Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 59 (1966)
Heft: 2

Artikel: Die Jura/Kreide-Grenzschichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern)
Autor: Häfeli, Charles
Kapitel: 3: Die Cailloux noirs
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163389

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: 20.08.2025

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

Auf Grund dieser Tatsachen scheint es am wahrscheinlichsten, dass die Auffüllung der Hohlräume nach der Erosion der Molasse und vor der Eiszeit erfolgt sein muss. Am ehesten dürfte sie zwischen dem Unter- und Oberpliocaen, während der zweiten Hauptphase der Jurafaltung (H. LINIGER 1953, 289) stattgefunden haben.

Es ist anzunehmen, dass die zahlreichen, verschieden gerichteten Rutschharnische in den Taschen während dieser pliocaenen Faltungsphase entstanden sind. Da die Hohlräume im Gesteinsverband ausgesprochene Schwächezonen darstellen, konnte es schon vor der Auffüllung der Taschen zu Einstürzen kommen, wie dies die teilweise am Taschenrand liegenden, verfestigten Blockmassen (Tabelle 3) zeigen.

3. DIE CAILLOUX NOIRS

3.1 Bisherige Deutungsversuche

Am besten bekannt sind die Cailloux noirs aus dem «Purbeckien»; zahlreiche Schichten sind von ihnen derart dicht durchsetzt, dass sie an der Grautönung des Gesteins mitbestimmend sind.

Schon seit L. von BUCH (1818, 127) wurden jedoch vereinzelte Cailloux noirs-Horizonte auch in anderen stratigraphischen Niveaus beobachtet. Diese wenigen Vorkommen gerieten meist in Vergessenheit. Bezeichnenderweise wurde daher bei allen genetischen Deutungen der Cailloux noirs nur vom «Purbeckien» ausgegangen. A. CAROZZI (1948, 98) gab über die älteren Hypothesen einen ziemlich vollständigen historischen Überblick. Sie seien daher nur stichwortartig in einer Tabelle wiederholt:

Tab. 4. Deutungsversuche zur Herkunft der Cailloux noirs (1818–1927)

L. von BUCH (1818, 127):	Bruchstücke aus alpinem Malmkalk.
P. CHOFFAT (1876, 564):	Syngenetisch mit dem Purbeckien.
V. GILLIÉRON (1883, 1):	Aus dem Tithonien der Berra-Kette.
G. MAILLARD (1884, 70):	Von den Vogesen hertransportierte Relikte aus dem Dogger oder Lias.
A. GIRARDOT (1885, 747):	In Sümpfen syngenetisch mit dem Purbeckien durch Agglomeration oder molekulare Anziehung.
J. FAVRE und E. JOUKOWSKY (1913, 318):	Durch Erosion aus dem unmittelbar Liegenden, Herkunft rein lokal.
J. FAVRE und A. RICHARD (1927, 16):	Irgendwoher aus den darunterliegenden Kalkbänken. Herkunft nicht genau deutbar, da sich diese durch Oxydation verfärbt haben; während die Cailloux noirs durch umgebenden Zement davor geschützt waren. Jede Ablagerung der Cailloux noirs gibt eine Oszillation wieder, die nicht unbedingt zu einer Emersion führen musste.

Sehr ausführlich hat sich A. CAROZZI 1948 in seiner Dissertation mit den Cailloux noirs befasst. Nach umfangreichen Feldbeobachtungen im schweizerischen Purbeckien und zahlreichen Dünnschliffuntersuchungen kommt er zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Cailloux noirs stammen nie aus dem Liegenden, sondern aus zeitgleichen Schichten mit sapropelartiger Fazies.
2. Die Cailloux noirs entstanden durch Aufarbeitung sapropelartiger, lakustrer Ablagerungen. Sie sind somit von lokaler, genau abgegrenzter Herkunft.
3. Die Muttergesteine der Cailloux noirs existieren: es sind kompakte sapropelartige, pseudo-oolitische bis oolithische Kalke. Durch Oberflächenoxydation wurden sie heller als die Cailloux noirs, in den andern Merkmalen stimmen sie jedoch vollständig überein. Das seltene Auftreten der Muttergesteine hat zwei Gründe: Sie wurden fast immer aufgearbeitet und als bunte Brekzien (brèches multicolores) abgelagert, daneben wurde das Purbeckien auf den Antiklinalen so stark wegerodiert, dass es nur noch an wenigen Stellen sichtbar ist.
4. Die diversen Arten der Cailloux noirs unterscheiden sich nicht nur durch ihre Farbe, sondern auch durch ihre Zusammensetzung. Die verschiedenartige Färbung ist durch Strukturunterschiede und organische Substanz, jedoch nicht durch Pyrit bedingt.
5. Im Aufschluss sind die Cailloux noirs häufig schlecht sichtbar, da sie durch die Oberflächenoxydation entfärbt oder stellenweise von einer porösen weissgrauen Schicht bedeckt werden. Obwohl die Oxydation immer durch eine starke Anreicherung von Eisenoxyden in Form von Tupfen oder Flecken begleitet ist, sind die Cailloux noirs unter dem Mikroskop immer erkennbar. Wie schon FAVRE und JOUKOWSKY bemerkten, scheint das Bindemittel der Brekzien die Cailloux noirs vor der Oxydation zu schützen, da das Muttergestein nie die intensive Schwarzfärbung der letzteren aufweist.
6. Der Sedimenttypus des Bindemittels (das die Cailloux noirs umgibt) und der Cailloux noirs ist verschieden; daher bestehen hinsichtlich ihrer Farbe auch keine Beziehungen zueinander. Sollte in einigen Fällen das durch Pyrit blau gefärbte Bindemittel entfärbt worden sein, so geschah dies unabhängig von der Oxydation der Cailloux noirs.

Innerhalb der Cailloux noirs, die entweder als Hauptbestandteil der bunten Brekzien, oder aber isoliert in den verschiedenen Ablagerungen des Purbeckien vorkommen, unterscheidet CAROZZI zwei verschiedene Typen:

«Premier type (fréquent), – les Cailloux noirs ont des contours anguleux variables déterminés par la nature des débris organiques autour desquels la pâte sapropélienne s'est fragmentée. L'origine de ce type est à rechercher dans le remaniement des calcaires sapropélien compacts.

Deuxième type (rare). – Les Cailloux noirs ont des contours arrondis ou subarrondis, ils se sont formés par un commencement de cristallisation accompagné d'une concentration de la matière organique. L'origine de ce type est à rechercher dans le remaniement des calcaires sapropéliens grumuleux, oolithiques et pseudo-oolithiques.»

Weiter unterscheidet CAROZZI zwischen den bunten Brekzien (brèches multicolores) und den Cailloux-noirs-Schichten (couches à Cailloux noirs). Von seiner eingehenden Beschreibung sei hier das Wichtigste in einigen Sätzen formuliert:

Es gibt nicht zwei Brektien, die einander ähnlich sind. Man findet alle Übergänge zwischen einer typischen Brekzie und einem Mikropoudingue. Die häufig auftretenden Übergangsformen werden Poudingue-Brekzie genannt. Meist ist, wie bei den Cailloux noirs-Schichten, ein graded-bedding festzustellen. Bunte Brekzien wurden in lakustrem, brackischem und marinem Milieu abgelagert. Die Brekzien bestehen aus schwarzem sapropelischem Kalk, sowie aus sämtlichen grauen bis gelben Sedimenten des Purbeckien. Die dunkeln Komponenten der Cailloux noirs-Schichten und der Brekzien sind einander ähnlich; ihre Form ist je nach der Genese eckig oder gerundet. Im allgemeinen gilt die Regel, je kleiner um so eckiger. Diese Erscheinung wird durch Flotation während des Transportes erklärt. – In jeder Schicht des Purbeckien können allochthone Cailloux noirs vorkommen. Ihr Auftreten stellt eine abgeschwächte Fazies der bunten Brekzien dar, und oft gehen den letzteren Cailloux noirs-Schüttungen voran oder folgen ihr. Die bunten Brekzien treten immer bei wechselnder Salinität auf, seltener bei Faziesänderungen innerhalb mariner oder laku-

strer Milieus. Die Cailloux noirs-Schichten kommen dagegen nur bei kleineren Oszillationen vor. Als Herkunftsort der Cailloux noirs nimmt er Inseln an, welche die ganze Purbeckien-Zeit überdauert haben. An ihrer Oberfläche dienten lakustre sapropelische Ablagerungen als Materiallieferanten der Cailloux noirs. Dank Oszillationen vermochte das Meer in die Süsswasserseen einzudringen; durch Gezeiten, Wellen und Strömungen wurden sapropelische Sedimente aufgearbeitet, fortgespült und als bunte Brekzien oder als isolierte Cailloux noirs ohne Milieuunterschied abgelagert.

A. Carozzi (1951, 205) beschreibt in einer kurzen Mitteilung einige bunte Brekzien aus dem Grand-Salève. Er beobachtet Komponenten bis zu 30 cm Durchmesser. Als Transportmittel nimmt er turbidity currents von hoher Dichte an.

In einer umfassenden Arbeit über die Jura/Kreide-Grenze in Frankreich widmet P. Donze (1958, 206) den Cailloux noirs einen kurzen Abschnitt. Seine wichtigsten Aussagen seien wie folgt festgehalten:

Zeitweilig bestehen zwischen den Cailloux noirs und den umgebenden Kalken keine scharfen Grenzen, sondern ein mehr oder weniger diffuser Übergang; in diesem Fall haben sich die «schwarzen Flecken» durch angereicherte organische Substanz an Ort und Stelle gebildet. Im allgemeinen jedoch sind die Cailloux noirs exogener Herkunft, die meist in brackischem Milieu auftreten. Ihre dunkle Farbe wurde durch Kohlenwasserstoffe verursacht, die wahrscheinlich von der Zersetzung organischer Substanz herrühren. Wie Carozzi, beobachtet auch Donze das graded-bedding in den Cailloux noirs-Horizonten. Auch er nimmt eine Aufarbeitung von noch nicht verfestigten sapropelischen Sedimenten an, die durch das Meer wegtransportiert und erneut abgelagert wurden. Die Gegenwart der Cailloux noirs in einer Ablagerung gibt nur Auskunft über die Anwesenheit einer nahen Emersion, sagt jedoch nicht über eine lakustrische oder brackische Herkunft des Sedimentes aus.

3.2 Stratigraphische, geographische und biofazielle Übersicht der Cailloux noirs-Vorkommen

Tab. 5. Übersicht zum Vorkommen der Cailloux noirs

Stratigr. Lage	Literaturangabe	Lokalität	Biofazies			
			f.m.	b.-lm	r.-lm	unb.
Helvétien	F. Stumm (1963, mündl. Mitt.)	Anwil (Basler Jura)			●	
	– (1963, mündl. Mitt.)	Wölflinswil (Jura)			●	
Eocaen ?	O. Renz (1936, 550)	Alfermée			● ?	
Übergang «Purbeckien»-Valanginien	G. Maillard (1884), A. Carozzi (1948), P. Donze (1958) etc.	französischer und schweizerischer Jura, Alpes Maritimes	●	●	●	
	eigene Beobachtungen	Bielersee		●	●	
«Purbeckien»	G. Maillard (1884) J. Favre u. A. Richard (1927, 6) A. Carozzi (1948), P. Donze (1958) etc.	französischer und schweizerischer Jura, Bresse, Alpes Maritimes	●	●	●	
	eigene Beobachtungen	Bielersee		●	●	

Tab. 5 (Fortsetzung)

Stratigr. Lage	Literaturangabe	Lokalität	Biofazies			
			f.m.	b.-lm	r. lm	unb.
«Portlandien»	L. von Buch (1818, 127)	Gorge du Seyon				●
	L. Rollier (1898, 62)	Bellelay–Genevez		●		
	J. Favre-A. Richard (1927, 6)	Pierre-Châtel	●			
	W. Rothpletz (1933, 30)	Cerneux				●
	D. Aubert (1943, 22)	Mt. Tendre				●
	E. Lüthi (1954, 16)	Chasseral				●
	–	Cortébert				●
	A. Baer (1956, 75)	Chaumont				●
	–	La Tourne				●
	–	Montagne de Boudry				●
	–	Les Brenets				●
	–	Morteau				●
	P. Donze (1958, 170)	Causse Méjean		●		
	– (1958, 172)	Causse de Sauveterre		●		
	– (1958, 175)	La Sévanne		●?		
	S.u.A. Guillaume, M. Mattauer (1959, 76)	Morez-Champagnole		●		
	eigene Beobachtungen	Twannbach				●?
	–	Taubenlochschlucht	●?			
	–	Taubenlochbrücke				
	–	Lengnau		●		
«Kimmeridgien»	P. Choffat (1875, 766)	St. Claude-Montépile				
	M. Mattauer u. M. Rollet (1959, 21)	–	●			
	L. Rollier (1888, 27)	Court				●
	–	Moutier				●
	K. Ryniker (1923, 5)	Magglingen				●
	–	Le Montoz				●
	–	La Neuveville				●
	Ch. Mühlethaler (1931, 181)	Les Verrières	●?			
	D. Aubert (1943, 28)	Mt. Tendre				●
	P. Celet (1955, 79)	Jvrey				●
	A. Baer (1956, 76)	Chaumont	●?			
	M. Mattauer (1958, 48)	Mouthier-Pontarlier			●	
	–	Déservillers		●		
	– (nach Théobald)	Pagnoz				●
	M. Mattauer u. M. Rollet (1959, 21)	Gilley	●			
	eigene Beobachtungen	Reuchenette	●?			
	–	Nidauwald		●		
unteres «Sequanien»	V. Pümpin (mündl. Mitt.)	Sous les Erauts (südl. St. Ursanne)		●		
	–	Plan du Noyer (südl. St. Ursanne)		●		

Legende zur Biofazies: f.m.: flachmarin, b.-lm.: brackisch-limnisch, r.lm.: rein limnisch, unb.: unbekannt, ?: Ablagerungsmilieu fraglich.

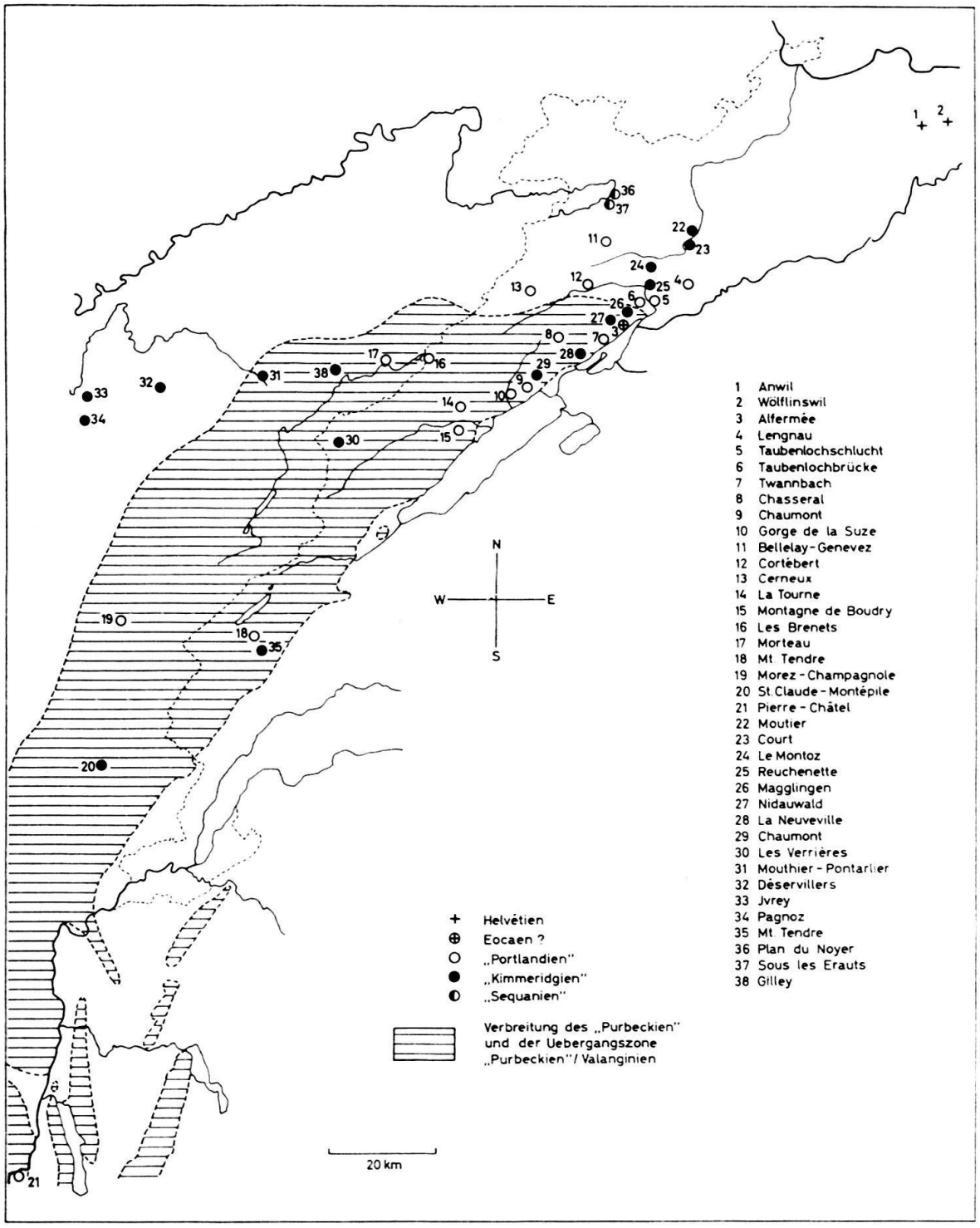


Fig. 19. Die Verbreitung der Cailloux noirs im Juragebirge.

3.2.1 Die stratigraphische Lage

Aus der vorangehenden Tabelle ist ersichtlich, dass sich die Cailloux noirs nicht nur auf das «Purbeckien» und die Übergangszone «Purbeckien»/Valanginien beschränken, wie häufig angenommen wird, sondern auch im «Portlandien» und «Kimmeridgien» zahlreich auftreten. Vereinzelte Horizonte wurden im unteren «Sequa-

nien» und im Tertiär festgestellt. Demnach ist ihr Vorkommen nicht stratigraphisch, sondern faziell bedingt: Sie erscheinen bei gewissen, immer wiederkehrenden Sedimentationsbedingungen. Sofern diese erfüllt sind, können die Cailloux noirs auch in anderer, bisher nicht beobachteter stratigraphischer Lage auftreten.

3.2.2 Die geographische Verbreitung

Die geographische Verbreitung der Cailloux noirs-Vorkommen im Jura ist aus der Übersichtskarte ersichtlich. Durch das faziell bedingte Auftreten ist sie insbesondere für den oberen Malm von paläogeographischer Bedeutung. Dieser ist zu wiederholten Malen weitflächig limnisch bis brackisch. Die rein limnischen Einschaltungen im Kimmeridgien bei Chambéry (P. Donze 1951, 296), sowie am Mt. Risoux (D. Aubert 1943, 22) und im unteren «Sequanien» bei Les Combottes, NNE Pontarlier (H. Oertli und M. Ziegler 1958, 385) bestätigen den lokal nichtmarinen Charakter. Leider konnten die Cailloux noirs-Horizonte im Malm stratigraphisch nicht feiner eingestuft werden, da die Angaben dazu häufig fehlen oder zu ungenau sind. Der Verlauf von Emersionsphasen lässt sich daher nicht genau verfolgen. – P. Donze (1958, 170) konnte ausserhalb des Juras, zwischen dem südlichen Ausläufer des Massif Central und der Montagne Noir an verschiedenen Stellen im «Portlandien» limnisch bis brackische, Cailloux noirs führende Sedimente beobachten.

Im gesamten, in der Figur 19 schraffierten Gebiet des «Purbeckien» und der Übergangszone «Purbeckien»/Valanginien konnten Cailloux noirs festgestellt werden. Sie treten jedoch noch weiter westlich bis in die Gegend von Bresse und südlich bis zur Südwestgrenze des lagunären «Purbeckien» auf (P. Donze 1958, Pl. 2). Diese verläuft auf der Linie St. Marcellin-Voiron-Chambéry-Annecy und fällt bei Chambéry mit der jurassisch/subalpinen Grenze zusammen (P. Donze 1958, Pl. 4). Südlich der «fosse vocontienne» in den Alpes-Maritimes setzen in der Gegend von Marseille-Toulon-Menton die Cailloux noirs gleichzeitig mit den nichtmarinen Sedimenten des Jura/Kreide-Überganges wieder ein.

Die Cailloux noirs sind demnach nicht nur auf das Juragebirge beschränkt, sondern treten auch südlich und westlich der tiefmarinen «fosses vocontienne» auf. Ihre grösste Ausdehnung mit etwa 500 km Süd-Nord-Erstreckung erreichen sie im «Portlandien» und «Purbeckien».

2.3 Die Biofazies

In der Rubrik «Biofazies» der Tabelle 5 ist das Ablagerungsmilieu der die Cailloux noirs umschliessenden Sedimente eingetragen. Im fast durchwegs kalkigen und recht fossilarmen «Portlandien» und «Kimmeridgien» ist leider das Ablagerungsmilieu häufig unbekannt. An wenigen Lokalitäten treten mehrere Cailloux noirs-Horizonte übereinander auf. Ausser im «Purbeckien» und untersten Valanginien, wo die verschiedenen Horizonte in der Tabelle nicht berücksichtigt sind, ist dies der Fall in Pierre-Châtel, Chaumont, Morez-Champagnole, Mouthier-Pontarlier, Lengnau. An diesen Stellen wurden nur die Horizonte mit bekannter Biofazies angegeben. – Ausgesprochen neritisches oder gar tiefmarines Milieu wurde nirgends festgestellt. Die zahllosen Cailloux noirs-Horizonte im Berriasien sind meist limnisch bis

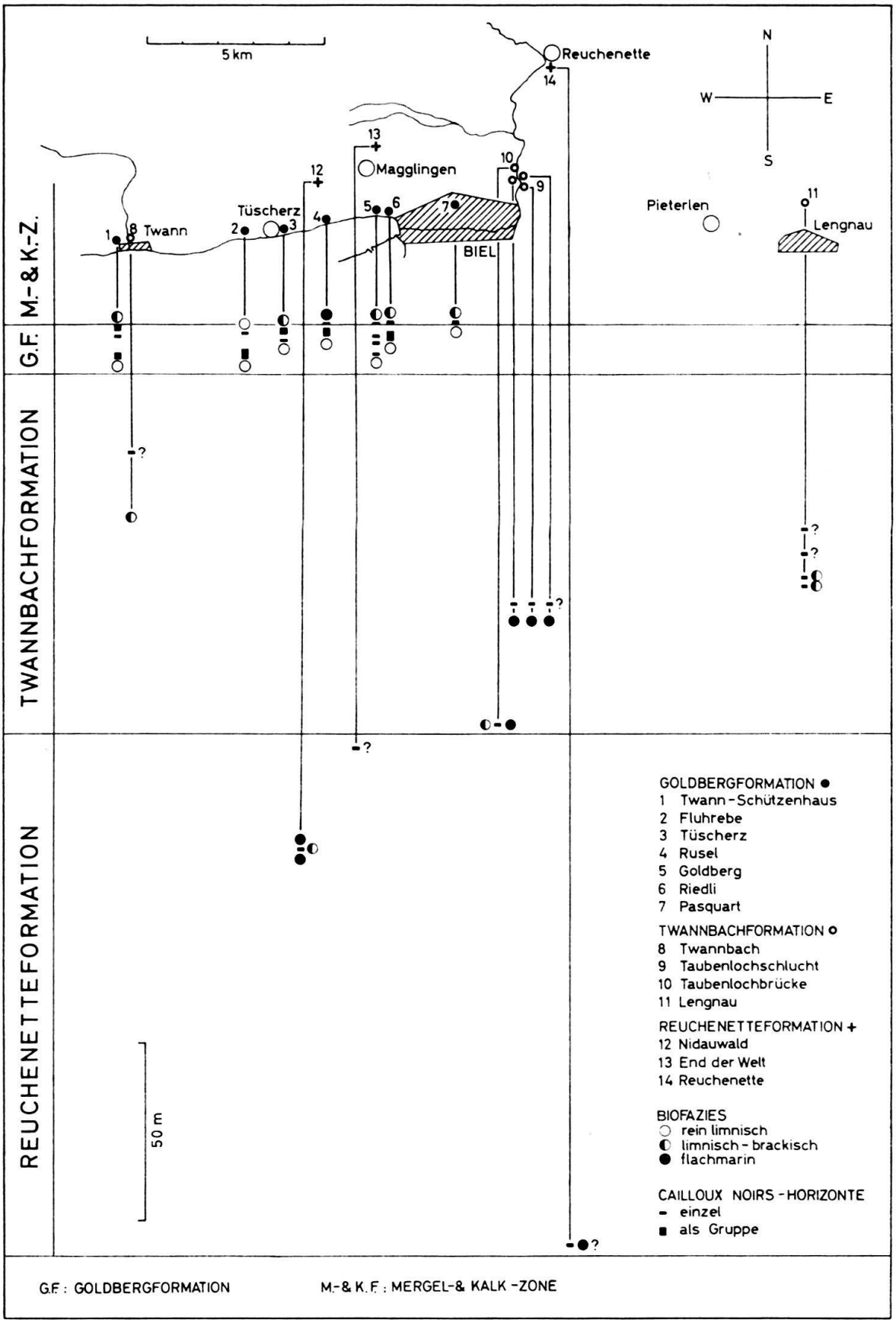


Fig. 20. Situation der Cailloux noirs-Horizonte zwischen Lengnau und Twann.

brackisch und in wenigen Fällen flachmarin. Vergleicht man das Ablagerungsmilieu der übrigen 41 bekannten Vorkommen, so bleibt es bei ca. der Hälfte unbekannt, 15 (davon 2 fragliche) sind rein limnisch bis limnisch-brackisch, 8 (davon 4 fragliche) sind flachmarin. Die Cailloux noirs scheinen somit, ungeachtet ihrer stratigraphischen Lage, vor allem im nichtmarinen Milieu aufzutreten.

Auf Grund dieser Feststellungen darf den Cailloux noirs ein biofazieller Leitwert zugeschrieben werden. Ihr Auftreten gibt für das umgebende Sediment ein limnisch bis brackisches, ausnahmsweise auch ein flachmarines Ablagerungsmilieu an.

3.3 Die Cailloux noirs-Horizonte zwischen Lengnau und Twann

Die topographische und stratigraphische Lage, sowie die Biofazies der Cailloux noirs-Horizonte ist aus Figur 20 ersichtlich. Bei allen fossilarmen Vorkommen wurde ein Fragezeichen gesetzt und nach Möglichkeit die nächstbenachbarte, bekannte Biofazies eingetragen.

Es sei hier nur auf die im stratigraphischen Teil (Abschnitt 4.2.2) nicht beschriebenen Schichten näher eingegangen:

Taubenlochschlucht (Fig. 20, Nr. 9)

Dieser Horizont ist an drei verschiedenen Stellen aufgeschlossen, die ihrer Lage nach 9 NE, 9 SE und 9 W genannt werden.

9 NE (bester Aufschluss)

Situation: Koordinatenpunkt 586.840/223.210, LK-Blatt 1126

Stratigraphische Lage: Twannbachformation, ca. 35 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Unbekannt, einige Milioliden, 5 m tiefer befindet sich eine Nerineenbank; das Milieu könnte daher vielleicht flachmarin sein.

Makrolithologie: Die Schichtmächtigkeit beträgt 0,2–0,3 m. Die Cailloux noirs sind eckig bis leicht gerundet, braun bis schwarz und besitzen einen Durchmesser zwischen 0,1–3 cm. Sie treten regellos mit andern hellen, eckigen Kalkkomponenten von bis 4 cm Grösse auf. Die Matrix, ein dichter Kalk von beiger Farbe, beträgt 40–60 %.

9 SE

Situation: Koordinatenpunkt 586.900/222.820, LK-Blatt 1126.

Makrolithologie: Wie 9 NE, nur dass die Cailloux noirs und die hellen Fremdkomponenten vereinzelt auftreten und ihr Durchmesser 2 cm nicht überschreitet; Matrix > 80 %.

9 W

Situation: Koordinatenpunkt 586.650/222.900, LK-Blatt 1126.

Makrolithologie: wie 9 SE

Taubenlochbrücke (Fig. 20, Nr. 10)

Situation: Koordinatenpunkt 586.480/223.400, LK-Blatt 1126.

Stratigraphische Lage: Twannbachformation, 2,5 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Flachmarin–limnisch; Characeen, Milioliden, Planorben, Nerineen, Korallen, zahlreiche Schalentrümmer von Mollusken.

Makrolithologie: Die Mächtigkeit der Schicht beträgt 0,1–0,2 m. Die Cailloux noirs sind eckig bis leicht gerundet, grau bis schwarz, von ca. 0,1–2 cm Durchmesser und in den obersten 5 cm angereichert. Mit vereinzelten, meist dunkelgelben, eckigen Kalkbruchstücken von 0,5–3 cm Länge und den zahlreichen Fossiltrümmern bilden sie ein ungeordnetes Gefüge. Die Matrix beträgt 40 % (oben) bis 90 % (unten) und besteht aus einem dichten, gelben, gegen oben hin graugetönten Kalk.

Lengnau (Fig. 20, Nr. 11)

Situation: Steinbruch ob Lengnau (Lengnauwald), Koordinatenpunkt 594.000/226.720, LK-Blatt 1126.

Wie aus Fig. 20 ersichtlich ist, liegen in der Twannbachformation vier Cailloux noirs-Horizonte übereinander; sie werden von unten nach oben 11a, 11b, 11c, 11d bezeichnet.

11a

Stratigraphische Lage: ca. 40 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Limnisch bis brackisch; Characeen.

Makrolithologie: Die Schichtmächtigkeit beträgt 0,3 m. Die Cailloux noirs sind meist schlecht gerundet, selten ausgesprochen eckig, von grauschwarzer bis schwarzer Farbe. Sie erreichen einen Durchmesser bis zu 6 cm und kommen teilweise in Anhäufungen vor. Mit ihnen treten hellbeige Kalkbruchstücke von bis zu 15 cm Länge auf. Das ganze Gefüge ist völlig ungeordnet. Das Bindemittel, ein dichter, beigegelb grobgefleckter Kalk mit teilweise dünnen, mergeligen Einschaltungen, besitzt einen Anteil von 30–80 %.

11b

Stratigraphische Lage: Ca. 43 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Limnisch bis brackisch; der unmittelbar darunter liegende Mergelhorizont lieferte einige Characeen.

Makrolithologie: Die Cailloux noirs führende Lage ist 0,05–0,1 m mächtig und kommt an der Basis einer 0,4 m starken, gelben Kalkbank vor. Sie enthält kleine, eckige, schwarze Splitter bis zu 0,5 cm Länge, die ungeordnet verteilt einen Anteil von 10 % des Gesteins betragen.

11c

Stratigraphische Lage: Ca. 50 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Unbekannt.

Makrolithologie: Die Cailloux noirs treten an der Basis einer 75 cm mächtigen Kalkbank auf. Sie sind meist eckig, grau bis schwarz und erreichen einen Durchmesser von 2 cm. Mit andern eckigen, hellbeigen Kalkbruchstücken von derselben Grösse bilden sie ein ungeordnetes Gefüge. Der Anteil der Matrix, ein beiger dichter Kalk, beträgt > 75 %.

11d

Stratigraphische Lage: Ca. 57 m über der Grenznerineenbank.

Biofazies: Unbekannt.

Makrolithologie: Eine 0,05–0,1 m mächtige Schicht führt kleine, meist leicht gerundete, grauschwarze bis schwarze Cailloux noirs von maximal 0,5 cm Durchmesser. Gleich wie in den darunterliegenden Horizonten treten sie völlig ungeregelt auf. Das Bindemittel, ein graubeiger Kalk, beträgt mehr als 70 %.

Nidauwald (Fig. 20, Nr. 12)

Situation: Koordinatenpunkt 581.850/219.980, LK-Blatt 1125.

Stratigraphische Lage: Reuchenetteformation, ca. 32 m unterhalb der Grenznerineenbank.

Biofazies: Limnisch bis brackisch; einige wenige Characeen und Planorben, viele unbestimmbare Schalentrümmer von Mollusken. Ca. 2 m über- und unterhalb des Cailloux noirs-Horizontes treten Nerineenbänke auf.

Makrolithologie: Die Mächtigkeit der Schicht beträgt 0,2–0,5 m. Die Cailloux noirs sind eckig bis ziemlich gut gerundet, von graubrauner bis schwarzer Farbe. Meistens liegt ihre Grösse zwischen 0,2 und 5 cm, erreicht jedoch teilweise einen Durchmesser bis zu 15 cm. Sie sind regellos mit andern kalkigen, schlecht gerundeten Kalkbruchstücken von verschiedener Farbe in einem mergeligen, grauoliven Kalk eingebettet. Der Anteil des Bindemittels beträgt 40-80 %.

End der Welt (Fig. 20, Nr. 13)

K. Ryniker (1923, 5) beschreibt ein Vorkommen, das 500 m nördlich von End der Welt ob Magglingen (LK-Blatt 1125) in der obersten Reuchenetteformation liegen muss. Da es nicht mehr aufgefunden werden konnte, seien hier die Beobach-

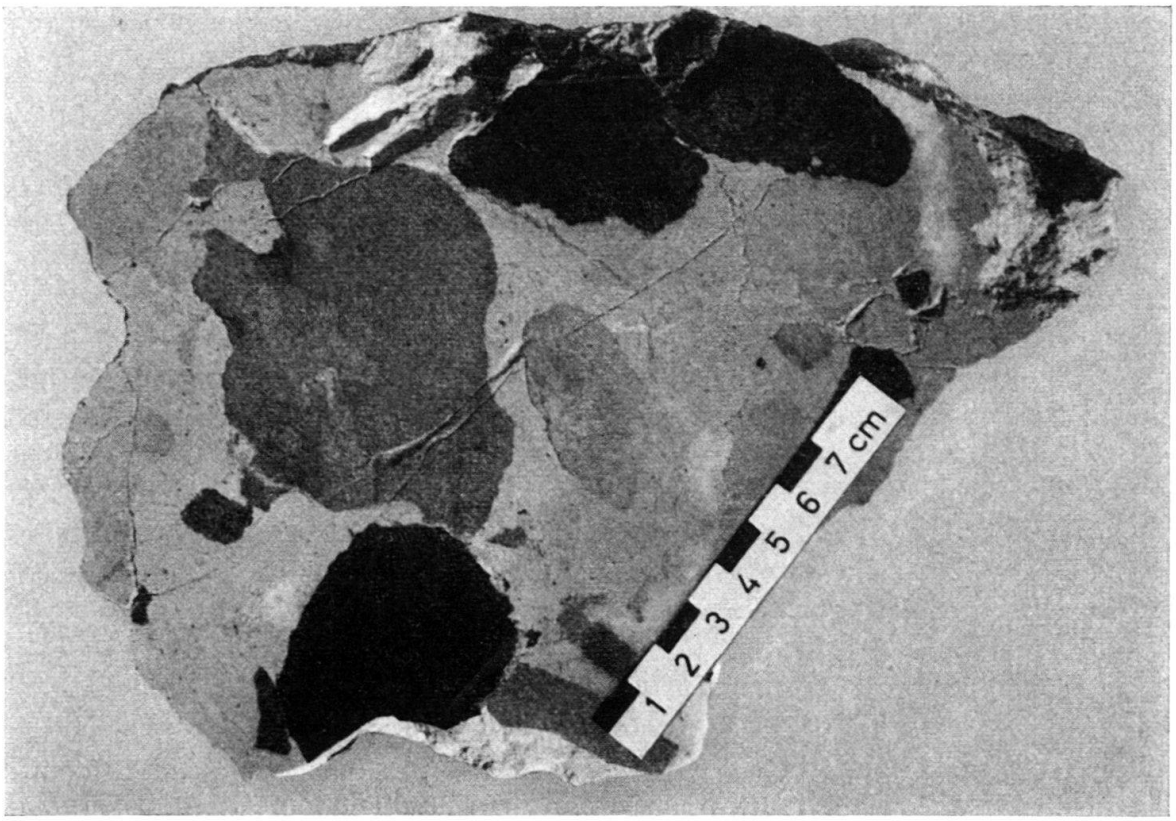


Fig. 21. Tiefschwarze bis graubeige, arenitische Cailloux noirs aus der untersten Reuchenetteformation (Reuchenette, Nr. 14). (Anschliff).

tungen von K. Ryniker wiedergegeben: «Von Pré Perret, nordöstlich der Hohmatt führt ein Fussweg nordwärts nach La Vauchée und Charjus ins Tal von Orvin hinunter. An ihm findet sich bei der Höhenquote 900 m eine analoge Kalkbank (wie die Cailloux noirs führende von L. Rollier am Montoz). In einer grauen, oolithischen Grundmasse liegen eingebettet dunkle und helle Kalkgerölle und Trümmer, von einem halben Millimeter bis 3 cm Durchmesser. Blauschwarze und dunkelgraue überwiegen, vereinzelte sind hellere, gelblichgraue Stücke. Alle sind mehr oder weniger gerollt, vor allem die grossen sind gut abgerundet.»

Reuchenette (Fig. 20, Nr. 14)

Situation: Koordinatenpunkt 585.850/226.250, LK-Blatt 1126.

Stratigraphische Lage: Reuchenetteformation, 3 m über dem Verenaoolith.

Biofazies: Nicht genau bekannt, – einige gerollte Foraminiferen (vor allem Milioliden) als einzige Fossilien lassen keinen Schluss zu. Mit Vorbehalt könnte ein flachmarines Milieu, wie dasjenige des Verenaoolithes (P. Ziehler 1965, 65) angenommen werden.

Makrolithologie: Eine Schicht von ca. 1 m Stärke führt eckige und verschieden gut gerundete Cailloux noirs von 0,1–35 cm Durchmesser mit teilweise eingebuchteter Oberfläche. Ihre Farbe schwankt zwischen beige, ähnlich dem umgebenden Kalk, und tiefschwarz (Fig. 21). Häufig wechselt sie bei einzelnen Cailloux noirs, von der einen Seite zur gegenüberliegenden fliessend, von braunschwarz zu beige; dabei wird ein Übergang zur Matrix vorgetäuscht. Eine scharfe Abgrenzung ist jedoch immer, meist in Form von Suturen, vorhanden. Die Cailloux noirs sind unregelmässig verteilt und kommen oft in Anhäufungen vor, wobei dann der Anteil des Bindemittels bis auf 30 % sinkt.

Alfermée

Dieses Vorkommen wurde wegen seiner ausserordentlichen stratigraphischen und tektonischen Lage (O. Renz 1936, 550) in Figur 20 nicht angeführt.

Situation: Franzosenweg ob Alfermée, Koordinatenpunkt 582.100/218.990, LK-Blatt 1125.

Stratigraphische Lage: Eocaen? (O. Renz 1936, 551 und 565).

Biofazies: Limnisch? (O. Renz 1936, 551).

Makrolithologie: Eine Schichtmächtigkeit kann nicht angegeben werden, da nur isolierte Brocken bis zu 1 m Grösse gefunden wurden. Die Cailloux noirs sind eckig bis ziemlich gut gerundet, grau bis schwarz. Ihr Durchmesser erreicht maximal 3 cm. Mit andern eckigen bis gut gerundeten Komponenten bis 8 cm Grösse und meist hellbeiger bis rotbrauner Farbe, bilden sie ein ungeordnetes Gefüge. Die Matrix, ein dichter beiger, rosa angewitterter Kalk mit vereinzelten roten Flecken, beträgt über 70 %.

3.4 Sedimentologische und sedimentpetrographische Untersuchungen

3.4.1 Die «Brèches multicolores»

Zu den Cailloux noirs treten öfters weitere Fremdkomponenten im Sediment auf: Eckige, mehr oder weniger gut gerundete, meist helle Kalkstücke von 0,1–15 cm Durchmesser. Der Anteil der Matrix in diesen «Brekzien» schwankt zwischen 30 und 80 %.

Derartige Gesteine wurden bis dahin (siehe Abschnitt 3.1) brèches à Cailloux multicolores oder brèches multicolores genannt, obwohl, wie A. Carozzi (1948, 10) treffend feststellte, alle Übergänge zwischen einer Brekzie und einem Mikrokonglomerat vorhanden sind. Da die Komponenten jedoch meistens eine eckige oder schlecht gerundete Gestalt haben, übernehmen wir die althergebrachte Bezeichnung.

In unserem Gebiet konnten neun Fundstellen mit «Brèches multicolores» beobachtet werden: Fünf (9, 10, 11a, 11c, Tb 9) in der Twannbachformation, Horizont 12 und 13 in der Reuchenetteformation (Fig. 20). Fl 45 (Profil Fl, Abschnitt 4.2.1) aus der Goldbergformation und in Alfermée die Brocken des fraglichen Süsswasserkalkes aus dem Eocaen.

Das Muttergestein der hellen Bestandteile war trotz zahlreichen Dünnschliffuntersuchungen nicht zu ermitteln. Wir vermuten daher, dass es entweder restlos als schon verfestigtes Sediment aufgearbeitet und in Bruchstücke aufgelöst wurde, oder aber aus dem Liegenden stammt, das jedoch durch den raschen horizontalen Wechsel der Lithofazies, zufällig nicht aufgefunden werden konnte.

Unsere Vermutungen wurden durch die folgenden Beobachtungen bekräftigt:

1. Die «Brèche multicolore» Fl45 (Goldbergformation) führt leicht gerundete, bräunliche Komponenten, die ihrerseits schon zahlreiche Cailloux noirs enthalten.
2. Bei Tb 9 (Twannbachformation), der schönsten Brekzie in unserem Gebiet, weisen die ausgesprochen eckigen Bruchstücke häufig sehr deutliche gebogene Laminationen auf, die unabhängig zu den Kantenrichtungen verlaufen.

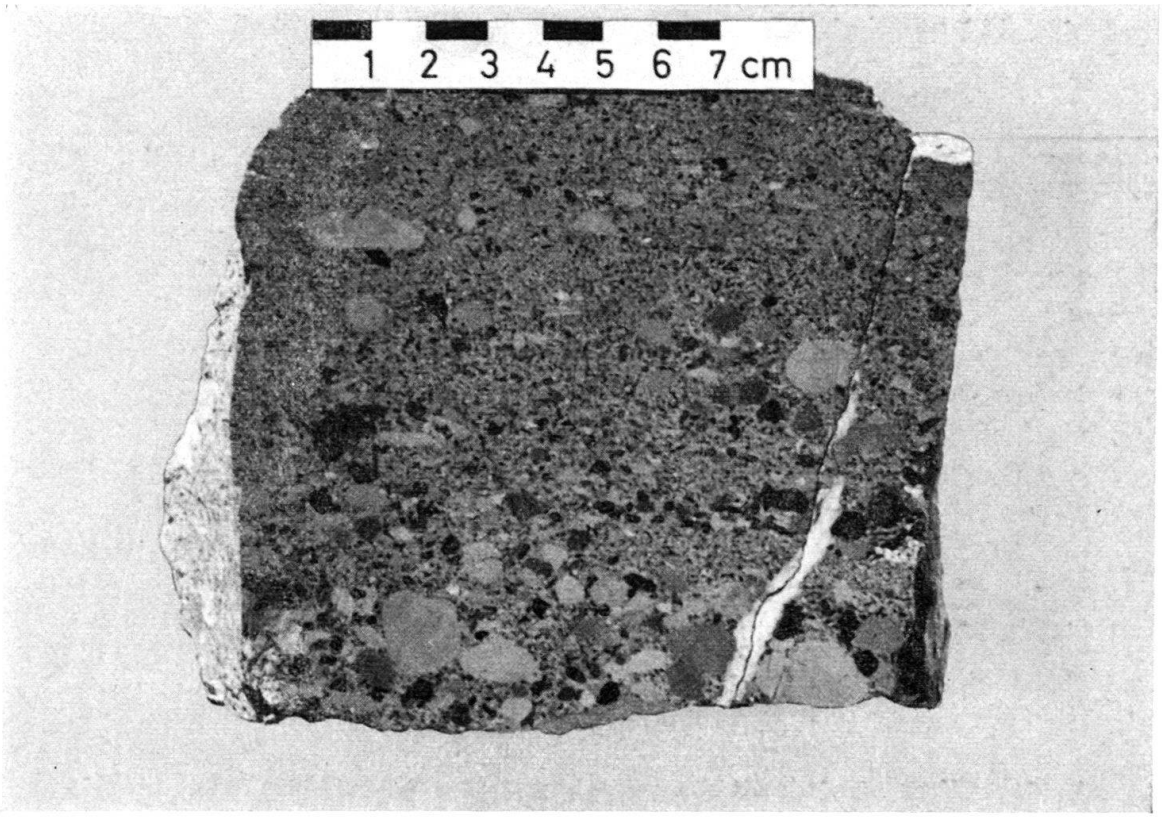


Fig. 22. Gradiert geschichtete «Brèche multicolore» aus der Goldbergformation (Profil Fluhrebe, Fl 46). (Anschliff)

3. In Alfermée liegt Süsswasserkalk vermutlich alttertiären Alters in Form einer «Brèche multicolore» trangsressiv über dem Maestrichtien-Kalk. Die hellen Komponenten bestehen aus Maestrichtien-Foraminiferenkalk.
4. Bei Anwil (Übersichtskarte, Fig. 19) lassen sich im Süsswasserkalk des Helvétien nebst den Cailloux noirs auch zahlreiche Bruchstücke aus den liegenden Effingerschichten feststellen.

3.4.2 Die Lagerungsverhältnisse der Cailloux noirs im Sediment

Je nach den Ablagerungsbedingungen sind die Cailloux noirs im Sediment verschieden angeordnet. Die teilweise auftretenden hellen «Einsprenglinge» verhalten sich dabei wie die Cailloux noirs. Die Komponenten sind entweder gleichmässig im umgebenden Sediment verteilt, angehäuft oder gradiert geschichtet. Wir unterteilen die Cailloux noirs-Horizonte entsprechend in drei Gruppen:

1. Die Cailloux noirs sind gleichmässig verteilt.
   Beispiele: Ru 7 und Ru 8 der Goldbergformation. Weitere Vorkommen: Sämtliche Horizonte der Goldbergformation (ausser Fl 45) und der Mergel- und Kalk-Zone des Berriasien, sowie vier aus der Twannbachformation (8, 11b, 11c und 11d).
   Durchmesser der Cailloux noirs: Meist kleiner als 1 cm, maximal 4 cm.

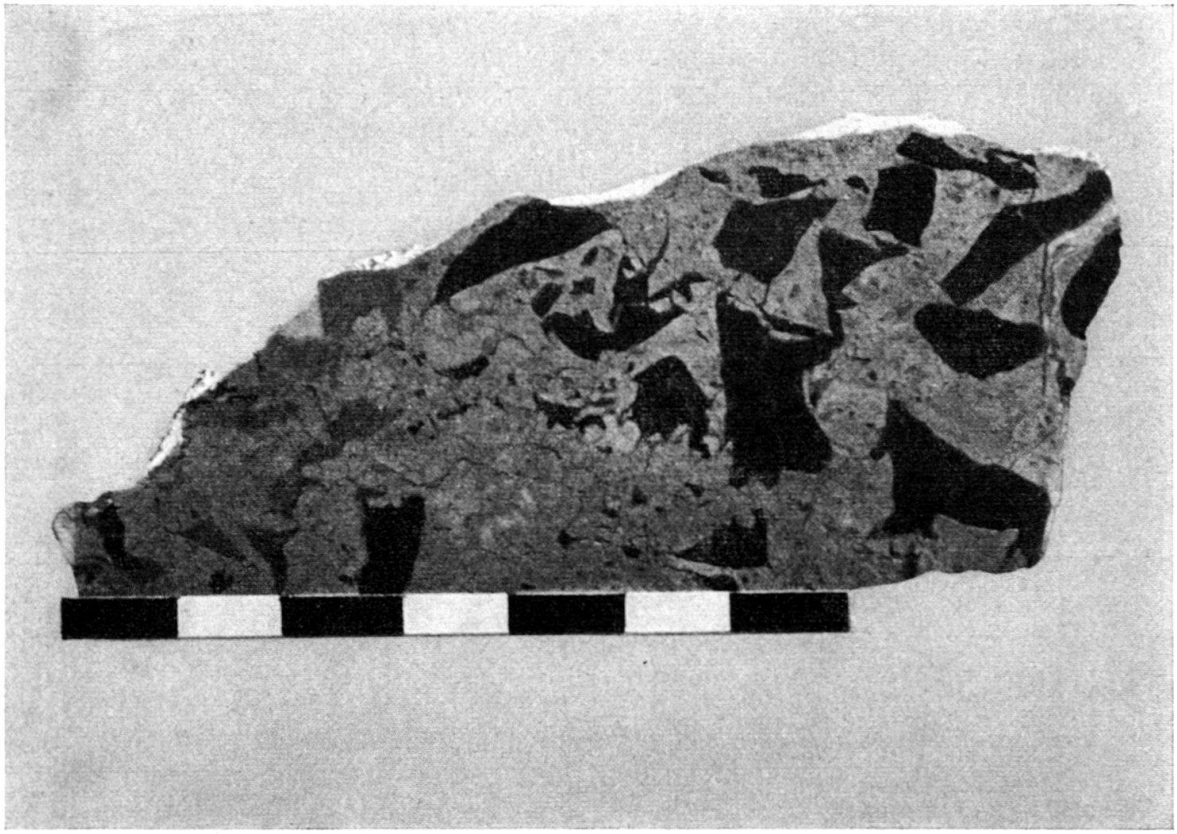


Fig. 23. Ausgesprochen eckige Cailloux noirs aus der Twannbachformation, die wahrscheinlich am Ort ihrer Aufarbeitung zurückgeblieben sind (Profil Twannbach, Tb 9). Ein Teilstrich = 1 cm).

2. Die Cailloux noirs sind angehäuft.
   Beispiele: 11a der Twannbachformation. Weitere Vorkommen: Horizont 14 der Reuchenetteformation, weniger typisch ist 10 aus der Twannbachformation.
   Durchmesser der Cailloux noirs: Meist grösser als 1 cm, maximal 35 cm; daneben kleine Cailloux noirs von 0,1–0,2 cm verstreut (nicht angehäuft).

3. Die Cailloux noirs sind gradiert geschichtet.
   Beispiel: Fl 45 der Goldbergformation (Fig. 22).
   Weitere Vorkommen: Dieser sonst weitverbreitete Ablagerungstypus (Carozzi 1951, 205) ist in unserem Gebiet nur bei Fl 45 einigermassen gut ausgebildet.
   Durchmesser der Cailloux noirs: 0,1–0,5 cm, am Salève bis zu 30 cm (Carozzi 1951, 206).

Zwischen den einzelnen Gruppen sind alle Übergänge möglich. Schrägschichtungen und Rippelmarken, sowie Einregelungen von Cailloux noirs konnten nirgends festgestellt werden.

3.4.3 Die Morphologie der Cailloux noirs

Die Rundung

Die Cailloux noirs sind schlecht gerundet bis eckig; gut gerundete treten selten auf. Da sie sich häufig nicht vom umgebenden Sediment trennen lassen, wurde ihre Rundung nach Bruchflächen oder Anschliffen bestimmt. In einem Fall (Ru 7) gelang es eine genügende Anzahl von grösseren Cailloux noirs zu isolieren, was eine statistische Auswertung des Rundungsgrades in verschiedenen Korngrössenklassen ermöglichte. Der Rundungsgrad wurde nach den acht Rundungsklassen von W. C. Krummbein (1941, 64) bestimmt (Klasse 1 = eckig).

Es wurden drei Grössenklassen gebildet: 4–8 mm, 8–16 mm, 16–32 mm. Vier Cailloux noirs, die etwas grösser als 32 mm waren, wurden ebenfalls in die Klasse 16–32 mm einbezogen. Körner mit kleinerem Durchmesser als 4 mm blieben unberücksichtigt.

Die 241 aus Horizont Ru 7 zur Verfügung stehenden Cailloux noirs teilten sich wie folgt in die Grössenklassen: 4–8 mm: 116; 8–16 mm: 93; 16–32 mm: 32.

Aus der nachstehenden Figur (Fig. 24) ist die Abhängigkeit der Korngrösse vom Rundungsgrad ersichtlich.

Sämtliche Cailloux noirs fanden ihren Platz in den ersten vier der acht Rundungsklassen. Mit zunehmender Grösse sind die Komponenten deutlich besser gerundet.

Die schlechtere Rundung der kleinen Cailloux noirs kann häufig festgestellt werden; eine Beobachtung, die auch A. Carozzi (1948, 105) machte. Wir kommen damit zum Schluss, dass die Cailloux noirs, abgesehen von wenigen Ausnahmen (z. B. Tb 9), nur einen kurzen Transportweg mitmachten, oder während einer gewissen Zeit durch Strömungen hin und her bewegt wurden.

Grössere, vollständig eckige Cailloux noirs sind meistens nur in den «Brèches multicolores» anzutreffen. Sind die Bestandteile einer derartigen Brekzie ausserordentlich eckig, wie bei Tb 9 (Fig. 23) so muss Sedimentation, Aufarbeitung und nochmalige Sedimentation auf eng begrenztem Raum stattgefunden haben.

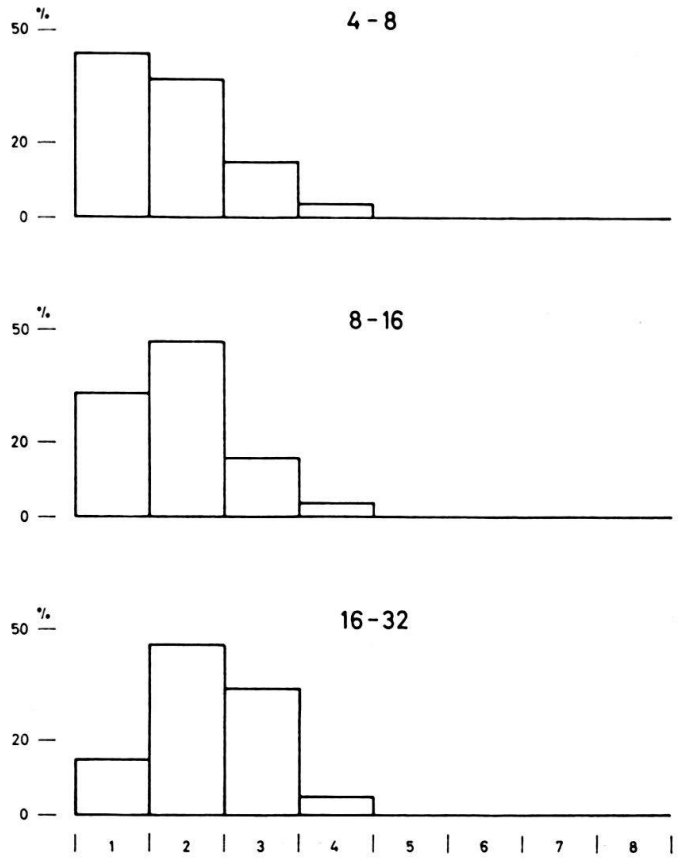


Fig. 24. Rundungsgrad der Cailloux noirs aus Horizont Ru 7.
(4–8, 8–16, 17–32 = Korngrössen in mm; 1,2... 8 = Rundungsklassen).

Der makroskopische Aufbau

Nach ihrem Aufbau lassen sich die Cailloux noirs in homogene und zusammengesetzte einteilen. Die ersteren sind weitaus am häufigsten, ihr Anteil beträgt mehr als 90 %. Sie stellen den Normaltyp dar. (Merkwürdigerweise scheinen in den von A. Carozzi (1948, 97) untersuchten Fällen die Verhältnisse gerade umgekehrt zu liegen).

Ein Cailloux noir kann als homogen bezeichnet werden, wenn er einen einheitlich aufgebauten Körper darstellt, der sowohl krypto- wie mikrokristallin, arenitisch oder auch oolithisch sein kann.

Ein zusammengesetzter Cailloux noirs besteht aus mehreren zusammenzementierten homogenen Cailloux noirs. Der agglomerierte Typ ist meistens schon an seiner äusseren Gestalt erkennbar: schwarze Körner sind durch ein dunkles Bindemittel miteinander verbunden; meistens umschliessen einige kleinere Komponenten einen grösseren Kern. Die angelagerten Körner können eckig bis leicht gerundet sein, und dem ganzen Agglomerat eine sehr unregelmässige, eckige Form verleihen.

In den 51 beobachteten Cailloux noirs-Horizonten im Gebiet zwischen Lengnau und Twann konnte nur in einem Fall (Ru 11) einige Cailloux noirs mit einer 1–2 mm starken Verwitterungsrinde beobachtet werden. Bezeichnenderweise ist Ru 11 die basiskonglomeratführende Schicht, deren Komponenten alle eine rotgelbe Oxydationskruste aufweisen. Es ist daher nicht recht ersichtlich, wieso A. Carozzi (1948, 100) von einer häufigen Oberflächenoxydation der Cailloux noirs spricht.

3.4.4 Dünnschliffuntersuchungen

Die Cailloux noirs und das begrenzende Sediment wurden in einer Anzahl von Dünnschliffen untersucht. Die Lithofazies und der Fossilinhalt sind in nachfolgender Tabelle stichwortartig angegeben.

Abkürzungen:

kr : kryptokristalliner Kalk
mikr : mikrokristalliner Kalk
arenit : arenitischer Kalk
detrit : detritischer Kalk
Qz : Quarz
aggl : agglomerierte Cailloux noirs
Ch : Characeen
Da : Dasycladaceen
Os : Ostrakoden
Mil : Milioliden
Lit : Lituoliden
Pl : Planorben
Ne : Nerineen
Mo : Molluskentrümmer
Ech : Echinidenbruchstücke
Ko : Korallen
Mi : Microcodium

Tab. 6. Vergleichende Dünnschliffuntersuchungen zwischen den Cailloux noirs und dem angrenzenden Sediment

Stratigraph. Stellung	Lokalität	Schliff Nr.	Cailloux noirs		Umgebendes Sediment	
			Lithofazies	Fossilien	Lithofazies	Fossilien
Helvétien	Anwil	X 21	kr, wenige Qz-Splitter	–	kr, wenige Qz-Splitter	Mi
Eocaen ?	Alfermée	S 1	kr, wenige Qz-Splitter	–	kr, viele Qz-Splitter	–
Basiskonglomerat (Mergel- und Kalk-Zone)	Riedli	Ri 19	kr	Ch, Os	Mergel (kein Schliff)	Ch, Os
		Ri 19a	kr	Ch, Os	Mergel (kein Schliff)	Ch, Os
Goldberg-formation	Twann	Tw 32	kr, aggl	–	kr-krist.	–
		Tw 47	kr	–	arenit, wenig Qz	–
	Fluhrebe	Fl 28	kr, wenig Qz	–	kr, wenig Qz	Mo
		Fl 45	kr	Ch	kr	Ch, Mo
	Tüscherz	Tü 15	kr	–	kr, wenig Qz	–
	Rusel	Ru 7	kr	Ch	kr. wenig Qz	Ch
		Ru 7b	kr, aggl	–	kr, wenig Qz	Ch
		Ru 7c	kr, aggl	–	kr, wenig Qz	Ch
		Ru 8	kr	Ch	arenit	Ch, Mo
	Goldberg	Go 15	kr	–	kr, wenig Qz	Os

Tab. 6 (Fortsetzung)

Stratigraph. Stellung	Lokalität	Schliff Nr.	Cailloux noirs		Umgebendes Sediment	
			Lithofazies	Fossilien	Lithofazies	Fossilien
Twannbach-formation	Twannbach	Tb 9	kr	–	mikr, etwas dolom	–
	Lengnau	A $^1/_2$	kr	–	mikr, etwas dolom	Da
	Taubenloch-schlucht	A $^2/_3$	kr, wenig Qz	–	kr, wenig Qz	Mil
		A $^4/_1$	kr, wenig Qz	–	kr, wenig Qz	Mil
		9 L 5	kr	–	kr	–
	Taubenloch-brücke	T 1	kr	–	detrit	Ne, Ko Mo, Mil, Ch, Pl.
Reuchenette-formation	Reuchenette	A $^3/_2$	arenit	Lit, Mil	arenit	Lit, Mil
		A $^3/_4$	arenit	Lit, Mil	arenit	Lit, Mil
	Nidauwald	6F4g	kr	–	detrit	Ch, Mol
		6F4r	kr	–	kr	Mo, Ech, Ch
«Sequanien»	Sous les Erauts	X 11	kr	–	kr	Ch

Die Lithofazies

Ausser denjenigen bei Reuchenette bestehen sämtliche Cailloux noirs aus kryptokristallinem Kalk. Mit einigen Ausnahmen besitzen sie den gleichen mikroskopischen Aufbau wie das angrenzende Sediment, von dem sie sich im Dünnschliff meist nur dank ihrer Dunkelfärbung unterscheiden lassen. Im arenitischen Kalk von Tw 47 und Ru 8 heben sich die Cailloux noirs ausserordentlich durch ihre grosse Dimension von den übrigen ebenfalls kryptokristallinen Geröllen ab. Nach der oft frappanten Ähnlichkeit mit dem umgebenden Sediment, muss das Muttergestein der Cailloux noirs nicht allzu weit entfernt unter ähnlichen Ablagerungsbedingungen entstanden sein. Im Gegensatz zum Sediment führen die Cailloux noirs sehr selten detritisches Material. Die Sedimentation ihres Ausgangsgesteins muss daher in einem strömungsarmen, mehr oder weniger abgeschlossenen Bereich stattgefunden haben. Sie erfolgte durch biochemische bis chemische Kalkausfällung. Das ist ebenfalls der Fall für die Ausgangssubstanz der kalkarenitischen, aus kryptokristallinen Körnern aufgebauten Cailloux noirs bei Reuchenette.

Der Fossilinhalt

Im allgemeinen sind die Cailloux noirs sehr arm an Fossilien. Primär eingelagert konnten in einigen Fällen Characeen (bei Fl 45 in Anhäufungen) und Ostrakodenschalen festgestellt werden. Nicht charakteristisch sind die gerollten Foraminiferen

im allochthonen Kalk der Cailloux noirs von Reuchenette. Marine Fossilien waren nirgends nachweisbar. Die gleiche Feststellung machten A. CAROZZI (1948, 99, 105) und P. DONZE (1958, 206). Wir dürfen demnach mit Sicherheit annehmen, dass das Ausgangsmaterial der Cailloux noirs nichtmarin ist.

3.5 Die chemische Zusammensetzung

3.5.1 Anorganisch

Karbonatgehalt

Sechs Cailloux noirs wurden komplexometrisch auf ihren Karbonatgehalt untersucht:

Tab. 7. Der Karbonatgehalt einiger Cailloux noirs

Probe Nr.	Lithofazies des umgebenden Sedimentes	stratigr. Stellung	%$CaCO_3$	%$CaMg(CO_3)_2$	%gesamt Karbonat
A 3/2	arenitischer Kalk	Reuchenetteform.	99,5	0,2	99,7
A 2/3	kryptokrist. Kalk	Twannbachform.	94,8	1,7	96,5
A 1/6	kryptokrist. Kalk	Twannbachform.	93,6	2,1	95,7
Ri 19	Mergel	Goldbergform.	97,3	1,0	98,3
Ru 7	Mergelkalk	Goldbergform.	95,5	1,9	97,4
X 21	kryptokrist. Kalk	Helvétien	96,7	1,4	98,1

1. Die Cailloux noirs sind demnach durchwegs kalkig (Karbonatgehalt $> 95\,\%$) und besitzen einen sehr geringen Anteil an Dolomit (Dolomitgehalt $< 3\,\%$).
2. Der Kalkgehalt ist von der Lithofazies des umgebenden Sedimentes unabhängig; auch im Mergel oder Mergelkalk sind die Cailloux noirs kalkig.

Der Anteil an Fe, Mn, P, S, SO_4

Die wichtigsten Punkte im Analysengang zur quantitativen Bestimmung dieser Elemente seien kurz festgehalten:

Tab. 8. Methoden für die Bestimmung von Fe, Mn, P, S, SO_4 der Cailloux noirs

Element	Einwaage	Aufschluss	Reagens	Bestimmung
Fe	1 g	$HF+HClO_4$	2,2 Dipiridil	kolorimetrisch
Mn	1 g	$HF+HClO_4$	KJO_4	kolorimetrisch
P	5 g	HNO_3 3-n	Molybdivanadat	kolorimetrisch
S	5 g	$Na_2CO_3+KCLO_3$	$BaCl_2$	gravimetrisch
SO_4	5 g	HCl conc.	$BaCl_2$	gravimetrisch

Drei Cailloux noirs wurden auf diese Art analysiert (Resultate in %):

Tab. 9. Fe_2O_3-, MnO-, P_2O_5-, S- und SO_4-gehalt einiger Cailloux noirs

Probe Nr.	Lithofazies	Farbe	strat. Stellung	Fe_2O_3*	MnO	P_2O_5	S**	SO_4	gesamt Karbonat
A 3/2	arenitisch	grau-schwarz	Reuchenette-formation	0,03	0,01	0,06	0,00	0,09	99,7
A 2/3	mikrokrist.	grau-schwarz	Twannbachform.	0,35	0,03	0,11	0,03	0,26	96,5
Ri 19	mikrokrist.	schwarz	Goldbergform.	0,21	0,08	0,09	0,01	0,24	98,3

* Gesamtgehalt von Fe als Fe_2O_3 bestimmt.
** S als Schwefel in Sulfidform, bestimmt aus der Differenz Gesamtschwefel minus Sulfatschwefel Möglicherweise vorhandener organischer Schwefel ist in diese Werte einbezogen.

Die voliegenden Resultate lassen folgende Schlüsse zu:

1. Die Schwarzfärbung der Cailloux noirs ist nicht auf Sulfide (z. B. Pyrit) zurückzuführen, da S als Sulfid nur in Spuren oder überhaupt nicht auftritt.
2. Oft wurde angenommen (A. Carozzi 1948, 97), dass die Ausgangssubstanz der Cailloux noirs sapropelitisch sei und aus reduzierendem Milieu stamme; das Verhältnis Sulfid/Sulfat widerlegt jedoch diese Annahme.
3. Da Mangan nur in Spuren auftritt, kann es für die dunkle Farbe nicht verantwortlich sein (z. B. Braunstein).
4. Die Schwarzfärbung muss rein organischer Natur sein.

3.5.2 Organisch

Voruntersuchungen

Werden die Cailloux noirs angeschlagen, geschliffen, vermörsert, oder mit verdünnter Säure zersetzt, so entsteigt ein charakteristischer bituminöser Geruch, der mit der Dunkelfärbung deutlich zunimmt. Es müssen somit leichtflüchtige Bestandteile vorhanden sein.

Spuren schwerflüchtiger, löslicher, organischer Bestandteile können im Gestein wie folgt nachgewiesen werden:

1. Gestein mit Hammer zerkleinern und leicht vermörsern.
2. Ca. 2 g davon mit 2-n HCl im Becherglas auflösen.
3. Rückstand abfiltrieren und mit Wasser auswaschen.
4. Filterpapier öffnen und mit Rückstand bei einer Temperatur $< 70°$ C trocknen.
5. Unter dem Abzug oder im Freien Filter auf den Rand eines Becherglases legen, wiederholt einige Tropfen Chloroform auf den Rückstand geben, so dass dieser mehrere Male extrahiert wird. Der äusserste Rand des Filters darf durch Chloroform nicht benetzt werden.

6. Chloroform vollständig verdunsten lassen, Filterpapier mit Rückstand unter einer UV-Lampe bei Dunkelheit betrachten.

Dieser Test wurde an einer ganzen Anzahl Cailloux noirs jeglicher stratigraphischen Lage durchgeführt. Es zeigten sich folgende, in jedem Fall wiederkehrende Resultate.

Bei 1 und 2 entwich der typische bituminöse Geruch. Alle Cailloux noirs lösten sich, durch den hohen Karbonatgehalt bedingt, sehr rasch in 2–n HCl unter Bildung einer bräunlich schwimmenden Haut. Offenbar wurden schon bei diesem Prozess organische Anteile abgesondert. Der Rückstand war gering, braunschwarz bis schwarz und fein verteilt; damit ergab sich eine für die Extraktion wichtige grosse Oberfläche. Die Extraktion mit Chloroform hinterliess in den meisten Fällen sehr feine braune Rändchen auf dem Filter. Unter der UV-Lampe gab es, verursacht durch die extrahierten bituminösen Bestandteile, immer eine sehr deutliche, gelbliche Fluoreszenz mit grosser Intensität in den Randpartien. Im allgemeinen konnte mit zunehmender Dunkelfärbung auch eine grössere Fluoreszenz festgestellt werden. Der Anteil der Extraktion war nicht zu ermitteln; er betrug aber nur einen kleinen Bruchteil des Rückstandes. Zur Kontrolle wurden einige beige bis graue, den Cailloux noirs benachbarte Sedimente auf die gleiche Weise untersucht, hier war jedoch der Befund negativ.

Durch quantitative Bestimmungen war es möglich, die Genauigkeit der beschriebenen Methode festzsutellen. Demnach ergeben 300 ppm in der Kälte extrahierbare Substanz unter der UV-Lampe eine sehr deutliche Fluoreszenz. Die Nachweisgrenze liegt vermutlich unter 100 ppm.

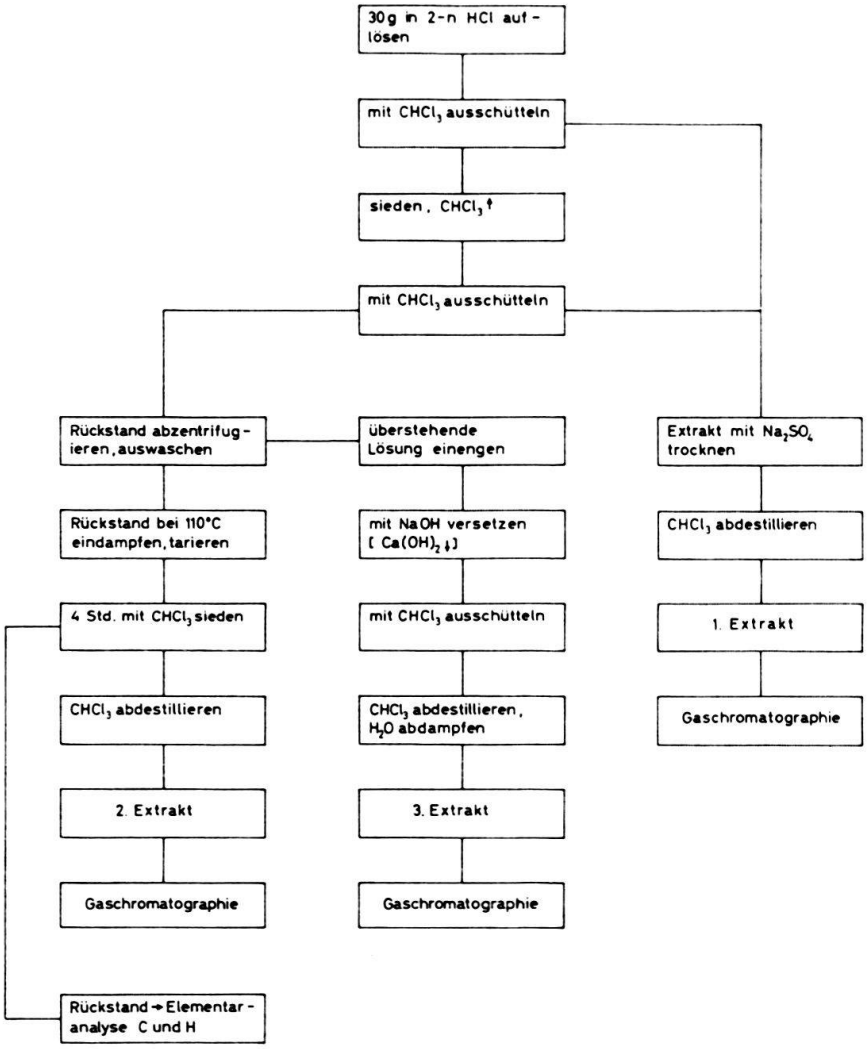
Quantitative Bestimmungen

Die beiden Cailloux noirs-Proben A 3/2 aus der Reuchette- und Ri 19 aus der Goldbergformation wurden organisch-chemisch eingehender analysiert. Der Verlauf der Untersuchungen ist aus nachstehender Tabelle ersichtlich (Tab. 10). – Die Auflösung erfolgte mit leichtem Überschuss an 2-n HCI. Das mehrmalige Ausschütteln musste wegen der sich bildenden schwimmenden Flüssigkeitshaut im Scheidetrichter und nicht im Soxhelet durchgeführt werden. Alle Chloroformextrakte waren hellgelb bis braun und besassen den typischen Geruch von Aromaten. Mit der Zugabe von Na OH wurde versucht, eventuell vorhandene organische Basen frei zu bekommen. Der Rückstand war in beiden Fällen schwarz.

Im ersten Extrakt wurden 0,033 % und 0,037 % des Ausgangsmaterials aufgelöst. Im Extrakt 2 und 3 schwankten die Werte bei beiden Proben zwischen 0,005 und 1,10 %. Der Rückstand betrug (2. Extrakt subtrahiert) bei A 3/2 0,108 %, bei Ri 19 1,578 %.

Die gaschromatographische Untersuchung der drei Extrakte ergab die Abwesenheit von organischen Verbindungen mit einem Siedepunkt unter 250°C. Bezogen auf die homologe Reihe der Grenzkohlenwasserstoffe kämen demnach nur schwerflüchtige Moleküle mit einer C-Zahl > 14 vor. Auf die umständliche Bestimmung der hochsiedenden Stoffe wurde jedoch verzichtet.

Tab. 10. Verlauf der organisch-chemischen Untersuchung bei den Cailloux noirs-Proben A 3/2 und Ri 19



Die Elementaranalyse des Rückstandes (ausgeführt durch Firma Dr. K. EDER, Genf) ergab folgende prozentuale Werte:

Tab. 11. Elementaranalyse des $CHCl_3$ unlöslichen Rückstandes der Proben A 3/2 und Ri19

A 3/2		Ri 19
29,63 %	C	11,53 %
1,95 %	H	1,37 %
57,61 %	Rückstand	80,09 %
10,81 %	nichtbestimmter Rest	7,01 %

Der nichtbestimmte Rest besteht aus sulfidischem S und aus organisch gebundenem O, N, S und P. Wobei O der Hauptbestandteil ist.

Da der nichtkarbonatische Anteil sehr gering war, hatte etwaig vorhandenes Konstitutionswasser, das erst bei einer Temperatur > 110°C abgegeben wird, für die H-Bestimmung keinen Einfluss. – Zusammengefasst beträgt der Gehalt an organischer Substanz im Gestein:

	A 3/2	Ri 19
$CHCl_3$-Extrakte	0,050 %	0,052 %
nichtextrahierbare organische Substanz	0,045 %	0,280 %
Gesamtanteil organischer Substanz	0,095 %	0,332 %

Der Gehalt beträgt im tiefschwarzen Ri 19 drei- bis viermal soviel als im grauschwarzen A 3/2.

Berechnet man das Atomverhältnis von H zu C aus der Elementaranalyse, so erhält man die Werte:

	A 3/2	Ri 19
H : C =	1 : 1,29	1 : 0,70

Werden pro C-Atom zwei H gebunden, was bei hochmolekularen Kohlenwasserstoffen annähernd zutrifft, so erhält man einen Überschuss an C. Durch den voraussichtlich geringen Anteil von Aromaten wird dieses Verhältnis kaum gestört. Der freie Kohlenstoff beträgt demnach:

	A 3/2	Ri 19
vom gesamten C-Gehalt	62 %	29 %
im Gestein	0,008 %	0,011 %

Wird der Kohlenstoffgehalt der Cailloux noirs aus der gesamten organischen Substanz berechnet, indem für die Extrakte schätzungsweise 70 % C eingesetzt wird, so erhält man für A 3/2: 0,067 % C und für Ri 19: 0,197 % C.

Nach den sedimentologischen Untersuchungen, sowie nach dem überschüssigen Kohlenstoff zu schliessen, muss das organische Material vor allem pflanzlicher Herkunft sein. – Nehmen wir für Algen eine durchschnittliche Trockensubstanz von 3 % mit einem C-Gehalt von 50 % an (Schlag nach Natur 1958, 589), so beträgt der Kohlenstoff 1,5 % der gesamten pflanzlichen Substanz. Wird der Kohlenstoffgehalt von A 3/2 und Ri 19 gleich diesem Wert gesetzt, so lässt sich annäherungsweise der Anteil der lebenden Pflanzen zum Ausgangssediment der Cailloux noirs berechnen. Er beträgt für A 3/2 ca. 4,5 % und für Ri 19 ca. 13 %. Berücksichtigt man noch das während der Diagenese entweichende CO_2, so werden die approximativen Richtungswerte etwas grösser. Vergleichsweise beträgt der organische Gehalt einer Gyttja zwischen 3 und 50 % (A. LUNDQVIST 1927, 27).

Aus Abschnitt 5.1.2 ist ersichtlich, dass nur organische Substanz für die Schwarzfärbung verantwortlich ist. Die Bitumina, ein Gemisch von höhermolekularen Kohlenwasserstoffen, sind von farbloser bis brauner Farbe, wie sie ebenfalls die Extrakte aufweisen. Sie sind deshalb als Farbstoffe nur von sekundärer Bedeutung.

Die dunkelgraue bis schwarze Farbe der Cailloux noirs muss daher in erster Linie von sehr fein verteilter kohliger Substanz herrühren. Für eine Schwarzfärbung der Kalke genügt 100 ppm submikroskopisch feiner Kohlenstoff. Bezeichnenderweise ist Ri mit 0,11 % tiefschwarz, während das grauschwarze A 3/2 nur 0,008 % C enthält.

Je nach dem Gehalt am organischem Material, insbesondere an kohliger Substanz, sind die Cailloux noirs graubraun bis tiefschwarz gefärbt.

Es besteht ein grosser Unterschied, ob ein Sediment durch Sulfide dunkelgefärbt ist, oder durch organische Substanz. Im ersten Fall tritt eine durch die Verwitterung oxydative Veränderung ungleich viel schneller ein (siehe Abschnitt 432). Die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe, insbesondere aber die träge kohlige Substanz können nur sehr langsam oxydiert werden. Daher die erstaunliche frische Farbe der Cailloux noirs, die oft irrtümlich dem schützenden Einfluss des Bindemittels zugeschrieben wurde (J. Favre und E. Joukowsky 1913, 318; A. Carozzi 1948, 100).

3.6 Die Genese und Herkunft der Cailloux noirs

1. In einem mehr oder weniger abgeschlossenen, nicht normal marinen Becken z. B. Lagune) findet eine biochemische bis chemische Ausfällung von Ca-Karbonat statt.
2. Der Kalkschlamm bildet mit abgestorbenen Pflanzen eine graue, detritusarme Kalkgyttja (A. Lundqvist 1927, 27; E. Naumann 1930, 60).
3. Im seichten Ablagerungsmilieu wird möglicherweise vorhandener Schwefel, sofern er nicht organisch gebunden bleibt, oxydiert (keine sulfidische Schwarzfärbung).
4. Während der Diagenese verwandeln sich die organischen Stoffe vor allem unter Abspaltung von H_2O in höhermolekulare Verbindungen, ohne dass Schwefelverbindungen reduziert werden. Je nach dem organischen Anteil und dem Inkohlungsgrad nimmt das Sediment eine graubraune bis tiefschwarze Farbe an.
5. Niveauschwankungen (Oszillationen) bewirken eine Aufarbeitung des mehr oder weniger stark verfestigten Sediments durch Wellen, Gezeiten oder Strömungen. Je nach den Umständen werden dabei auch andere Sedimente aufgearbeitet.
6. Durch Strömungsvorgänge wird das Material über eine kurze Strecke verfrachtet oder bleibt in speziellen Fällen am Ort seiner Aufarbeitung.
7. Je nach Aufarbeitungs- und Transportart entstehen Sedimente, die gleichmässig verteilte, angehäufte oder gradiert geschichtete Cailloux noirs von verschiedenem Rundungsgrad enthalten. Mit aufgearbeitetem Fremdmaterial bilden die Cailloux noirs die «Brèches multicolores». – Das Milieu der Cailloux noirs führenden Schichten kann limnisch, brackisch oder flachmarin sein.
8. Spezialfall: Die Cailloux noirs sind kalkarenitisch (F. J. Pettijohn 1957, 401). Das Ausgangssediment wird in kleine Komponenten aufgearbeitet, durch bewegtes Wasser gerollt und auf engem Raum, möglicherweise an Ort und Stelle als Kalkarenit sedimentiert. Nach der diagenetischen Verfestigung erfolgt erneute Aufarbeitung und Verfrachtung; es entstehen kalkarenitische Cailloux noirs.

Wir gehen mit M. Mattauer (1958, 48) einig, dass die Muttergesteine der Cailloux noirs noch in keinem Fall gefunden werden konnten. Dies ist nicht auf ihre oxydative Verfärbung (siehe Abschnitt 3.5.2), sondern auf ihre exponierte, der Aufarbeitung sehr anfällige, landnahe und räumlich beschränkte Lage zurückzuführen.