. 2, Fig. d). Einige der Ammoniten wurden nicht vollständig mit Sediment gefüllt, es blieben Hohlräume innerhalb der Kammern bestehen. Während einer frühen Phase der alpinen Orogenese entstanden Klüfte, welche diese Hohlräume mit dem Valanginienkalk, im unmittelbaren Liegenden der fossilreichen Schicht, in Verbindung brachte. Längs diesen Spalten, die an der Rutschstreifung zu erkennen sind, konnten carbonathaltige Lösungen in die Hohlräume der Ammoniten eindringen, und es bildeten sich Calcitkristalle, die das Innere der Kammern auskleideten. Das Erdöl reicherte sich zwischen diesen Kristallen an (Taf. 1, Fig. b; Taf. 2, Fig. a).

Mit dem Fortschreiten der alpinen Orogenese verlor das Erdöl durch thermische Beeinflussung einen Teil seiner flüchtigen Bestandteile und wandelte sich in halbfeste Asphalte. Während dieser Phase bildeten sich Gasblasen, die ihrerseits dann mit Calcitkristallen ausgefüllt wurden (Taf. 2, Fig. c; Taf. 6; Taf. 7, Fig. a). In diese Periode dürfte wahrscheinlich auch die Entstehung der zahlreich vorhandenen bipiramidalen, oft flächenreichen Quarzkristalle fallen. Wie die Calcitkristalle, sind diese meist vollständig im Bitumen eingebettet und sind stets an dieses gebunden (Taf. 4, 5). Sie siedelten sich sogar in den dünnen Bitumenschichten zwischen den Calcitlagen an, welche die Kammerscheidewände aufbauen (Taf. 2, Fig. b). Im benachbarten Gestein wurden solche Quarz-

kristalle nie beobachtet. Über die chemisch-physikalischen Bedingungen, die zur Bildung der Kristalle führten, ist mit Bestimmtheit nichts zu sagen.

Während einer folgenden Phase der alpinen Orogenese wandelten sich die noch zähen Asphalte, durch Thermometamorphose, in die jetzt vorliegenden spröden Bitumina, die nach den mikropetrographischen Untersuchungen von JACOB (p. 5) zu einem grossen Teil aus Epi-Impsonit bestehen (JACOB 1967, p. 394). Durch weiteren Verlust flüchtiger Bestandteile, die zu einer Verringerung des Volumens führten, bildeten sich auf den Oberflächen des Bitumens, in Hohlräumen zwischen Calcitkristallen (Taf. 2, Fig. a), polygonal verlaufende Risse, analog den Trockenrissen auf feuchten Tonflächen beim austrocknen (Taf. 3, Fig. a). Die Spaltenbildung setzte sich dann durch die ganze Masse des Bitumens fort und verleihte diesem ein mylonitisirtes Aussehen. Ein bipiramidaler Quarzkristall, der teilweise noch fest mit dem Bitumen verbunden ist, muss also vor der Bildung der Risse entstanden sein. Wir dürfen folgern, dass die Quarzkristalle im allgemeinen vor der Rissbildung entstanden sind.

Gegen das Ende der alpinen Orogenese, als die Metamorphose der Asphalte zu festen Bitumina abgeschlossen war, öffneten sich Spannungsrisse, die anscheinend von den gerundeten Calcitkristallen ausgingen (Taf. 6, Fig. a). Diese haben sich in das bereits spröde Bitumen fortgesetzt. Die Figur c auf Tafel 7 zeigt ein Negativ eines der gerundeten, von Bitumen umgebenen Calcitkristalle. Deutlich lässt sich hier ein Spaltensystem erkennen, das teilweise von Calcit ausgefüllt wurde (Taf. 8). Sowohl in den Spalten, als auch in deren Umgebung an der Grenzfläche des Bitumens zum Calcit, wurden bei Vergrösserungen von über 2000x, Strukturen beobachtet, die möglicherweise auf Mikroorganismen zurückzuführen sind.

Die Entstehung der Spannungsrisse wäre, nach unsern Beobachtungen, die letzte Veränderung, von der das Bitumen betroffen wurde.

Nach den Untersuchungen von H. JACOB konnten 4 Generationen unterschiedlicher Reflexion im Bitumen erkannt werden, woraus auf 4 Phasen der Thermometamorphose geschlossen werden kann. Ob diese 4 Phasen im Zusammenhang stehen mit Ereignissen, die während der alpinen Orogenese stattfanden, ist nicht erwiesen, erscheint aber wahrscheinlich.

Erläuterungen zu den Tafeln 1 bis 8.

Die Folge der Bilder wurde soweit als möglich nach genetischen Gesichtspunkten vorgenommen.

TAFEL 1

Figur a, 15 ×

Die Gehäuse der Ammoniten der Gemsmättli-Fauna wurden zum grössten Teil vollständig mit Sediment ausgefüllt. Die organische Substanz, in Form von Erdöl, aus dem durch Thermometamorphose während der alpinen Orogenese feste Erdölbitumina wurden, lagerte sich meist unter der Gehäusewand und längs der Kammerscheidewände ab. Die Photographie zeigt die Oberfläche eines leicht deformierten *Neocomites* sp. mit noch deutlich erhaltener Suturlinie. Erkennbar sind der etwas zusammengedrückte Laterallobus und der dorsale Ast des Externsattels. Das Bitumen häufte sich besonders im Winkel zwischen Gehäusewand und Kammerscheidewand, wo es an den hellen Flecken (Reflexionen) auf schwarzem Untergrund zu erkennen ist. Die hellen Gebiete unten links im Bild sind noch Reste der Schale. Sehr deutlich sichtbar ist eine dünne Lage von Bitumen, das zwischen den beiden Calcitschichten, welche die Kammerscheidewände aufbauen, eingedrungen ist. Recht häufig sind kleine, regelmässig bipiramidal ausgebildete, wasserklare Quarzkristalle, die meist ganz von Bitumen umschlossen werden. Zwei wurden mit Strichen und Pfeilen angedeutet. Wegen der starken Reflexe sind sie aber kaum zu erkennen.

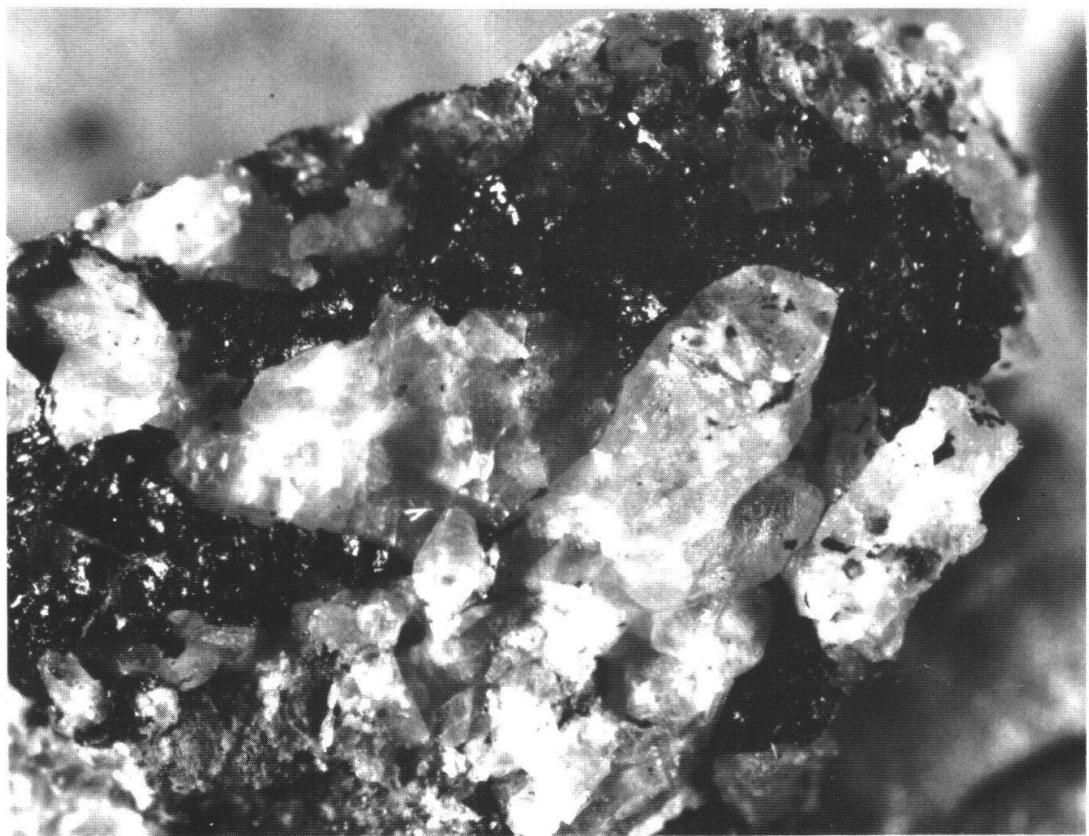
Figur b, 20 ×

Das Bild zeigt einen, der eher seltenen Fällen, wo das Gehäuse eines Ammoniten (*Neocomites* sp.) nicht vollständig von Sediment ausgefüllt wurde. Die organische Substanz reicherte sich in den verbliebenen Hohlräumen an. Wahrscheinlich schon während einer frühen Phase der alpinen Orogenese wurde der Ammonit durch Klüftung in 2 Hälften geteilt, die sich um ca. 2 cm gegeneinander verschoben. Längs der Kluftfläche ist noch schwache Rutschstreifung zu erkennen. Damit konnten carbonathaltige Lösungen aus dem Valanginienkalk unmittelbar im Liegenden in die Hohlräume eindringen, deren Wände von Calcitkristallen ausgekleidet wurden. Das Bitumen sammelte sich zwischen den Kristallen und wurde schliesslich ganz von diesen umschlossen. Quarzkristalle wurden hier im Bitumen nur ganz vereinzelt beobachtet, was andeuten könnte, dass siliciumhaltige Lösungen aus dem Hangenden keinen Zutritt zwischen den Calcitkristallen fanden.

TAFEL 1



a



b

TAFEL 2

Figur a, 20 ×

Zwischen den Calcitkristallen blieben noch kleine Hohlräume bestehen, von denen einer, rechts oben im Bild, beobachtet werden konnte. Ein Ausschnitt aus der Oberfläche des Bitumens in einem solchen Hohlräum wurde mit dem Elektronenmikroskop untersucht und auf Tafel 3, Figur a abgebildet. Das Bitumen in der Umgebung des Hohlräums wird dicht von offenen Spalten durchsetzt, und zerfällt daher bei der leisesten Berührung in kleinste Splitter.

Figur b, 20 ×

Das Bild zeigt eine dünne Lage von Bitumen, die zwischen den beiden Calcitschichten einer Kammerscheidewand eines grossen *Lytoceras* abgelagert wurde. Die organische Substanz muss in Form von Erdöl schon vor der alpinen Orogenese zwischen die Calcitkristalle eingedrungen sein (vgl. Taf. 1, Fig. a, Suturlinie). In der oberen Ecke, rechts im Bild, sind noch Teile der oberen Calcitschicht der Kammerscheidewand mit der Abbruchfläche (heller Streifen unten) erhalten. Im Bitumen selber liegen zahlreiche wasserklare und idiomorphe Quarzkristalle, die sich in dem engen Raum nur stark verzerrt bilden konnten und auch teilweise in den Calcit eingewachsen sind. Die Kristalle bleiben jedoch auf die dünne Schicht von Bitumen beschränkt und wurden im sehr kieselreichen umliegenden Gestein nie beobachtet.

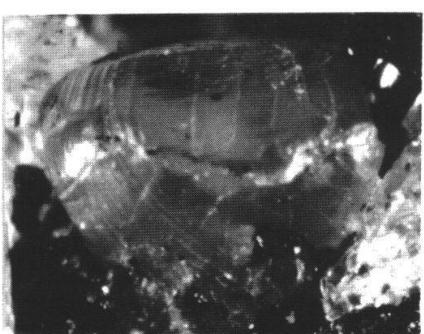
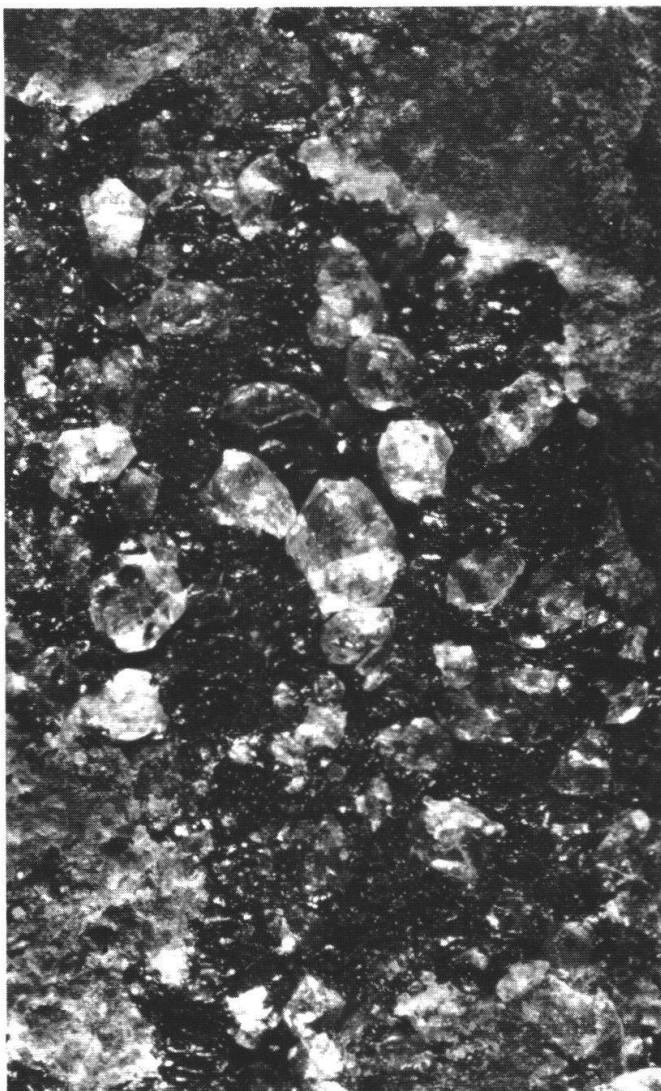
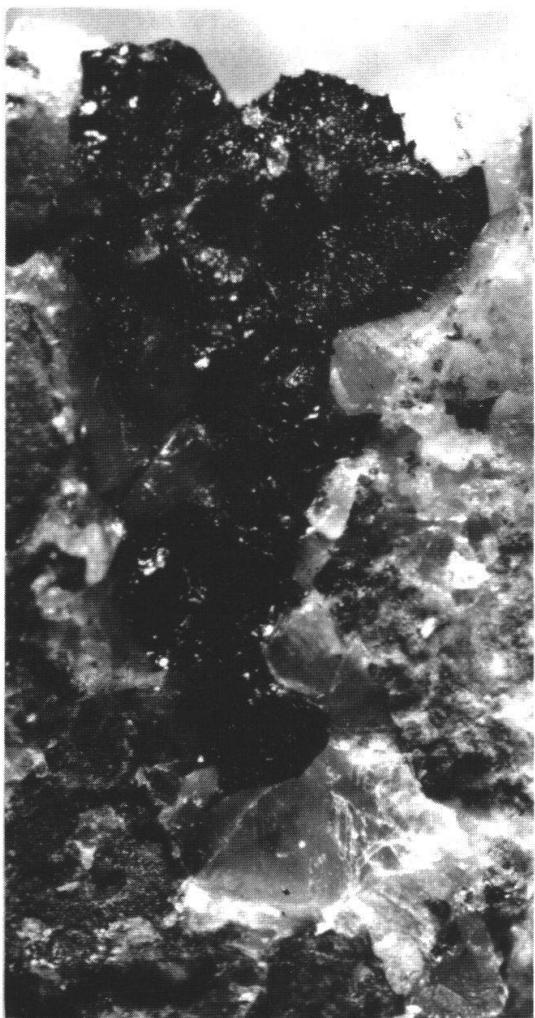
Figur c, 30 ×

Kugelförmige Kristalle aus Calcit, die analog den Quarzkristallen von Bitumen eingeschlossen werden, sind nicht selten zu beobachten. An ihrer Oberfläche zeigt sich eine dicht stehende parallele Streifung, die links im Bild deutlich erkennbar ist. Die Untersuchung ergab, dass sich der Calcit längs dieser Streifung leicht zu Lamellen spalten lässt. Es handelt sich hier offenbar um Zwillingsstreifung und Zwillingslamellen. Über weitere diesbezügliche Beobachtungen siehe Tafeln 6–8.

Figur d, 20 ×

Blick senkrecht auf die Kammerscheidewand eines *Neocomites* sp. Die dichte Parallelstreifung an der Oberfläche eines Calcitkristalls wird von Zwillingslamellen verursacht. Diese treten, durch Impregnation von Erdöl, das vor der alpinen Orogenese längs der feinen Rillen eingedrungen ist, besonders deutlich hervor. Ebenso drang Erdöl in die feinsten Spalten, welche den Kristall senkrecht zu den Zwillingslamellen queren. Ein breiterer, jetzt mit festen Bitumina gefüllter Spalt längs der Bildmitte, bricht rechts im Bild ab, und ein darunter liegender, nicht gespaltener, ebenfalls aus Zwillingslamellen bestehender Kristall wurde damit freigelegt (rechts im Bild). Unten rechts liegt in einer kleineren Ansammlung von Bitumen, einer der bipiramidalen Quarzkristalle (mit Pfeil angedeutet).

TAFEL 2



a

b

c

d

Methodik Raster-Elektronenmikroskopie

Die zu untersuchenden Präparate wurden mit Cementit auf Bruchstücke von Deckgläser montiert, die ihrerseits durch doppelseitig klebende Photoecken (Fotofix) auf Aluminiumteller befestigt wurden. Die Ränder der Deckgläser wurden anschliessend mit Leitsilber umrandet.

Für die Bedampfung stand eine Aufdampfungsanlage vom Typ Leybold-Heraeus EPA 100 zur Verfügung. Nach dem Aufbringen der Objekte erfolgte eine Rotationsbedampfung mit Kohle und Gold. Sämtliche raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden mit einem «Stereoscan» Mark II a (Hersteller: Cambridge Scientific Instruments) hergestellt.

Die Vergrösserung wurde bei den Erklärungen zu den Abbildungen angegeben.

Die Untersuchung der Spaltenfüllung im Bitumen (Taf. 8, Fig. b) wurde mit einer, am Raster-Elektronenmikroskop angeschlossenen energiedispersiven Mikrosonde (EDAX 707) vorgenommen.

TAFEL 3

Figur a, 600 ×

Das Bild zeigt einen Ausschnitt der Oberfläche im Bitumen innerhalb eines Hohlraums zwischen den Calcitkristallen (vgl. Taf. 2, Fig. a). Es darf angenommen werden, dass hier Erdöl, während einer späteren Phase der alpinen Orogenese, durch geothermische Beanspruchung, über halbfeste Asphalte in feste Erdölbitumina gewandelt wurde (JACOB 1967, Tabelle 1, p. 394). Infolge einer Verringerung des Volumens durch den Verlust flüchtiger Bestandteile entstand auf der Oberfläche ein polygonales System von Rissen, etwa analog den Trockenrissen auf einer feuchten Tonfläche beim austrocknen¹⁾. Die Ränder der entstandenen polygonalen Platten lösten sich von dem noch weniger geschrumpften unterliegenden Material und wölbten sich nach oben. Die Trennungsline der Platten auf der Unterfläche wird durch eine stehengebliebene Kante (Narbe) markiert. Solche Kanten sind rechts im Bild noch deutlich erhalten geblieben. Sie werden von einem nächstjüngeren System von Spalten, welches sich dann auf der Unterfläche bildete, gekreuzt. Diese Spalten beeinflussen die polygonalen Platten darüber nicht mehr (rechte Bildhälfte).

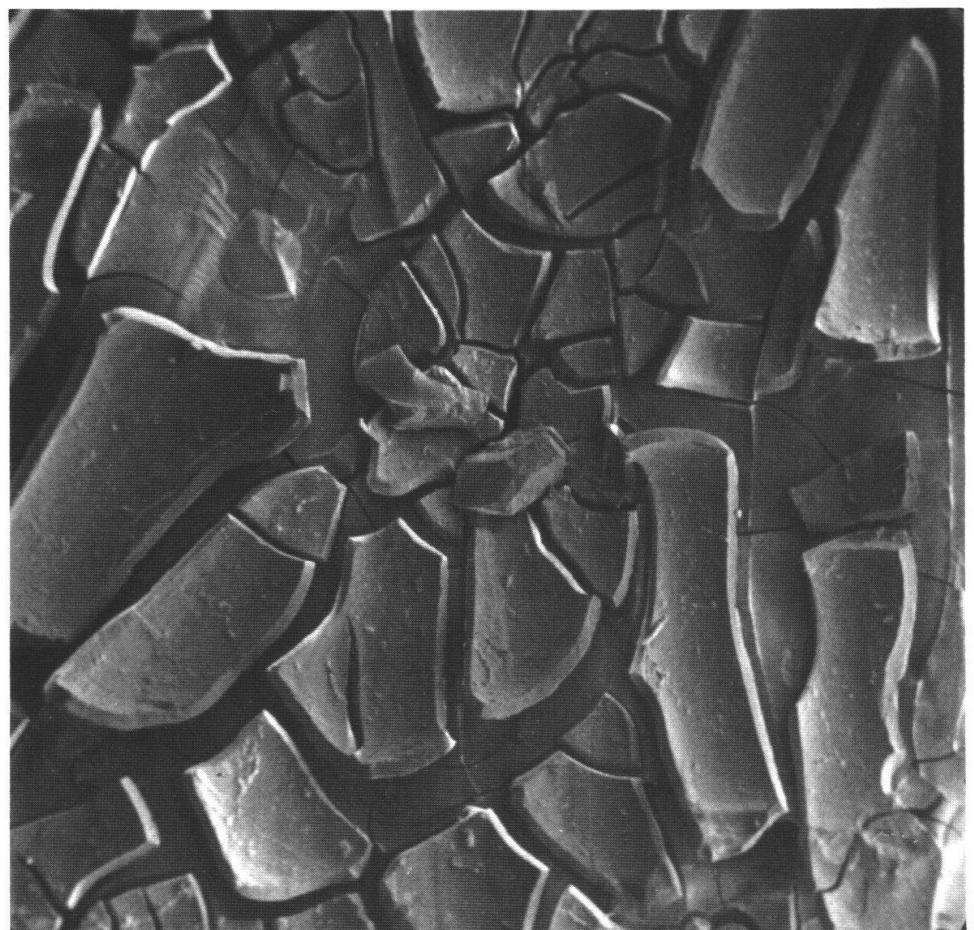
Von Interesse ist ein kleiner bipiramidaler Quarzkristall in der Mitte des Bildes. Dieser war vor der Entstehung der Spalten vollkommen von Bitumen umschlossen, da eine, der den Kristall umgebenden polygonalen Platten (oben rechts im Bild), noch fest mit diesem verbunden blieb. Der Kristall muss folglich vor der Bildung der Risse entstanden sein, d. h. während einer früheren Phase der alpinen Orogenese, zu einer Zeit, als sich das Bitumen noch nicht im jetzigen spröden Zustand befand.

Figur b, 240 ×

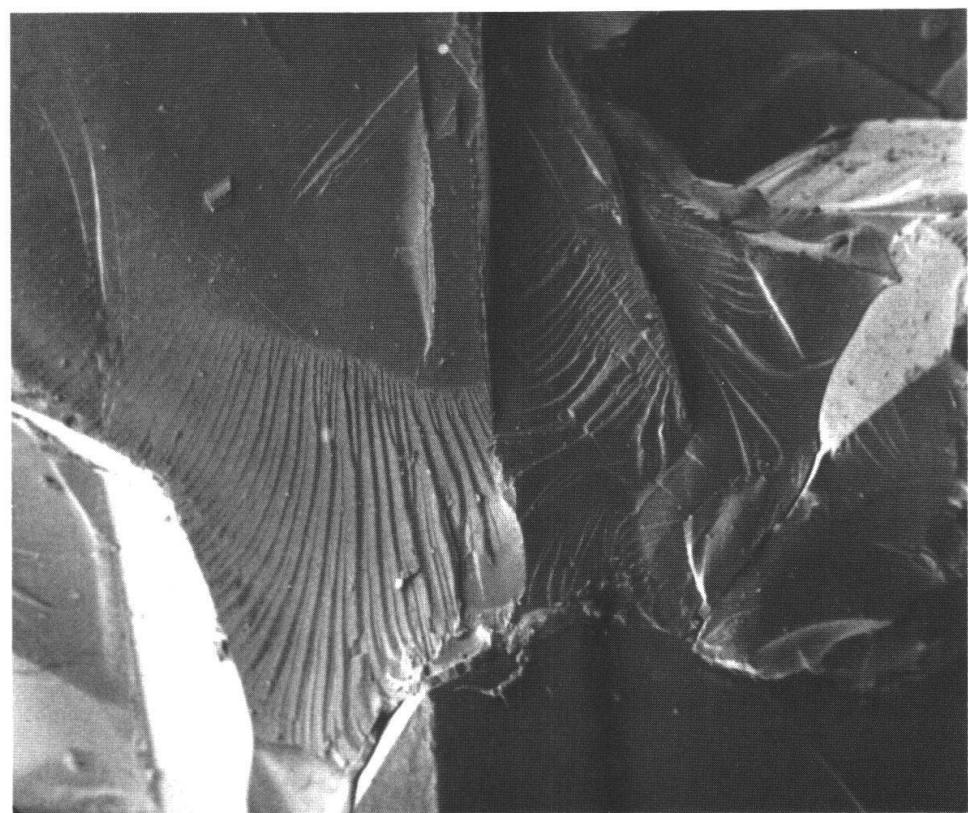
Unten links im Bild ist der Kontakt des muschelig brechenden Bitumens mit einem Quarzkristall klar sichtbar. Der gleiche Kristall wurde auf Tafel 4 in Figur a (oben) abgebildet (mit Pfeil angedeutet).

¹⁾ Diese Risse können auch im Lichtmikroskop beobachtet werden, sind also keine Artefakte, die beim Bedampfen oder während der Aufnahmen im REM entstanden sind.

TAFEL 3



a



b

TAFEL 4

Figur a, 80 ×

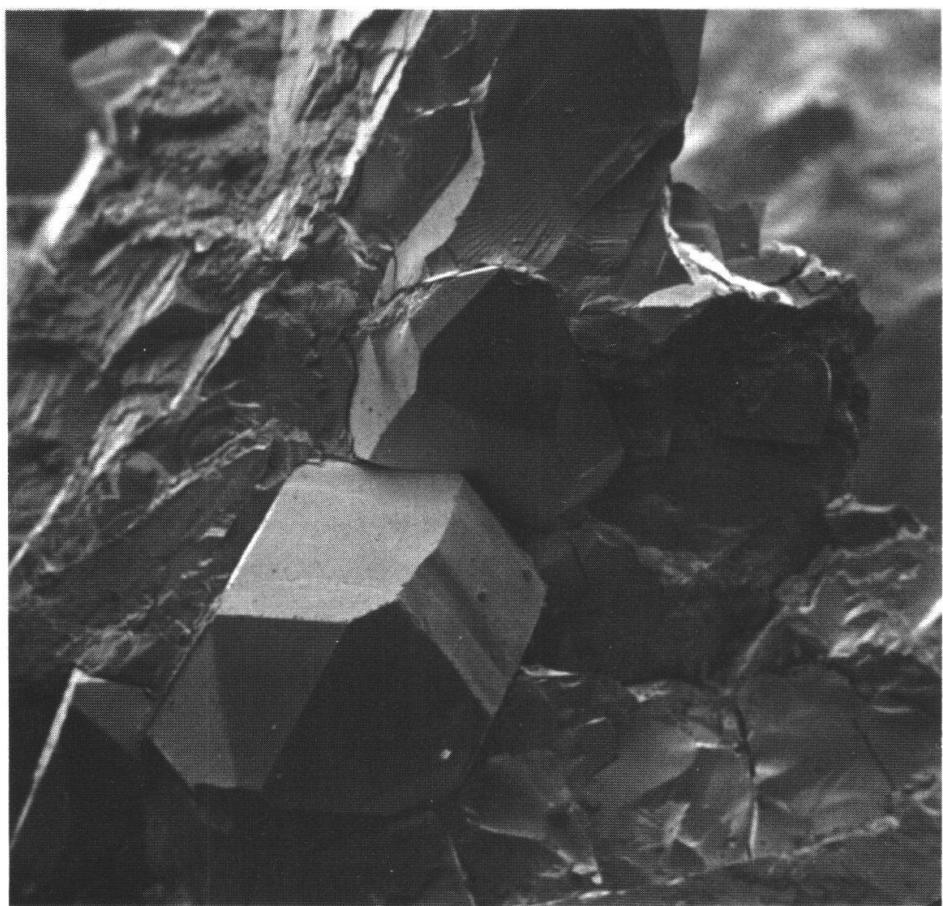
Zwei der häufig im Bitumen eingelagerten Quarzkristalle sind sichtbar. Der typische muschelige Bruch des Bitumens, gerade über dem oberen Kristall (Pfeil rechts am Bildrand), wurde in Figur b auf Tafel 3 vergrössert dargestellt.

Figur b, 60 ×

Vereinzelt finden sich Quarzkristalle, die zu Aggregaten verwachsen sind. Die vorliegende Gruppe setzt sich aus 5, soweit sichtbar bipiramidalen, mehr oder weniger parallel gelagerten Kristallen zusammen.

Die Streifung im Bitumen auf der rechten Hälfte des Bildes hat nichts mit muscheligem Bruch zu tun. Es handelt sich hier um das Negativ eines der gerundeten Calcitkristalle, dessen Zwillingslamellen sich auf dem Bitumen abzeichneten (für weiteres, siehe Tafeln 7 und 8).

TAFEL 4



TAFEL 5

Figur a, 240 ×

Die Aufnahme zeigt einen idiomorphen Quarzkristall, der vollständig im Bitumen eingebettet liegt. Auf der mitteldunklen Rhomboeder-Fläche links im Bild haftet noch eine Lage von Bitumen, die am muscheligen Bruch erkennbar ist.

Es sei hier erwähnt, dass zwischen Calcitkristallen in den Kammern von Cephalopoden aus Kreideschichten der andinen Geosynclinale Columbiens und Venezuelas ähnliche Bitumina nicht selten beobachtet wurden, und dies besonders in Kalken, die durch Überlagerungsdruck von mächtigen jüngeren Sedimenten leicht umkristallisiert wurden. Paragenesen mit Quarz- oder Calcitkristallen, wie sie am Pilatus auftreten, wurden aber nie angetroffen.

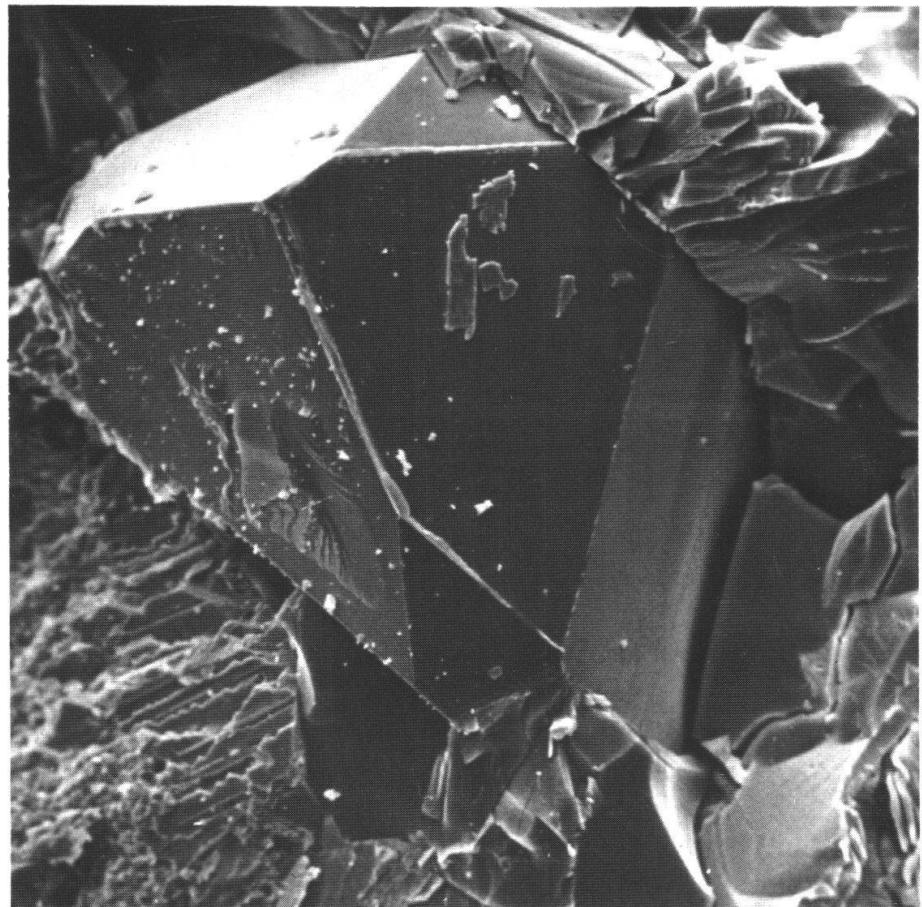
Weitgehend noch ungeklärt sind die sicherlich sehr komplexen chemisch-physikalischen Bedingungen, die zur Entstehung der bipiramidalen Quarzkristalle im noch nicht verfestigten Bitumen (Asphalt) geführt haben.

Figur b, 60 ×

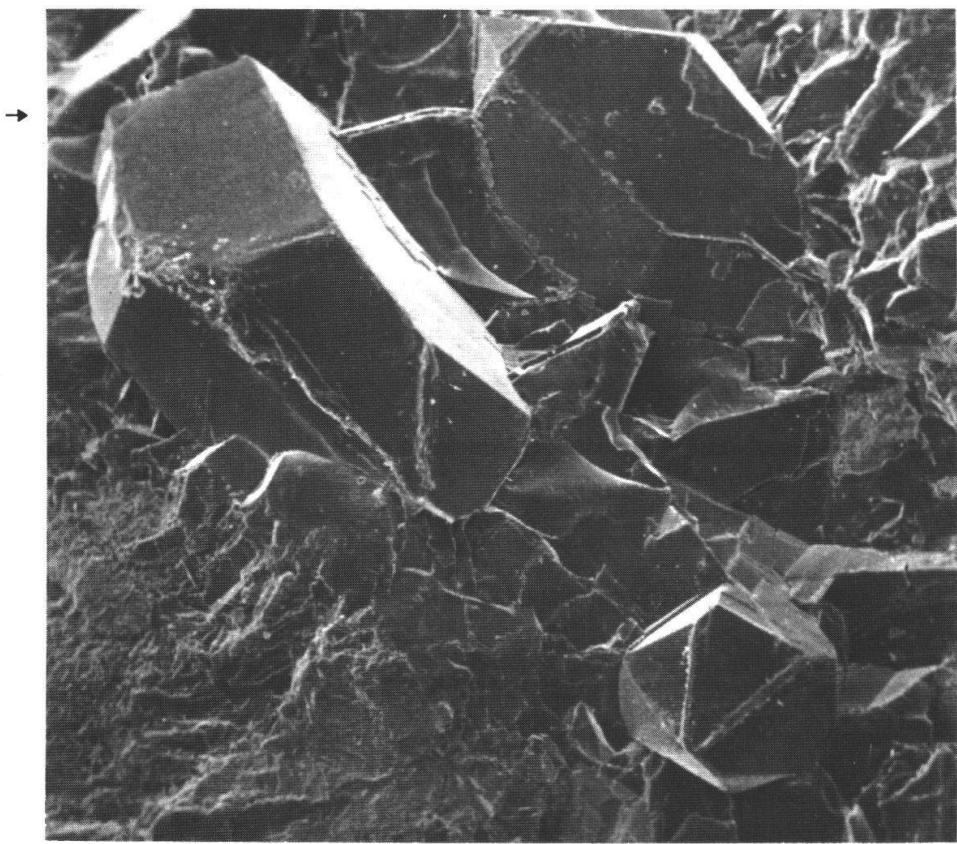
Im Gegensatz zum oben abgebildeten Kristall mit scharf ausgebildeten Kanten, sind auch solche mit deutlich abgeplatteten Kanten zu beobachten. Dies beruht wahrscheinlich auf Störungen im Gleichgewicht des Wachstums, die durch Schwankungen in der Temperatur bedingt sein könnten (HONIGMANN 1958, p. 63). Eine Erklärung für das Nebeneinander von normal scharfen und unregelmässig abgeplatteten Kanten ist damit aber nicht gegeben. Es könnte dies auch anzeigen, dass sich das Wachstum der Kristalle über einen langen Zeitabschnitt erstreckte, während dem einige Flächen weiter wuchsen, während bei anderen die Materialzufuhr bereits unterbrochen war.

Der Pfeil links am Bildrand weist auf eine schmale Spalte im Bitumen, die locker mit Calcit gefüllt wurde. Diese setzt sich längs der oberen Rhomboeder-Fläche des rechts liegenden Kristalls fort. Strukturen die an Mikroorganismen denken lassen, wie sie in Figur b auf Tafel 8 erscheinen, wurden hier nicht beobachtet.

TAFEL 5



a



b

TAFEL 6

Figur a, 85 ×

Das Bild zeigt die Oberfläche eines der abgerundeten Calcitkristalle, die meist ganz oder zum Teil im Bitumen eingebettet liegen. Die freie Oberfläche des Calcits wird noch teilweise von einer sehr dünnen Lage aus Bitumen bedeckt (unten rechts). Bei der Anfertigung des Präparats löste sich dieses an mehreren Stellen am Kontakt mit dem Calcit, und so entstand hier die oben im Bild gut sichtbare Spalte.

Der helle Streifen an der Oberfläche des Calcitkristalls entspricht der Grenze von Zwillingslamellen (vgl. die Zwillingsstreifung an einem ähnlichen Calcitkristall auf Tafel 2, Figur c).

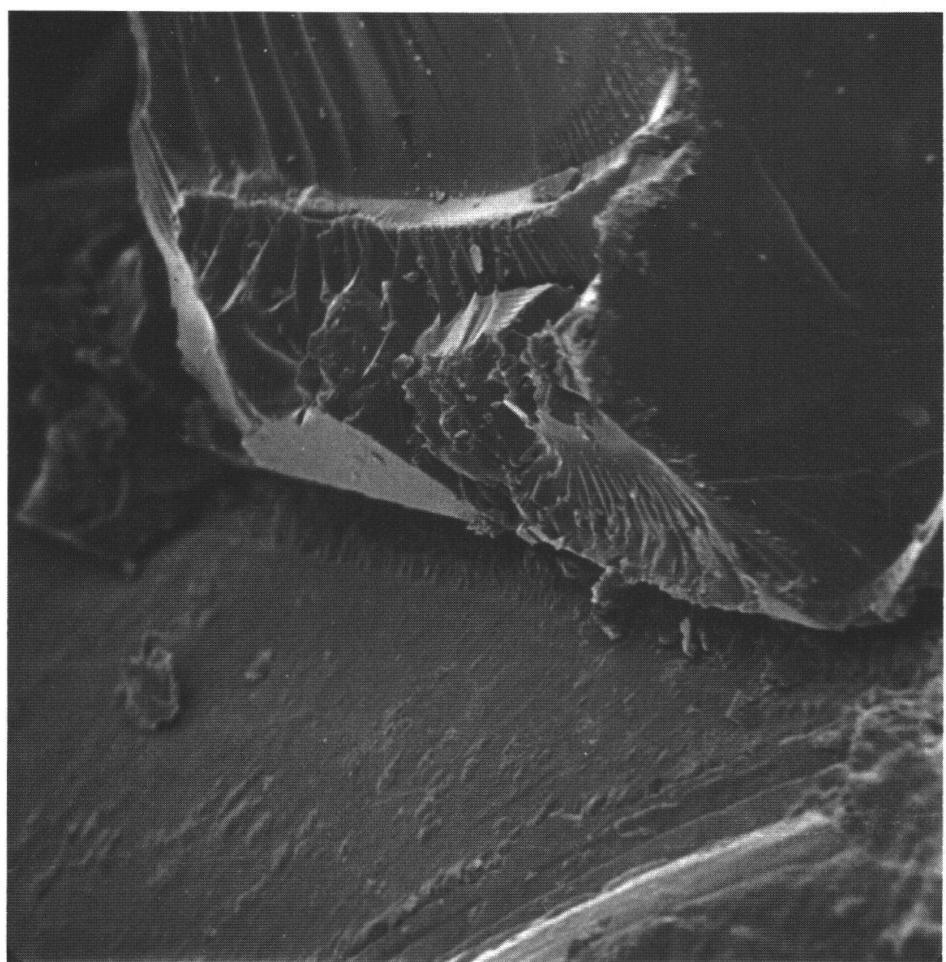
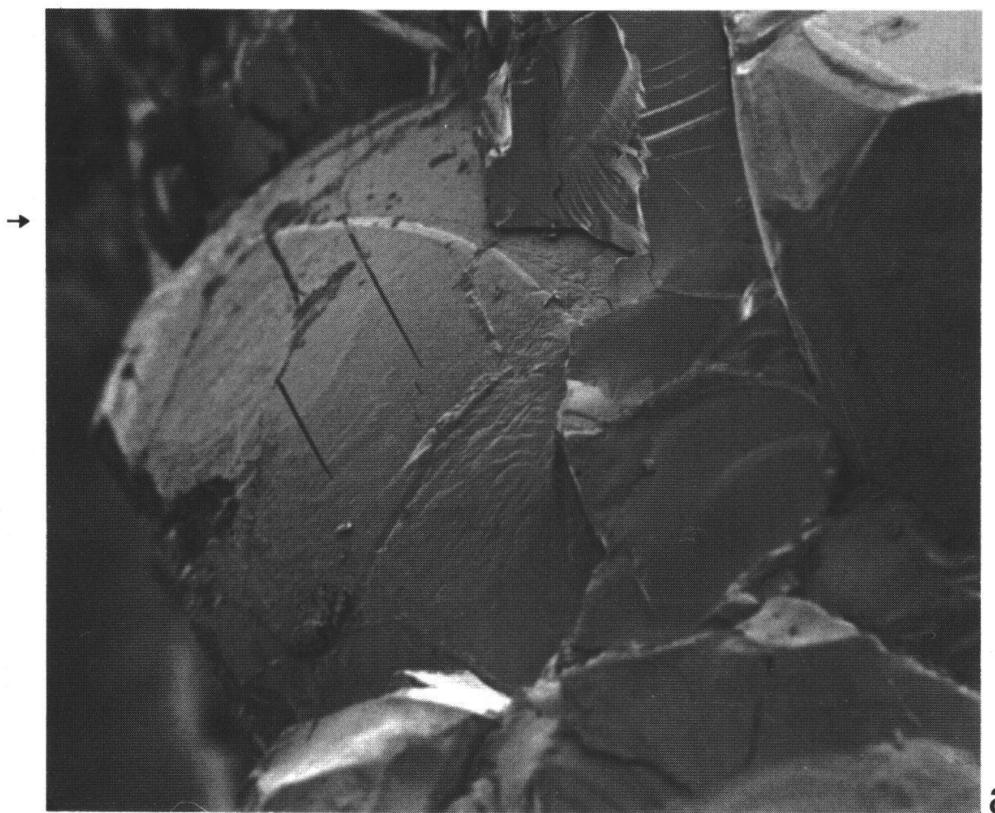
Bemerkenswert sind die drei parallel verlaufenden offenen Spalten, von denen die rechtsliegende, die Grenzlinie zweier Zwillinge im Calcit noch etwas überquert. Diese Spannungsrisse wurden nicht mit Bitumen angefüllt und sie müssen daher entstanden sein, als sich dieses bereits im jetzigen spröden Zustand befand (für weitere diesbezügliche Beobachtungen siehe Tafel 8).

Die Frage nach der Entstehung dieser kugelförmigen Calcitkristalle ist nicht mit Sicherheit zu beantworten. Der Ausgangspunkt könnten Gasblasen gewesen sein, die entstanden, als sich das Bitumen noch in plastischem Zustand befand. Diese Gasblasen wurden dann, ähnlich wie andere Hohlräume im Gestein, mit Calcit ausgefüllt.

Figur b, 600 ×

Der Pfeil links, neben obenstehender Figur a, weist auf die Blickrichtung, aus welcher Figur b aufgenommen wurde. Ein Ausschnitt von Trennungslinien zwischen den Zwillingslamellen im Calcit ist unten rechts im Bild noch sichtbar. Man beobachtet deutlich, dass sich zwischen dem hackig brechenden Bitumen oben, und der Calcitoberfläche, noch eine dünne Lage von Bitumen einschaltet, die fest mit dem Calcit verbunden ist (vgl. Taf. 7, Fig. a, b). Wieso die Bruchfläche hier nicht zwischen Calcit und Bitumen verläuft, wie z. B. bei dem auf Tafel 2 in Figur c abgebildeten Kristall, können wir ohne weitere petrographische Untersuchungen der beiden Bitumina, nicht wissen.

TAFEL 6



TAFEL 7

Figur a, 60 ×

Ein weiterer, ganz von Bitumen umgebener, kugelförmiger Calcitkristall ist hier deutlich sichtbar. Die Oberfläche des Kristalls ist teilweise recht uneben ausgebildet, was die Annahme eines noch plastischen Zustands des Bitumens (Asphalt) während des Wachstums des Kristalls erhärten könnte (vgl. Taf. 6, Fig. a). Sehr klar erkennbar ist die Zwillingslamellierung.

Figur b, 600 ×

Das Bild zeigt ein Detail der Zwillingslamellen, die auch hier noch von einer dünnen Schicht aus Bitumen bedeckt werden. Die Lage des dreikantigen Splitters aus festem Bitumen wurde auf Figur a mit einem Pfeil angedeutet.

Figur c, 34 ×

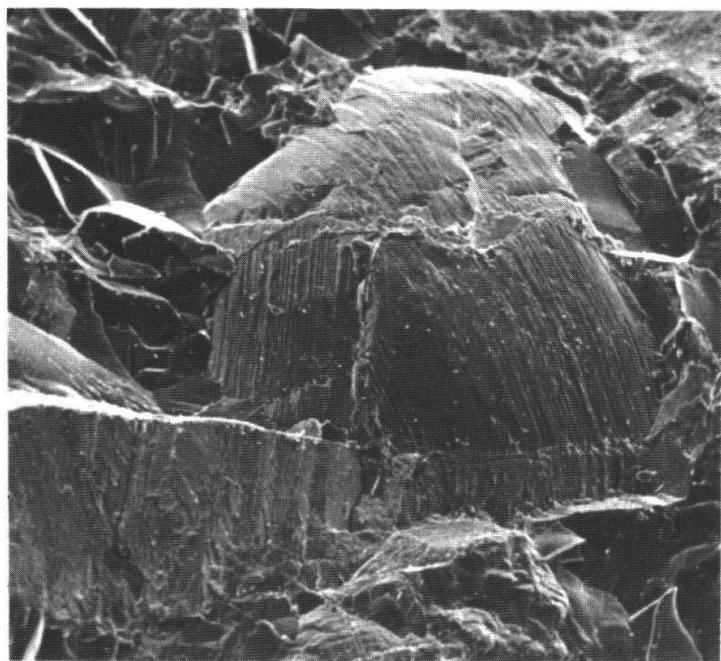
Die Ansicht vermittelt einen grösseren Ausschnitt einer Bruchfläche im Bitumen. Die auffallende Vertiefung in der oberen Bildhälfte ist der Abdruck (Negativ) eines herausgebrochenen gerundeten Calcitkristalls. Längs den Wänden sind die, im Bitumen abgedrückten Zwillingslamellen leicht zu erkennen. Auffallend ist ein breites Spaltenbündel in Richtung des oberen Pfeils am linken Bildrand. Dieses steigt rechts die Wandung der Vertiefung empor und verursachte in dieser einen Knick, der eine entsprechende Richtungsänderung der Abdrücke der Zwillingslamellen bedingte. Längs dieser Spalte zweigt mit etwa rechten Winkeln ein sekundäres System von feineren Spalten ab, das die Abdrücke ebenfalls mit rechten Winkeln quert. Es scheint wahrscheinlich, dass diese Spalten mit den Calcitkristallen selbst zusammenhingen (siehe die offenen Spalten im Calcit auf Taf. 6, Fig. a).

Man könnte annehmen, dass sich das Wachstum des Calcitkristalls noch etwas fortsetzte, als das ihn umgebende Bitumen bereits spröde wurde, und die damit entstehenden Spannungen die Spaltenbildung auslöste. Auch die Verformung der Oberfläche des Kristalls wäre damit erklärt.

Gerade unterhalb des oben beschriebenen Abdrucks eines Calcitkristalls liegt eine Hälfte eines weiteren, der auf Tafel 8 in Figur a vergrössert abgebildet wurde.

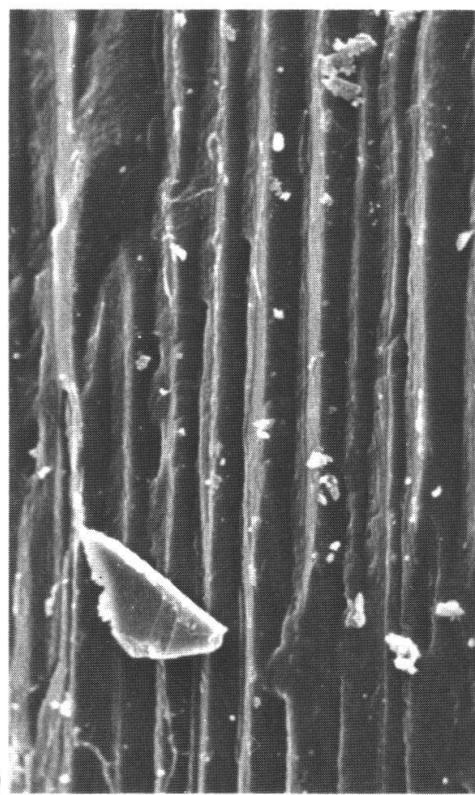
Im unteren Drittel des Bildes sind noch drei Quarzkristalle zu beobachten.

TAFEL 7

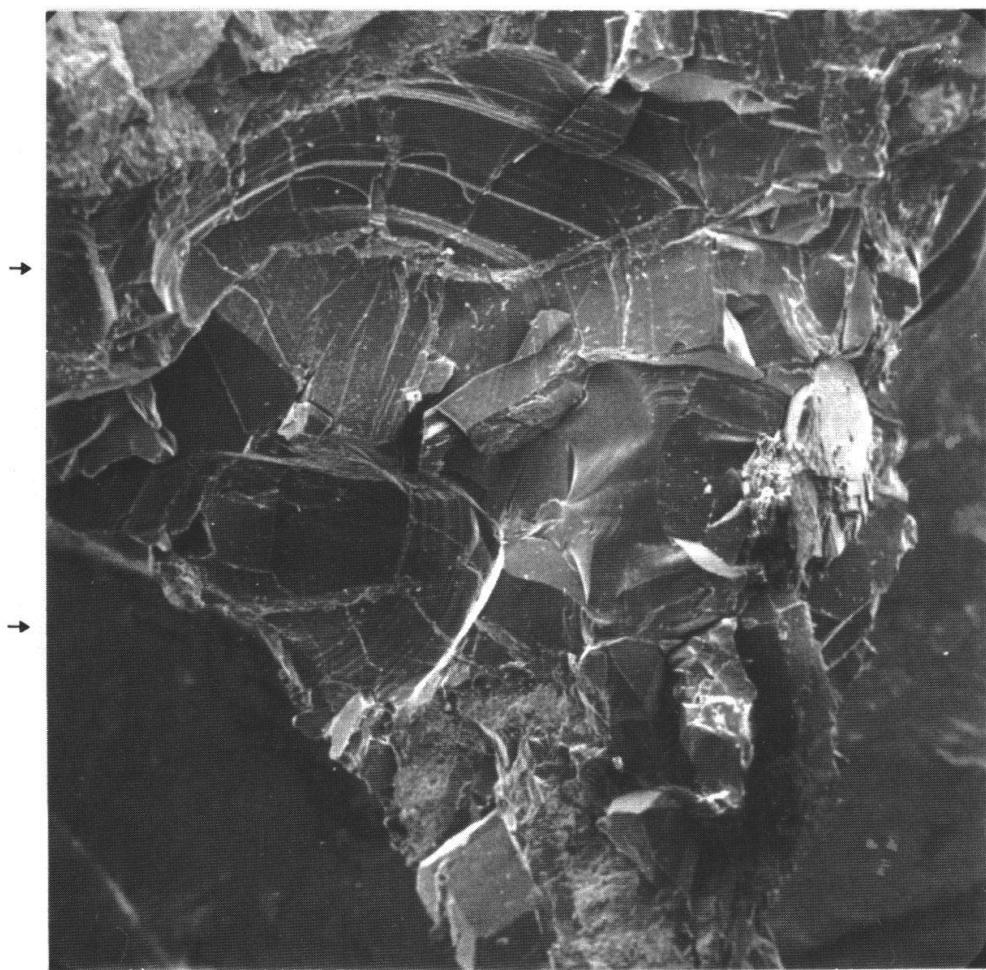


a

↑



b



→

→

c

TAFEL 8

Figur a, 60 ×

Das Spaltensystem ist an diesem Abdruck eines gerundeten Calcitkristalls besonders deutlich zu beobachten. Von einer Hauptspalte, die längs der Basis der Wand in einem Halbkreis verläuft, zweigen 4 sekundäre Spalten ab, die mit der Hauptspalte und den Abdrücken der Zwillingslamellen im Bitumen mehr oder weniger rechte Winkel bilden.

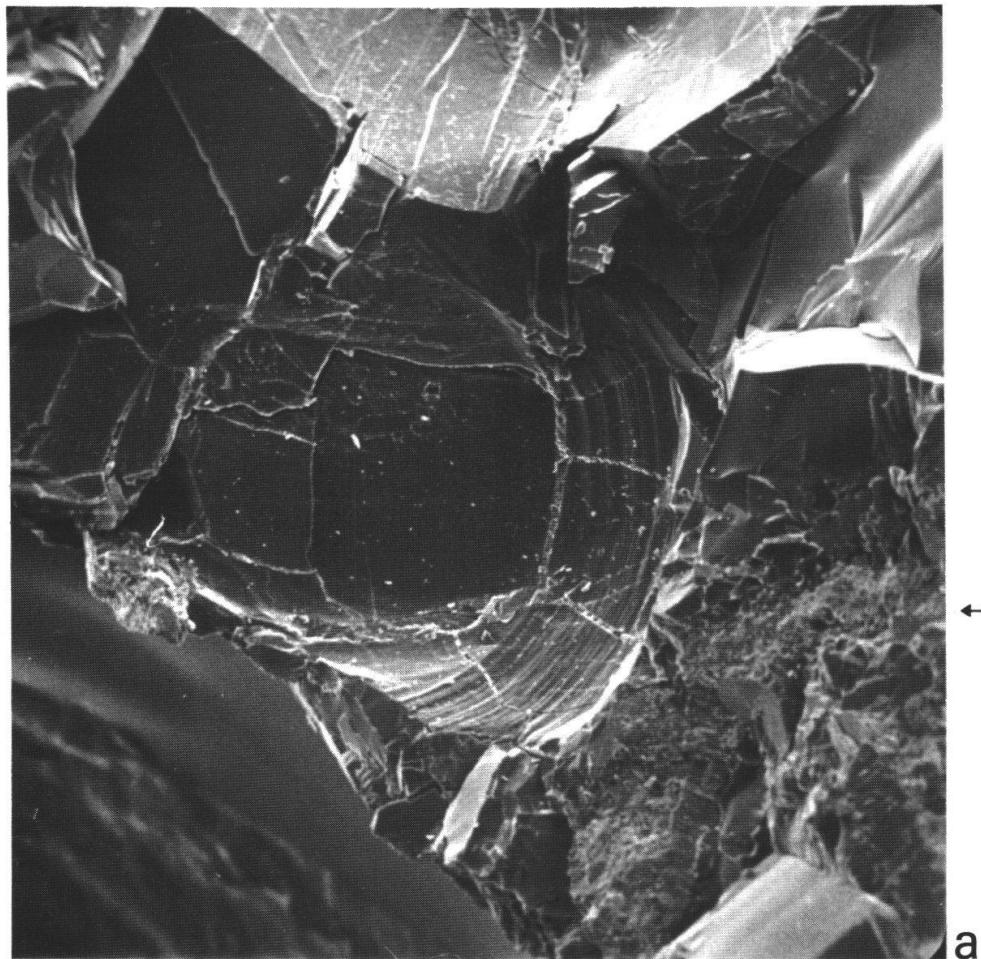
Die eigenartig astförmig verzweigten feinen hellen Linien am Grunde des Abdrucks sind noch nicht zu interpretieren. Die Möglichkeit eines organischen Ursprungs dieser Spuren ist jedoch nicht ganz auszuschliessen, und noch weiter zu prüfen.

Figur b, 600 ×

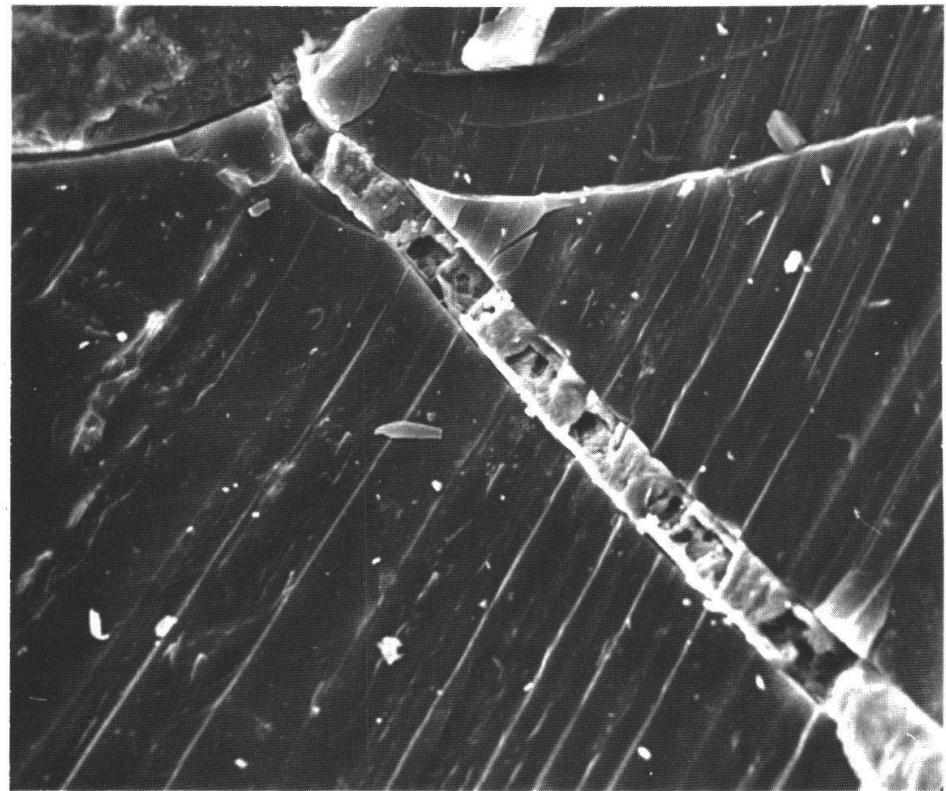
Die Aufnahme zeigt die Details einer der oben erwähnten sekundären Spalten oder Spannungsrisse im Bitumen (auf Taf. 7, Fig. c und Taf. 8, Fig. a, mit Pfeilen gekennzeichnet). Die Untersuchung der Spaltenfüllung mit HCl ergab, dass es sich hier um ein Carbonat handelt. Mit der energiedispersiven Mikrosonde konnte bei allen Versuchen Calcium nachgewiesen werden, ausserdem Eisen in grösseren oder kleineren Mengen. Wir dürfen somit annehmen, dass es sich hier um Calcit handelt und dass, die Spalten direkt mit den Calcitkristallen zusammen gehangen haben. Diese sprengten ihre Umhüllung aus spröde gewordenen Bitumen und es bildeten sich feine Spannungsrisse, die dann ihrerseits mit Calcit teilweise ausgefüllt wurden. In die zahlreichen Hohlräume im Calcit der Spaltenfüllung ist kein Bitumen eingedrungen. Wir dürfen auch hier folgern, dass das Spaltensystem zu einer Zeit entstanden ist, als sich das Bitumen im jetzigen spröden Zustand befand. Es könnte dies gegen das Ende der alpinen Orogenese gewesen sein.

In den Spalten und an der Grenzfläche von Calcit zu Bitumen wurden bei Vergrösserungen von 2000x, sehr deutlich Strukturen wahrgenommen, die Mikroorganismen zugeschrieben werden könnten. Eine eingehende Untersuchung ist erforderlich, um über die Natur und das Alter dieser «Bildungen» etwas aussagen zu können.

TAFEL 8



a



b

Anerkennungen

Die mikropetrographischen Untersuchungen der festen Erdölbitumina wurden von H. JACOB am Bundesamt für Bodenforschung in Hannover ausgeführt. Ich danke Herrn Dr. JACOB bestens für diese Arbeiten. Die raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden durch R. GUGGENHEIM am Laboratorium für Raster-Elektronenmikroskopie, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel, gemacht. Ich danke Herrn GUGGENHEIM für seine Hilfe und die guten Ratschläge bei der Anfertigung der Tafeln. Ebenfalls danke ich Fräulein G. HABERKORN für die Herstellung der Raster-Bilder. Die übrigen photographischen Arbeiten wurden mit viel Geduld von W. SUTER im Museum ausgeführt. W. B. STERN vom Mineralogisch-Petrographischen Institut in Basel untersuchte das Bitumen spektralanalytisch. Wertvolle Diskussionen konnte ich mit J. ARNOTH, von der mineralogischen Abteilung im Museum führen. Allen diesen Mitarbeitern sei hier bestens gedankt.

Literatur

- BARBIER, R. et THIEULOUY, J.-P. (1965): Etage Valanginien. Mém. Bur. Rech. Géol. et Min. 34 (Colloque Crét. inf., Lyon 1963), 79–84.
- BUXTORF, A. (1907) in BAUMBERGER, E. und HEIM, A.: Paläontologisch-stratigraphische Untersuchungen zweier Fossilhorizonte an der Valangien-Hauterivien-Grenze im Churfürsten-Mattstockgebiet. Abh. schweiz. pal. Ges. 34, 2–6.
- (1924): Geologie des Pilatus. Verh. S.N.G., Luzern 2, 31–47.
- (1934): Exkursion Nr. 55, Pilatus. Geol. Führer d. Schweiz 10, 723–741.
- DEBELMAS, J. et THIEULOUY, J.-P. (1965): Etage Hauterivien. Mém. Bur. Rech. Géol. et Min., 85–96.
- ELDRIDGE G. W. (1901): The asphalt and bituminous rock deposits of the United States. U. S. Geol. Surv. 22 (Annual report).
- FUNK, H. (1969): Typusprofile der helvetischen Kieselkalk-Formation und der Altmann-Schichten, Eclogae geol. Helv. 62/1, 191–203.
- GARY, M., MC AFEE, R. and WOLF C. L. (1972): Glossary of Geology. Amer. geol. Inst., Washington, (p. 356), 805 p.
- HANTKE, R. (1966): Gemsmättlischicht (Valanginien-Hauterivien, Helvetikum) Lex. strat. int. 1/7 c, 495–499.
- HONIGMANN, B. (1958): Gleichgewichts- und Wachstumsformen von Kristallen. Fortschritte der physikalischen Chemie 4, Darmstadt, 161 p.
- JACOB, H. (1967): Petrologie von Asphaltiten und asphaltischen Pyrobitumina. Erdöl und Kohle, Hamburg, 20, 6, 393–400.
- KAUFMANN, F. J. (1867): Geologische Beschreibung des Pilatus. Beitr. Geol. Karte Schweiz 5, 116 p., 10 Taf., 1 geol. Karte.
- KING, L. H., GOODSPEED E. F. and MONTGOMERY, D. S. (1963): A Study of sedimented organic Matter and its natural Derivatives. Dep. of Mines and technical surveys, Ottawa, Report 114, 68 p.
- LAVORSON, A. J. (1954): Geology of Petroleum. San Francisco.