Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 101 (2012)

Artikel: Hartsandsteinbrüche für Pflastersteine des Kantons Freiburg

Autor: Maggetti, Marino / Maggetti, Maurizio / Chiaverini, Jessica

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-358075

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: 14.07.2025

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

Hartsandsteinbrüche für Pflastersteine des Kantons Freiburg

MARINO MAGGETTI[1], MAURIZIO MAGGETTI[2], JESSICA CHIAVERINI[3] und VINCENT SERNEELS[1]

[1] Departement für Geowissenschaften, Universität, CH-1700 Freiburg
[2] Institut für Föderalismus, Universität, CH-1763 Granges-Paccot
[3] CEMEX Research Group AG, CH-2555 Brügg

Zusammenfassung

Ein für die Pflasterstein-Herstellung geeignetes Gestein sollte folgende Eigenschaften besitzen: hohe Druckfestigkeit, geringe Sprödigkeit, grosse Zähigkeit, hohe Abnutzungsresistenz, geringe Porosität, raue Oberfläche und hohe Wetterbeständigkeit. Derartige Voraussetzungen sind nur bei wenigen Gesteinstypen gegeben. Im Kanton Freiburg werden seit Jahrzehnten Sandsteine aus der subalpinen Molasse und aus der Gurnigeldecke (Flysch) verwendet, um daraus Pflastersteine herzustellen. Ihre hohe Zähigkeit ist auf den hohen Gehalt an Matrix-Kalzit zurückzuführen. Mittels Studium der Archivalien, der Literatur und eingehender Geländeprospektion konnten 35 ehemalige Steinbrüche lokalisiert werden, von denen einer noch in Betrieb ist. Die verschiedenen Sandsteine wurden mittels 62 Dünnschliffen und je 29 diffraktometrischen Phasenanalysen und chemischen Analysen charakterisiert. Mono- und polykristalliner Quarz ist mit 50-60 Vol. % Hauptbestandteil der Sandsteine. Die Sandsteine der subalpinen Molasse enthalten reichlich Dolomit-Fragmente, diejenigen des Flysches Bioklaste (Fossilien: Algen und Foraminiferen). Diffraktometrische Untersuchungen bestätigten das Vorhandensein des Minerals Dolomit in den Sandsteinen der subalpinen Molasse und dessen Abwesenheit in den Flysch-Sandsteinen. Die Gehalte an MgO, Cr und Ni sind in den Sandsteinen der subalpinen Molasse signifikant höher. Die chemische Differenzierung beider Sandsteintypen wird mit multivariaten Analysen, wie z.B. die Clusteranalyse, bestätigt. Beide Sandsteintypen können demnach mit naturwissenschaftlichen Kriterien gut auseinandergehalten werden. Diejenigen der subalpinen Molasse wurden in der Zeitspanne von ca. 1850 bis ca. 1930, diejenigen des Flysches vorwiegend ab ca. 1920 bis heute abgebaut. Zwei Gründe sind für diesen Wechsel verantwortlich: (1) Die höhere Druckfestigkeit der Flysch-Sandsteine (2'000-2'500 kg/cm^2) im Vergleich zu derjenigen der subalpinen Molasse-Sandsteine (1'600-1'800 kg/cm^2) und (2) der Bau neuer Strassen in den Flyschregionen, welche den Zugang zu den Steinbrüchen sehr erleichterten. Die Grunigeldecke hat ein enormes Potential für die Pflasterstein-Produktion, denn die Flysch-Sandsteine haben hervorragende technische Eigenschaften und ihre Reserven sind sehr gross.

Résumé

Une pierre, pour servir à confectionner des pavés, doit remplir plusieurs conditions: forte résistance à la compression, faible friabilité, forte ténacité, faible abrasion, très faible porosité, surface rugueuse et forte résistance à l'érosion. Ces conditions ne sont remplies que par quelques types de roche. Dans le canton de Fribourg, deux grès ont été utilisés depuis des décennies pour en faire des pavés. Il s'agit des grès de la Molasse subalpine et de la nappe du Gurnigel (Flysch). Les deux ont une forte ténacité grâce à leur matrice riche en calcite. L'étude détaillée des documents écrits dans les archives, de la littérature et une prospection minutieuse dans le terrain ont livré l'existence de 35 anciennes carrières dans le canton de Fribourg, dont une toujours en activité de nos jours. L'étude scientifique comprenait l'analyse microscopique de 62 lames minces ainsi que 29 analyses diffractométriques et chimiques. Le quartz mono- ou polycristallin est le constituent principal des grès, totalisant à peu près 50 à 60 % vol.. Les grès de la Molasse subalpine se caractérisent entre autres par une teneur marquée en fragments dolomitiques, ceux du Flysch p.ex.

par leur contenu en bioclastes (fossiles : algues et foraminifères). La présence ou l'absence de dolomite dans la Molasse resp. dans le Flysch est confirmé par l'analyse diffractométrique. Les grès de la Molasse subalpine sont, du point de vue chimique, plus riches en MgO et Cr+Ni que ceux du Flysch de la nappe du Gurnigel. L'analyse de grappe corrobore cette différence. Les résultats des analyses scientifiques forment un argumentaire solide pour différencier aisément les deux types de grès. Du point de vue historique, la Molasse subalpine fût utilisée pour la confection de pavés depuis ca.1850 jusqu'à ca.1930, les grès du Flysch surtout depuis ca. 1920 jusqu'à l'heure actuelle. Les raisons pour ce changement sont: (1) la plus forte résistance à la compression des grès du Flysch (2'000-2'500 kg/cm^2) par rapport à ceux de la Molasse subalpine (1'600-1'800 kg/cm^2) et (2) la construction de nouvelles routes dans la région du Flysch au début du 20e siècle, permettant l'accès des camions aux carrières. La région de la nappe du Gurnigel constitue un énorme potentiel pour l'industrie des pavés, car les grès du Flysch ont d'excellentes qualités techniques et leurs réserves sont très grandes.

Abstract

Good quality paving stones require the following properties: high pressure resistance, low brittleness, high tenacity, low abrasion, very low porosity, rough surface and high resistance to weathering. Few rock types meet all these criteria and in the case of the canton of Fribourg, there are only two that have been widely quarried as paving stones historically. These include sandstones from the subalpine Molasse and from the Gurnigel nappe's Flysch. Both have high tenacity due to the presence of large amounts of calcite in their matrix. A thorough study of written documents in the archives and the literature, followed by a detailed field prospection, lead to the identification of 35 ancient quarries in the Canton of Fribourg, with only one of them still operating. The scientific analyses included microscopic work on 62 thin sections, 29 X-ray diffractometric as well as 29 chemical analyses. Petrographically, both sandstones contain 50-60 vol. % of monocristalline and polycristalline quartz fragments as major constituent. The sandstones from the subalpine Molasse are characterized e.g. by a marked content of dolomitic clasts, the one from the Flysch area by a high amount of organoclasts (fossils: algae and foraminifera). The presence or absence of dolomite in the Molasse resp. the Flysch specimens was corroborated by the diffractometric analysis. Chemically, the Molasse sandstones are richer in MgO, Cr + Ni than the Flysch samples. Both can be differentiated by a multivariate cluster analysis. All these peculiarities can be used to differentiate both provenances. From a historical point of view, the subalpine Molasse sandstones were quarried for paving stones between approximately 1850 and 1930 and the Flysch sandstones in her majority from approximately 1920 until the present day. The reasons for this change are: (1) the higher compressive strength of the Flysch sandstones (2'000-2'500 kg/cm^2) compared to the subalpine Molasse sandstones (1'600-1'800 kg/cm^2) and (2) the construction of new roads in the Flysch region at the beginning of the 20th century, which allowed truck access to the Flysch quarries. Due to the high quality of the sandstones and the enormous resources, the Flysch area shows a great potential for paving stone quarrying in the near future.

1. Einführung und Problemstellung

Eine kursorische Begehung der gepflasterten Strassen und Plätze der Stadt Freiburg zeigt dem geübten Geologen-Auge sehr schnell, dass deren Belag mehrheitlich aus resistenten Sandsteinpflastern besteht. Dies wurde durch eine detaillierte petrographische Analyse bestätigt (CHIAVERINI & MAGGETTI 2012). In morphologischer Hinsicht handelt es sich dabei um mehr oder weniger quadratische Pflastersteine, die in Steinbrüchen aus gebrochenem Material gefertigt wurden. Auch Flussgerölle aus der Ärgera, der Saane oder der Sense konnten zu Pflastersteinen zugehauen werden, wie dies GILLIÉRON (1885) beschreibt: „Ce sont les matériaux erratiques qui fournissent les *pavés* des villes. La Gérine et la Sense charrient d'assez gros fragments de grès du flysch, pour qu'on en puisse tailler des bordures de trottoir et d'excellentes pierres à paver de forme

régulière.". Derartige Pflastersteine sind aber noch an einer originalen rundlichen Seite zu erkennen und kommen in der Stadt Freiburg, mit Ausnahme des grossen Platzes der *Oberen Matte (Planche Supérieure)*, wenig vor (CHIAVERINI & MAGGETTI 2012). Da der Kanton Freiburg reich an Sandsteinvorkommen ist, stellt sich die Frage, ob sich diese für die Pflasterstein-Herstellung überhaupt eignen? Oder mussten die Pflastersteine gar aus anderen Kantonen bezogen werden? Zur Beantwortung solcher Fragen war daher zu klären:

(1) Können mit der Kombination historischer, geologischer und naturwissenschaftlich-analytischer Argumente stichhaltige Hinweise gewonnen werden, um die für die Pflasterstein-Herstellung geeigneten Steinbrüche im Kanton Freiburg lokalisieren zu können, von denen die Stadt ihr Material bezog?

(2) Wenn ja, können die Pflästerungsarbeiten zeitlich eingegrenzt werden?

2. Eigenschaften eines guten Pflastersteins

Die Beanspruchung einer gepflästerten Strasse durch den Verkehr verlangt nach einem hochqualifizierten Gesteinsmaterial, das der oberflächlichen Abnutzung und der damit verbundenen Staubbildung widersteht. Laut NIGGLI (1925) werden von einem Pflasterstein folgende Eigenschaften verlangt:

„
1. Das Gestein muss eine relativ *grosse Druckfestigkeit* besitzen.
2. Es darf *nicht spröde* sein und muss gegen Schlag relativ fest sein.
3. Es muss eine *grosse Zähigkeit* besitzen, auch müssen die Kanten scharf bleiben.
4. Es muss ein sogenanntes *Hartgestein* sein, das sich langsam abnutzt und das fest und gleichmässig verbunden ist.
5. Die *Abnutzung* muss eine *gleichmässige, raue Oberfläche* erzeugen, damit das Pflaster bei nasser Witterung nicht glatt und schlüpfrig wird. Je steiler die Strasse, umso rauer das Pflaster.
6. Das Gestein darf *keine* einigermassen erhebliche *Porosität* besitzen, weil Wasser und Strassenschmutz nicht aufgesaugt werden dürfen und die *Frostbeständigkeit* gross sein muss.
7. Das Gestein muss *wetterbeständig* sein, insbesondere darf es nicht im bereits in Verwitterung begriffenen Zustand zur Verwendung kommen.
8. Der durch Abnutzung und eventuell Verwitterung entstehende *Staub* darf *nicht* zu einer zähen Schlammasse *verkleben*.„

Ein guter Pflasterstein besteht aus wetterbeständigen, harten Mineralien, beispielsweise Quarz mit der Mohs'schen Härte 6, neben Mineralien mittlerer bis niedriger Härte, beispielsweise Kalzit der Mohs'schen Härte 3. Letztere sollten weniger wetterbeständig sein, damit durch ihr Verschwinden die Abnutzungsfläche rau bleibt (Abb. 1). Das Kalziumkarbonat Kalzit ist löslich, ohne Bildung einer klebrigen Staubmasse bei Wasserzutritt. Gesteine mit der Kombination Quarz + Kalzit bilden daher, falls die Kornbindung gut und die Korngrösse relativ klein ist, ausgezeichnete Pflastersteine.

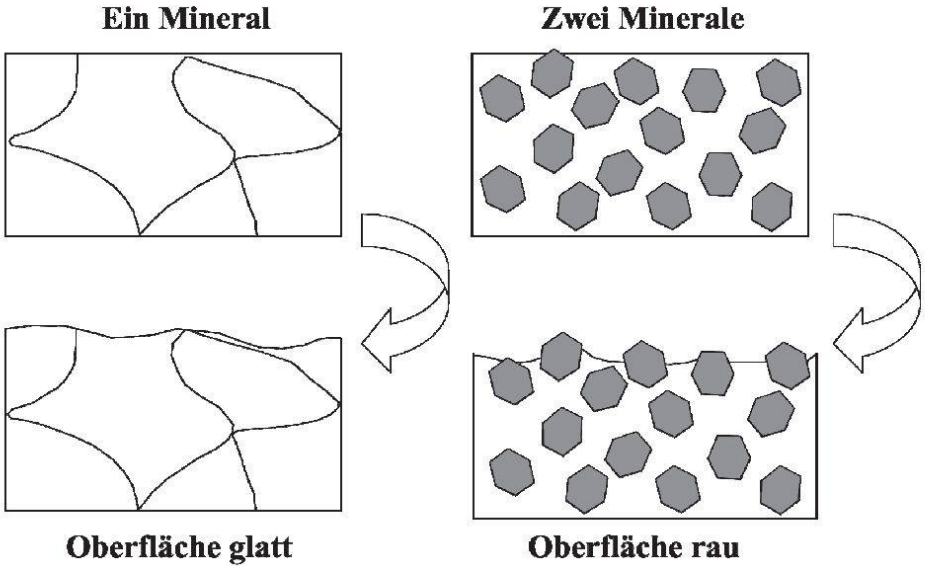


Abb. 1: Die Abnutzung eines mono-mineralischen Pflastersteins ergibt eine glatte Oberfläche (links im Bilde), diejenige eines bi-mineralischen Pflastersteins mit einem harten (grau, z. B. Quarz) und einem weicheren Mineral (weiss, z. B. Kalzit) eine raue Oberfläche (rechts im Bild).

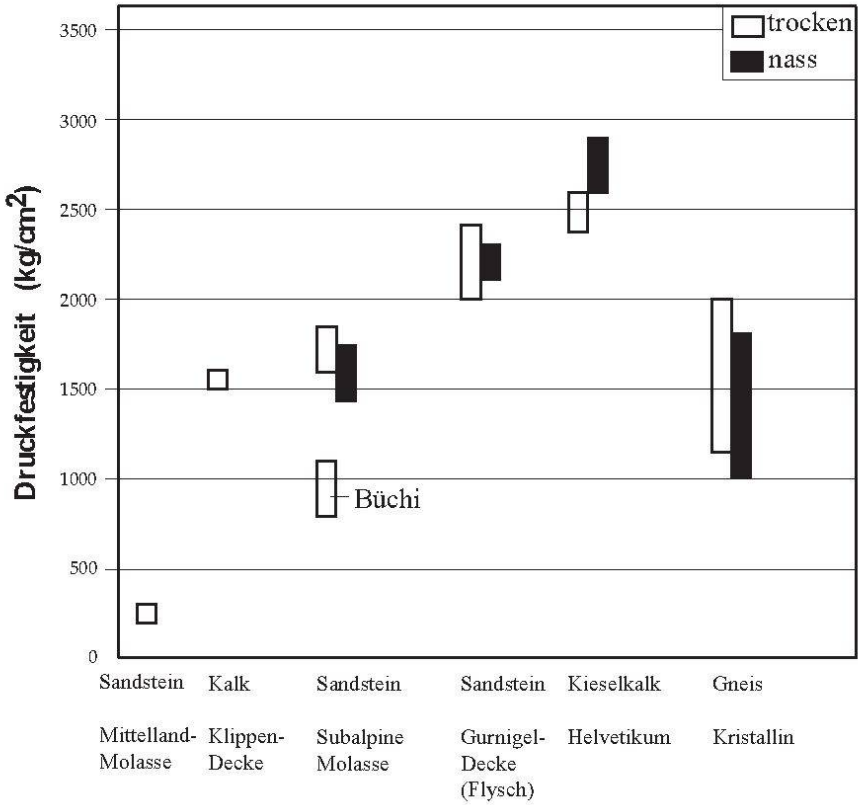


Abb. 2: Druckfestigkeiten verschiedener schweizerischer Gesteine. Die entsprechende Literatur ist im Text zitiert. Büchi = BÜCHI (1930).

In der Praxis sollte ein für die Herstellung von Pflastersteinen geeignetes Gestein eine sehr gute Frostbeständigkeit mit einem guten Abriebverhalten und vor allem mit einer hohen Druckfestigkeit kombinieren. Letztere darf in trockenem und nassem Zustand nicht wesentlich unter 2'000 kg/cm^2 liegen (BECK 1926b). In der Schweiz und nördlich der Zentralpen wird diese Anforderung nur von wenigen Gesteinen erfüllt – vor allem von Kieselkalken des Hauterivien (Untere Kreide) und von Sandsteinen des ultrahelvetischen, tertiären Flysches (NIGGLI et al. 1915a, BECK 1926a, b, NIGGLI & LETSCH 1927, BÜCHI 1930, DE QUERVAIN & GSCHWIND 1934, STAHEL 1968, DE QUERVAIN 1969, KÜNDIG et al. 1997), s. Abb. 2. Neben den genannten materialspezifischen Kriterien müssen noch weitere berücksichtigt werden. So sollte der Gewinnungsort gut erreichbar, der Abbau ohne grössere Probleme möglich und die Herstellung der Pflastersteine relativ einfach sein.

3. Für Pflastersteine geeignete Gesteinsvorkommen im Kanton Freiburg

Der Kanton Freiburg besteht aus vier tektonischen Einheiten: Mittelland-Molasse, subalpine Molasse, Gurnigeldecke (Flysch) und Klippendecke (Abb. 3). Beide Molasse-Typen und die Gurnigeldecke sind reich an Sandsteinen, im Gegensatz zur kalkreichen Klippendecke. In der subalpinen Molasse und der Gurnigeldecke konnten auf Grund der Literatur (Auswerter: Erst- und Zweitautor), den Archivalien (Auswerter: Zweitautor) und Prospektion im Gelände (s. weiter unten), die Standorte von 35 Sandstein-Brüchen nachgewiesen werden (Abb. 3, Tab. 1). Von einigen dieser Abbaustellen ist eine Pflastersteinproduktion gesichert. Daneben gibt es aber auch unzählige kleinere Abbaustellen, die vorwiegend lokalen Bedürfnissen dienten.

3.1 Die Steinbrüche in der subalpinen Molasse

Die subalpine Molasse wird unterteilt in die jüngere *Untere Süsswassermolasse USM* (Oberes Oligozän bis unteres Miozän) und die ältere *Untere Meeresmolasse UMM* (unteres bis mittleres Oligozän).

3.1.1 Die Steinbrüche in der Unteren Süsswassermolasse USM (Region Attalens)

Die vielen kleinen Abbaustellen und grösseren Steinbrüche des *Grès d'Attalens* oder *Grès de Jogny* (Tab. 1) befinden sich in der sog. *Molasse rouge de la Veveyse* (Unteres Chattien, Geologische Zeitskala 30.0 – 23.7 Mio. Jahre; MORNOD 1949, WEIDMANN et al. 1982, WEIDMANN 1993).

Laut MEISTER et al. (1884) waren die Steinbrüche um **Attalens** im Jahre 1880 seit längerem im Betrieb. Ein ehemaliger und zwei aktive Steinbrüche figurieren auf der Karte von WEBER & BROSI (1883). DE GIRARD (1896) nennt vier Abbaustellen um Attalens und viele kleinere, nicht genau lokalisierbare bei Bossonnens, Granges und Remaufens. Auf der Karte 1:25'000 von GAGNEBIN (1922) sind elf Steinbrüche eingetragen, was die Bedeutung des Sandsteins für die Veveyse unterstreicht. Die Unterscheidung der häufigen natürlichen Sandsteinausbissen von in Betrieb genommenen Steinbrüchen ist auf den Blättern 454 Oron und 456 Chardonne der Siegfriedkarte 1:25'000 ein schwieriges Unterfangen. Der Steinbruch *Grande Fin* fehlt in der Erstausgabe 1891 von Blatt Nr. 456, erscheint dann ab Revision 1905 bis zu derjenigen von 1949. Der bei Stillegung grösste Steinbruch *La Reyresse* nahm 1908 mit zehn Arbeitern die Aktivität auf (NIGGLI et al. 1915a), hatte aber 1967 nur noch eine geringe Aktivität (MOSER 1970). Dieser Bruch fehlt auf der Revision 1905, ist aber auf den Revisionen 1912, 1921, 1933 und 1949 von Blatt Nr. 456 Chardonne der Siegfriedkarte 1:25'00 markiert. Die Brüche wurden ab den 1920er Jahren aufgegeben und teilweise zugeschüttet. GSCHWIND et al. (1936) verzeichnen auf ihrer Karte 1:200'000 nur noch vier aufgelassene Steinbrüche, während auf der Karte 1:25'000 von WEIDMANN et al. (1993) sechs aufgelassene Brüche eingetragen sind, wovon einer mit episodischer Aktivität. Ein weiterer figuriert NNE des Dorfes Granges und ein anderer aufgelassener Bruch westlich Bossonnens. Laut schriftlicher Mitteilung von G. PAPI (Service cantonal des constructions et de

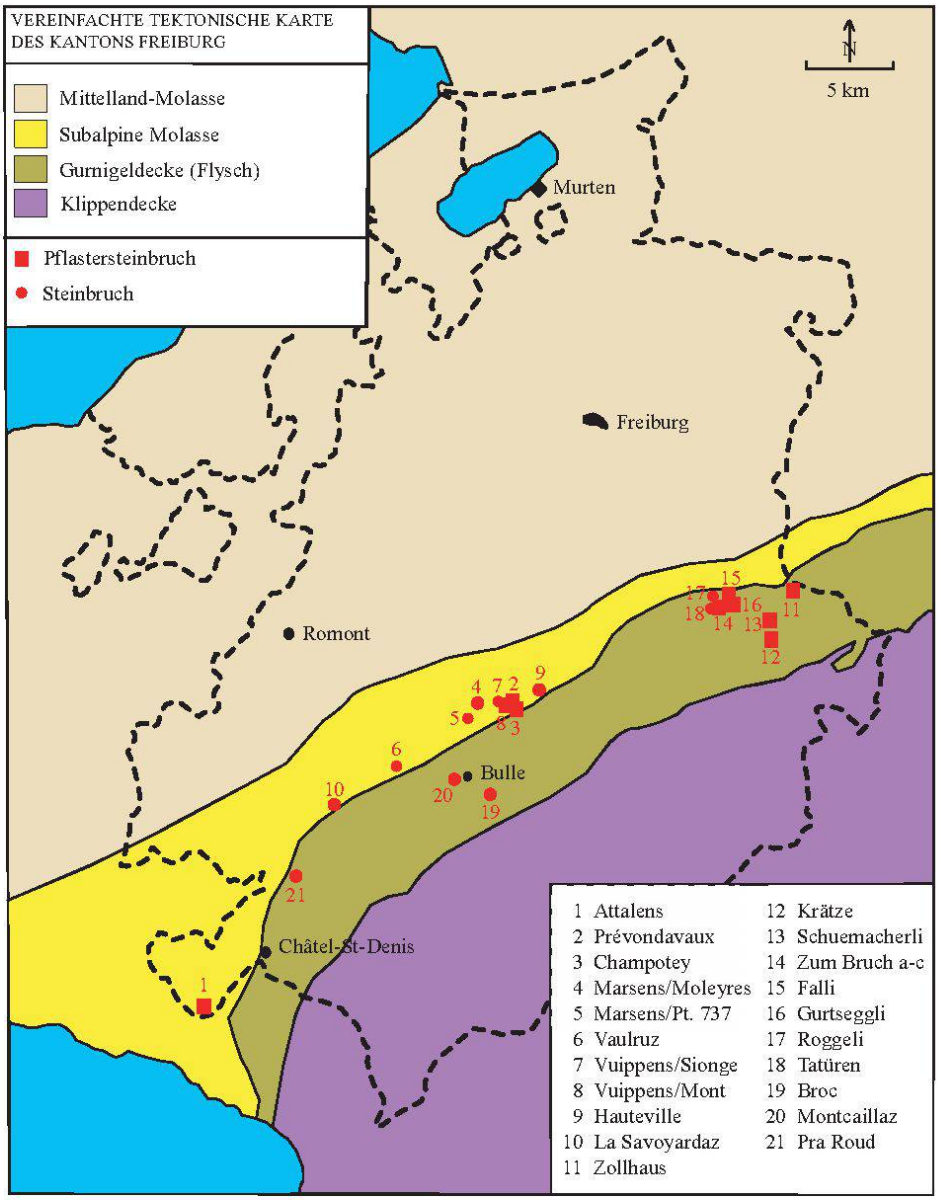


Abb. 3: ***Vereinfachte tektonische Karte des Kantons Freiburg (nach SPICHER 1972). Eingetragen sind die Hartsandsteinbrüche in der subalpinen Molasse und im Flysch. Unter Attalens sind elf und unter Vaulruz drei Brüche zusammengefasst.***

l'aménagement,18.9.2003) war der Steinbruch *Au village* von 1955 bis 1977, derjenige von *La Rotta* von 1961 bis 1982 und zwei weitere ohne Lokalnamen bis 1977 in Betrieb. Haupterzeugnis waren Pflastersteine, wie dies NIGGLI et al. (1915a, S. 48): „Die Hauptverwendung ist die als Pflastersteine.„ und DE QUERVAIN (1969, S. 206): „Erzeugt wurden Pflastersteine, Mauersteine, Strassenschotter, seltener Hausteine." berichten. Die Hausteine wurden für Mauern und Treppen in den Rebgärten sowie für Bauten in Chardonne (Néroud), Oron (Valle) und Vevey (Ronchy) verwendet (NIGGLI et al. 1915a). Die Druckfestigkeit des gewonnenen trockenen Materials aus dem nicht näher lokalisierbaren Steinbruch „Carrière au bas du village, Michel Carminati" (DE GIRARD 1896) betrug 1'629 kg/cm^2 (Mittel dreier Messungen, MEISTER et al. 1884).

3.1.2 Die Steinbrüche in der Unteren Meeresmolasse UMM (Unterer Greyerzbezirk)

Sie befinden sich im *Grès de Vaulruz* (Mittleres Oligozän, Rupélien, Geologische Zeitskala: 54.4-29.3 Mio. Jahre), der von DE GIRARD (1900), MORNOD (1945, 1949), EMMENEGGER (1961), FASEL (1981), WEIDMANN et al. (1982), DIEM (1986) und PASQUIER (2005) sehr detailliert untersucht wurde. Die feinkörnigen Sandsteinschichten der Vaulruz-Molasse eigneten sich vorzüglich für die Gewinnung von Schleifsteinen, was sich auch in der lokalen Typonomie niederschlug, wie beispielsweise in den Flurnamen *Mollettes* und *Moleyres* (DAMM 1909). Laut NIGGLI et al. (1915a, S. 48) wurden die Sandsteine zu Hausteinen, Bruchsteinen, Plattensteinen und Pflastersteinen verwendet, laut DE QUERVAIN (1969, S. 206) „... sind *Mauersteine*, *Pflastersteine*, *Schalensteine* und mancherlei Hausteine, wie Treppenstufen, Sockel, Randsteine, auch Brunnentröge, Fensterbänke und Fassadensteine gewonnen worden."

Die Molasse-Steinbrüche von **Corbières/Prévondavaux** (in der Literatur auch Corbières/Praz-Jolivet genannt, Abb. 4) sollen gemäss MOSER (1970), ausgehend von der Schleifsteinproduktion, seit der zweiten Hälfte des 19. Jh. bis ca. 1930/32 für die Bausteinproduktion aktiv gewesen sein. Sie fehlen aber in der Erstausgabe von Blatt 360 Riaz der Siegfriedkarte 1:25'000 von 1888 sowie in der Revision von 1902 und erscheinen erst ab der Revision 1911. Auf der geotechnischen Karte von GSCHWIND et al. (1936) sind für Corbières/Prévondavaux und Echarlens/Champotey je zwei aufgegebene und im Betrieb befindliche Plasterstein- und Bruchsteinbetriebe eingetragen. Aus einem dieser Steinbrüche stammt das Material, das 1929 für die Fassaden des Bahnhofneubaus in Freiburg verwendet wurde (BOLLIN 1996). Ein Steinbruch war noch Mitte des 20. Jh. aktiv (PASQUIER 2005).

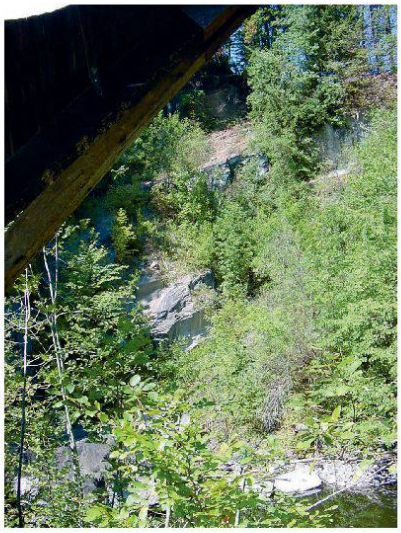


Abb. 4: ***Verfallener Steinbruch Corbières/Prévondavaux (links) mit aufgelassenem Lager von Grenzsteinen (rechts). Photo MARINO MAGGETTI 14.9.2003.***

Die nahe gelegenen Steinbrüche von **Echarlens/Champotey** sollen 1860 (Bruch nächst der Brücke von Corbières), 1896 (Bruch *Au Pont*, oben am Gehänge) und 1905 eröffnet worden sein, und beschäftigten im Schnitt je 20-25 Arbeiter (MUSY 1884, NIGGLI et al. 1915a). Die Eröffnung erfolgte sicher schon einige Jahre früher, denn laut STUCKART (1856) wurden im Jahre 1856 von Bulle bzw. aus dem Greyerzbezirk 5'000 Zentner *Pierre de Champotey (Molasse subalpine)* exportiert. Die Oltner Baumaterialien-Ausstellung von 1865 wurde mit Schleifsteinen (Katalog-Nr. 449, 450, 451: exportiert in die französische Schweiz, nach Savoyen und nach Frankreich) und Sandsteinplatten (Katalog-Nr. 428, 429; Verwendung zu Stufen, Plattformen, usw.) beschickt

(MÜLLER 1866). GILLIÉRON (1873, 1885) erwähnt die Existenz vieler Brüche. Es wurden Hau-, Mauer-, Fassaden- und Bruchsteine sowie Treppenstufen, Terrassen- und Bodenplatten für den Bau öffentlicher Gebäude in Bern (Renovation des Kornhauses), Freiburg (Bibliothek, Universität), Genf, Lausanne (Collège, Palais de Rumine), Montreux, Neuenburg (Hôtel des Postes), Nyon (Collège), St. Gallen, Vevey (Grand Hôtel) und Zürich sowie Pflastersteine gewonnen (NIGGLI et al. 1915a, TERCIER et al. 1945, MOSER 1970). Die Bänke mit bester Qualität wurden aber schon seit Jahrhunderten als Mühl- und Schleifsteine abgebaut (KUENLIN 1832, I, S. 152, MUSY 1884, BUESS 1920, MOSER 1970). Auch GILLIÉRON (1885) erwähnt einen Bruch in Champotey. Auf Blatt Nr. 360 Riaz der Siegfriedkarte 1:25'000 erscheint in der Erstausgabe 1888 nur ein Bruch westlich der Brücke nach Corbières, zu dem sich dann ab Revision 1902 weitere Brüche gesellen. 10 Tonnen Pflastersteine aus diesen Steinbrüchen dienten am 30.9.1903 der Test-Belastung der Hängebrücke von Corbières (GREMAUD 1904, BLANC 1999). Um 1930/35 waren die Steinbrüche praktisch aufgegeben und wurden nur noch sehr sporadisch benutzt (MOSER 1970). Die Druckfestigkeit ist laut MEISTER et al. (1884) mit 884 kg/cm^2 (Mittel dreier Messungen) nicht sehr hoch und steht im Widerspruch zu den 1'586 kg/cm^2 (trocken) bzw. 1'334 kg/cm^2 (nass) von NIGGLI et al. (1915a).

Am ganzen Hang zwischen Marsens und Vaulruz waren früher einige Steinbrüche in Betrieb, die nicht mehr alle sicher zu lokalisieren sind (BUESS 1920). Die zwei grössten sind diejenigen von **Marsens/Sous les Moleyres** und **Marsens/Pt. 737 bzw. 733** (DE GIRARD 1896, DAMM 1909, BUESS 1920). An der Oltner Ausstellung von 1865 waren eine Sandsteinplatte (Katalog-Nr. 430: in der Umgebung verwendet zu Fussböden, Mauerplatten,Treppen usw.) und acht Schleifstein-Muster (Nr. 441-448: exportiert in die Westschweiz, nach Savoyen und Frankreich) ausgestellt (MÜLLER 1866). Die Brüche waren im Jahre 1873 noch in Betrieb und beschäftigten damals bis zu vierzig Arbeiter, 1915 aber nur noch fünf (NIGGLI et al. 1915a). Der Steinbruch *Sous les Moleyres* ist auf der Erstausgabe von 1888 und auf allen Revisionen bis 1946 von Blatt Nr. 360 Riaz der Siegfriedkarte 1:25'000 eingetragen. GILLIÉRON (1885) nennt ihn „Steinbruch südlich von Marsens". BUESS (1920) erwähnt die kürzliche Eröffnung zweier Steinbrüche ohne nähere Angaben, um welche es sich handelt. Zu Beginn des 20. Jh. wurden Mauersteine, Treppenstufen und Fassadensteine gebrochen (NIGGLI et al. 1915a), die nach Bern, Bulle, Freiburg (Café National, Neubauten am Pérolles-Boulevard), und Lausanne (Bundesgericht, Kaserne) verkauft wurden. Die Innentreppen der 1897-1900 erbauten, jetzigen Telekomzentrale am Square des Places 3 in Freiburg (altes Postgebäude), bestehen aus blaugrauem Marsens-Sandstein (BOLLIN 1996). Die Literatur gibt keine Hinweise darauf, ob auch Pflastersteine gewonnen wurden. *Marsens/sous les Moleyres* war Mitte des 20. Jh. schon seit langem stillgelegt, denn MORNOD (1949, S. 59) schreibt: „A la carrière de Sous-les-Moleyres, au SW de Marsens, abandonnée et envahie par la végétation, ...".

Auch die Molasse vom Schlosshügel von **Vaulruz** wurde vor dem 19. Jh. als Rohstoff für die Mühlstein- und Schleifsteinherstellung genutzt (KUENLIN 1832, II, S. 401), wie dies schon die alten Flurnamen *Mollettes* und *Praz Moletu* belegen (BUESS 1920). STUCKART (1856) erwähnt den Export von Mühlsteinen aus Vaulruz. Drei Sandsteinplatten waren an der Oltner Ausstellung von 1865 zu sehen (Katalog-Nr. 425-427, MÜLLER 1866). Solche Platten wurden in den Kantonen Freiburg, Genf und Waadt für Tür- und Fensterrahmen, Sockelmauern, Plattformen, Mauerbedeckungen und Bodenplatten verwendet. Die Steinbrüche waren gegen Ende des 19. Jh. sehr aktiv, und ihr Material erhielt an der Landesausstellung 1883 in Zürich eine Auszeichnung (MUSY 1884, NIGGLI et al. 1915a). GILLIÉRON (1885) erwähnt einen Steinbruch in Vaulruz, leider ohne genaue Angabe des exakten Standortes. Blatt Nr. 359 Vaulruz der Siegfriedkarte 1:25'000 verzeichnet in der Erstausgabe von 1889 einen, ab Revision 1902 zwei Steinbrüche. Der erstgenannte fehlt in der Revision von 1946. Treppenstufen und Hausteine aus Vaulruz wurden 1892 an der kantonalfreiburgischen Ausstellung (Exposition industrielle cantonale) präsentiert. Der Hartsandstein von Vaulruz war damals sehr gefragt für die Herstellung von Treppen, Terrassen, Fensterplatten, Gesimsen usw. und wurde nach Freiburg (Kantons- und Universitätsbibliothek, Hôtel Terminus, Universität), Lausanne (NIGGLI et al. 1915a) und Vevey (MUSY 1884) geliefert.

Der Nekrolog des Steinbruchbetreibers Alfred Masset (ANONYMUS 1912) liefert wertvolle Hinweise zur sukzessiven Verlagerung der Steinbrüche und über deren Produktion. Laut BUESS (1920) waren in den 1920er Jahren „ ... nur mehr wenige Arbeiter temporär in den Brüchen ... beschäftigt". Die Druckfestigkeit (trocken) betrug nur 1'101 kg/cm^2 (Mittel dreier Messungen, MEISTER et al. 1884), ungeeignet für Pflastersteine. Auf der geologischen Karte 1:25'000 Blatt Moudon sind drei aufgelassene Steinbrüche kartiert (GABUS et al. 2000, GABUS 2000).

Der an der Sionge gelegene Steinbruch von **Vuippens/Sionge** wurde 1885 (NIGGLI et al. 1915a) oder 1895 (BUESS 1920) eröffnet und stürzte laut BUESS im Jahre 1910 ein. Er war vor 1915 verlassen (NIGGLI et al. 1915a). Das gebrochene Material diente hauptsächlich für die Herstellung von Treppenstufen. Im Jahre 1910 wurde dann in der Gemarkung **Sur les Monts** der Gemeinde Vuippens ein neuer Steinbruch eröffnet (BUESS 1920, MORNOD 1949, MOSER 1970). Er fehlt auf den Revisionen 1911 und 1921 von Blatt Nr. 360 Riaz der Siegfriedkarte 1:25'000, ist aber auf derjenigen von 1931 verzeichnet. Aus diesem Bruche stammen beispielsweise die Pflastersteine, die 1915 auf dem Vorplatz der Kirche von Farvagny verlegt wurden (BOVET 1992, S. 29). Dieser Bruch liegt in der gleichen Molasseschuppe wie die Abbaustellen von *Echarlens/Prévondavaux*. Die über hundert Arbeiter der Steinbrüche von Vuippens und Corbières stammten aus Italien - eine grosse Zahl für die ca. 250 Dorfeinwohner (BLANC 1999, PHILIPONA & PHILIPONA ROMANENS 2000).

Neben diesen Haupt-Steinbrüchen gibt es folgende, nicht mehr zugängliche oder nicht mehr lokalisierbare Abbaustellen. Zur ersten Kategorie zählen die Steinbrüche von **Hauteville/Ruisseau du Ruz/Aux Farvages** (DAMM 1909, MORNOD 1949), und **Semsales/La Savoyardaz** (*La Rapaz* RUDHART 1914; DE GIRARD 1896, DAMM 1909, ANONYMUS 1912, BUESS 1920, MORNOD 1949). Letzterer ist schon auf der Erstausgabe 1889 von Blatt Nr. 359 Vaulruz der Siegfriedkarte 1:25'000 eingetragen. Auf der geologischen Karte 1:25'000 von GABUS et al. (2000) ist er als verlassen dargestellt. Nicht lokalisierbar sind **Riaz/Sur les Monts** (DE GIRARD 1896) – handelt es sich evtl. um den von BUESS (1920) erwähnten kürzlich eröffneten Steinbruch bei der Ruine Chaffa? – und **Semsales/Joux-des-Ponts** (DE GIRARD 1896), der sich wohl ganz in der Nähe vom Savoyardaz-Bruch befunden haben wird, wie dies der Flurname *Joux des Ponts* 1 km südlich des Bruches nahe legt.

Auf der Karte 1:25'000 von MORNOD (1949, Planche II) sind je ein Steinbruch bei *Echarlens/Champotey* und *Vuippens/Sur le Mont* sowie zwei Steinbrüche bei *Vaulruz* eingetragen. PASQUIER (2004) verzeichnet auf Blatt 1225 Gruyères des geologischen Atlasses der Schweiz 1:25000 aufgelassene Steinbrüche bei *Corbières/Prévondavaux*, *Echarlens/Champotey*, *Marsens/Sous les Moleyres*, *Marsens/Pt. 737*, *Vuippens/Sionge* und *Vuippens/Sur le Mont*.

3.2 Die Steinbrüche in der Gurnigeldecke (Schwarzsee, Plasselbschlund, Unteres Greyerz)

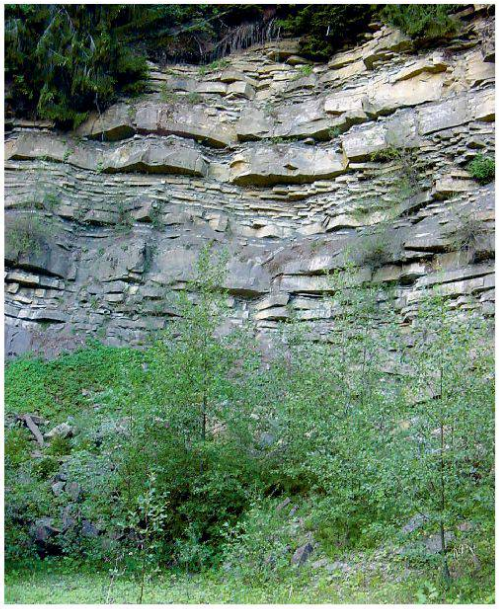
Die Brüche wurden alle im *Flysch du Gurnigel* der sog. Gurnigeldecke angelegt, der während etwa 20 Millionen Jahre sedimentiert wurde, vom Maestrichtien (Oberste Kreide, Geologische Zeitskala: 74 – 64 Mio. Jahre) bis zum mittleren Lutet (Mittleres Eozän, Geologische Zeitskala: 42.1 – 50 Mio. Jahre). Mit den wissenschaftlichen Aspekten dieser Gesteine befassten sich CARON (1976), VAN STUIJVENBERG et al. (1976), WEIDMANN et al. (1976), VAN STUIJVENBERG (1979), MOREL (1980), CARON et al. (1980), WINKLER (1983), CARON et al. (1989) und WEIDMANN (1993). DE QUERVAIN (1969, S. 201) schreibt: „Das wichtigste Produkt der Flyschsandsteine sind *Pflastersteine*, die heute weit vorwiegend als *Schalen*- und *Bordsteine* dienen. Ein grosser Teil des Bedarfs der Schweiz an solchen Steinen wird aus diesen Sandsteinen bestritten."

Geschichtliche und technische Hinweise zu den Steinbrüchen und dem dort gewonnen Material sind rar. Der älteste Steinbruch scheint derjenige von **Plaffeien/Zollhaus** zu sein, in der älteren Literatur wird er auch *Landbrücke* genannt. Er wurde anfangs 1870 eröffnet und beschäftigte zu Beginn des

20. Jh. zeitweise bis zu 20-30 Arbeiter (BÜCHI 1930). Man erkennt ihn auf der Erstausgabe 1884 und auf allen revidierten Auflagen (1894-1948) von Blatt Nr. 350 Plasselb der Siegfriedkarte 1:25'000. Er befindet sich auf der Strasse in den Schwarzsee kurz vor der Brücke bei Zollhaus. An der Oltner Ausstellung von 1865 lagen zwei Quader eines „Kalksandsteins von Plaffeyen" vor, die wohl von diesem Bruche stammen (Katalog-Nr. 404, 408: Verwendung zu Bau- und Kunstarbeiten, Treppenstufen, beim Bau der Strasse von Plaffeyen zum Schwarzsee usw., MÜLLER 1866). Er ist der einzige Flysch-Steinbruch, der auf der Karte von WEBER & BROSI (1883) figuriert. Vorher scheint er nur sporadisch in Betrieb gewesen zu sein (MUSY 1884, DE GIRARD 1896). GILLIÉRON (1885) erwähnt diesen Steinbruch wie folgt: „ Les grès durs du flysch de la Berra ont été exploités pour pierre de taille, là où ils descendent au niveau de la plaine, savoir au midi de Plaffeyen...". GREMAUD (1898, S. 568) meint wohl diesen Bruch, wenn er schreibt: „Nous citerons à ce propos l'exploitation du grès du flysch dans la vallée du Lac-Noir à 15 kilomètres de Fribourg et utilisé au pavage des rues de La Chaux-de-Fonds et de Berne." Trotz ungünstigen Abbauverhältnissen (steile Schichten, Gefährdung der Kantonsstrasse) wurden insbesonders Pflastersteine, Platten und Sockelsteine gewonnen (MOSER 1970). Von dort stammten beispielsweise die Pfeiler und die Treppenstufen der am 31. Mai 1906 während des verheerenden Dorfbrandes abgebrannten Kirche von Plaffeien (BÜCHI 1930, S. 27). Der Abbau der Flysch-Sandsteine war zu Beginn des 20. Jh. gering und sporadisch (RUDHART 1914, S. 111). In seiner Rektoratsrede erwähnt der Freiburger Geologieprofessor Raymond DE GIRARD, dass im Steinbruch *Landbrücke* Flyschsandstein für Plastersteine abgebaut wird (DE GIRARD 1916, S. 42). Zwanzig Jahre später verzeichnen GSCHWIND et al. (1936) diese Abbaustelle als aufgegebenen Pflastersteinbruch.

Die anderen Steinbrüche im Gurnigelflysch wurden erst zu Beginn des 20. Jh. in Betrieb genommen. Im Schwarzseeschlund sind es zwei Abbaustellen. In **Plaffeien/Krätze** (Chretza, Kretza, Krätza), ganz in der Nähe des Schwarzsees, begann der Abbau im Jahre 1904. Dort waren zeitweise 10-30 Arbeiter beschäftigt und das Material wurde per Lastwagen bis nach Bern und in die Ostschweiz transportiert (BÜCHI 1930). Der Steinbruch ist als solcher auf Blatt Nr. 350 Plasselb der Siegfriedkarte 1:25'000 ab Revision 1918, und auf Blatt Nr. 364 Schwarzsee ab Revision 1917 eingetragen. Auf der Karte von GSCHWIND et al. (1936) ist er als aufgegebener Bruchsteinbruch eingetragen und hat wohl keine Pflastersteine produziert. Laut BECK (1926b) und BÜCHI (1930) besitzt der dortige Sandstein folgende Druckfestigkeiten: trocken 2'035 +/- 110/130 kg/cm^2, nass 2'114 +/- 131/76 kg/cm^2. In den Archiven und der Literatur findet der Steinbruch **Plaffeien/Schuemacherli** keine Erwähnung (Abb. 5).

Neben den Steinbrüchen im Tal der warmen Sense verdienen vor allem die Abbaustellen am oberen Ärgeralauf (Plasselbschlund) eine ausführliche Erwähnung. Die drei Steinbrüche **Plasselb/Zum Bruch a, b und c**, wurden ab 1926-1928 betrieben (BÜCHI 1930). *Zum Bruch a* lieferte jährlich ca. 100 Eisenbahnwaggons Steine nach Bern, Biel und Zürich. *Zum Bruch b* lieferte den Grossteil seines Materials nach Freiburg, Bern und Solothurn. Sie waren 1934 wohl noch kursorisch noch als Bruchsteinlieferanten in Betrieb (GSCHWIND et al. 1936). **Plasselb/Falli** (Abb. 5) wurde im Jahre 1909 mit sechs Arbeitern eröffnet (BÜCHI 1930). Dieser Pflastersteinbruch war 1934 nicht mehr in Betrieb (GSCHWIND et al. 1936). Die Druckfestigkeit betrug trocken 2'142 kg/cm^2 bzw. nass und nach 25maligem Gefrieren/Auftauen 2'177 kg/cm^2 (BÜCHI 1930). Der Bruch wurde am 1.4.2010 durch die Firma „Steinbruch Roggeli AG" (www.steinbruchroggeli.ch) mit Sitz in Plaffeien reaktiviert, worüber die Freiburger Nachrichten in mehreren Artikeln berichteten (18. 2.2008, 29.3.2008, 13.10.2009 und 22.6.2010). Der Steinbruch **Plasselb/Gurtseggli** konnte dank dem Bau der Strasse Plasselb – Falli – Höllbach im Jahre 1930 eröffnet werden (BÜCHI 1930). Dort arbeiteten laut mündlicher Mitteilung eines Einheimischen (14.9.2003) in den 70er Jahren ein bis zwei Italiener, bis der Abbau um 1983 stillgelegt wurde. GSCHWIND et al. (1936) bezeichnen die Abbaustelle aber als aufgelassenen Bruchsteinbruch. Wann die Aktivitäten der anderen Steinbrüche endeten, ist nicht bekannt, doch waren sie wohl in den 90er Jahren des 20. Jh. nicht mehr produktiv. Über den kleinen Steinbruch **Plasselb/Roggeli** ist nichts bekannt.



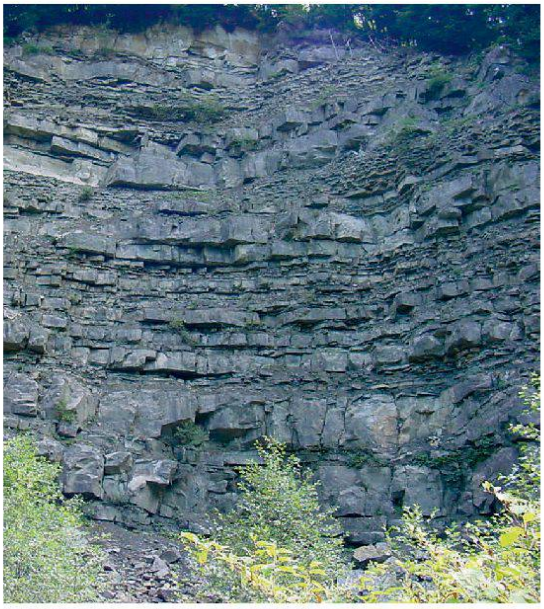


Abb. 5: ***Aufgelassene Steinbrüche Plaffeien/Schuemacherli (links) und Plasselb/Falli (rechts). Photos MARINO MAGGETTI 22.8.2003.***

Die fünf zuletzt genannten Steinbrüche fehlen in allen Auflagen der Siegfriedkarten 1:25'000. In den Erstausgaben 1951 der Blätter 505 Bulle-E und 506 Gantrisch-W der Landeskarte der Schweiz 1:50'000 figurieren nur die Steinbrüche *Plasselb/Zum Bruch a-c* und *Plasselb/Falli*. Auf der geologischen Karte der Schweiz 1:25'000 Gurnigel sind folgende Steinbrüche verzeichnet: *Plasselb/Falli, Plaffeien/Zollhaus, Plaffeien/Schuemacherli* (TERCIER & BIERI 1961), auf Blatt Rossens *Cerniat/Tatüren* und *Plasselb/Zum Bruch a-c* (WEIDMANN et al. 2002).

Der Steinbruch **Cerniat/Tatüren** ist der jüngste und immer noch noch aktive Abbau im Flyschgebiet. Er war laut BÜCHI (1930) im Jahre 1930 zwar in Betrieb, die schwierigen Transportverhältnisse erlaubten hingegen nur einen sporadischen Abbau. Er erscheint als Steinbruch ohne Zugang auf Blatt Nr. 347 La Roche der Siegfriedkarte 1:25'000 (Revision 1930), und mit Zufahrt in der 1946er Revision. Auf der Erstausgabe 1955 von Blatt 1205 Rossens der Landeskarte der Schweiz 1:25'000 ist der Bruch eingetragen. Seine Erreichbarkeit war damals nur mit einem Fussweg ab der Ärgera-Brücke gewährleistet. Auf den geotechnischen Karten der Schweiz 1:200'000 von 1934 und 1965 ist er als produzierender Pflastersteinbruch eingetragen (GSCHWIND et al. 1936, DE QUERVAIN et al. 1965). Nach 1934 wird er seine Aktivitäten eingestellt haben, denn er wurde 1947, kurz nach dem zweiten Weltkrieg, wieder eröffnet um Pflastersteine, Stellplatten, Bordüren, Mauer-, Marchsteine und andere Natursteinprodukte zu liefern (BOSSART 1982). Nach dem Krieg herrschte rege Nachfrage nach derartigen Produkten, da das Strassennetz während des Krieges vernachlässigt worden war (ANDEREGG 2002). Der grosse Bedarf an natürlichen Baustoffen erlaubte in den 60er und 70er Jahren die Anstellung von bis zu 25 Arbeitern. Laut SCHWARZ (1983) war er in den Jahren 1980/81 voll in Betrieb. BOLLIN (1996) erwähnt den Einsatz dieses Sandsteines beim Bau der Villa Noël am Boulevard de Pérolles (1904-05) und diversen Strassenpflästerungen der Stadt Freiburg (1988: Bürglentor-Höhe Loretokapelle; 1989-90: Oberer Abschnitt des Kurzweges; 1995: Romontgasse; sowie Pflästerungen um den Brunnen der Stärke und auf der St. Johannbrücke).

Die Flysch-Steinbrüche bei **Broc/Vers le pont de la Sarine**, bei **Bulle/Montcaillaz** (auch *Sur Mont Caliard* genannt) und bei **Semsales/Pra Roud** wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da ihre zeitliche Tätigkeit schlecht einzuschätzen ist, vor allem aber, weil sie nicht mehr existieren. Es ist gänzlich unbekannt, wann der von MUSY (1884), GILLIÉRON (1885), DE GIRARD (1896), MORNOD (1949), MOSER (1970) erwähnte Steinbruch *Vers le pont de la Sarine* aktiv war. Laut NIGGLI et al. (1915a, S. 363) soll bei der im 16. Jh. erbauten Saanebrücke von Broc ein aus der unmittelbaren Nähe der Brücke gebrochener harter Sandstein verwendet worden sein. Dieser Bruch war scheinbar noch Ende des 19. Jh. im Betrieb, denn die Unternehmer Gippa & Folghera aus Bulle beschickten die Ausstellung 1892 in Freiburg mit Pflastersteinen aus „grès de Broc" (SOCIÉTÉ FRIBOURGEOISE DES ARTS ET MÉTIERS 1892, S. 105). Im Inserat verweisen sie auf ihre „Carrière de grès dur, à Broc" (SOCIÉTÉ FRIBOURGEOISE DES ARTS ET MÉTIERS 1892, Inseratenteil, S. 62). Der Steinbruch beschickte vier Jahre später mit Mustern von Hau- und Pflastersteinen noch die Landesausstellung von 1896 in Genf (GREMAUD 1898). RUDHART (1914, S. 111) und DE GIRARD (1896) beschrieben ihn als intermittierend aktiv. MORNOD (1949, S. 71-72, Abb. 28) trug ihn als aufgegeben in seiner Detailkarte 1:12'500 ein. Er fehlt, wohl wegen Einsturzes und Zuschüttung, auf der geologischen Karte 1:25'000 Gruyères (PASQUIER 2004). Der Steinbruch *Montcaillaz* soll ca. 1910-1917 betrieben worden sein (BÜCHI 1923, BUESS 1920, MORNOD 1949, MOSER 1970). Er fehlt auf der Erstausgabe 1888 des Blattes Nr. 362 Bulle der Siegfriedkarte 1:25'000 und figuriert in den 1904er bis 1946er Revisionen. Auf der Karte GSCHWIND et al. (1936) figuriert er als aufgegebene Abbaustelle. Laut WEIDMANN (1993) wurde viel Sandstein im Bruch *Pra Roud* bei Semsales gebrochen und man erkennt denn auch an dieser Stelle das Steinbruchsignet auf der Karte von GAGNEBIN (1922). Leider gibt er nicht an, ob der Bruch zu diesem Zeitpunkt aufgegeben war oder nicht. Dieser Steinbruch war wohl nicht sehr lange aktiv, denn er wird in der für die Abb. 6 verwendeten Literatur nicht erwähnt. Er fehlt auf der 1911er Revision von Blatt Nr. 455 Châtel-St.-Denis der Siegfriedkarte 1:25'000, erscheint dann auf den 1931er und 1949er Revisionen, aber mit dem Waldsignet im Abbau-Areal, ein Zeichen, dass er in den dreissiger Jahren des 20. Jh. schon aufgegeben war.

3.3 Von der subalpinen Molasse zum Flysch

Die vorhergehende Diskussion hat gezeigt, wie schwierig es ist, genaue Daten zum Beginn und zum Ende der Aktivitäten eines Steinbruchs zu erhalten. Neben der Auswertung der archivalischen Dokumentation, der Literatur und den geologischen Karten wurden im Archiv der *Swisstopo* in Wabern alle Auflagen der Siegfriedblätter 1:25'000 Nr. 347 La Roche (Erstauflage 1885, letzte Revision 1946), Nr. 350 Plasselb (1884, 1948), Nr. 359 Vaulruz (1889, 1946), Nr. 360 Riaz (1888, 1946), Nr. 361 La Berra (1888, 1946), Nr. 362 Bulle (1888, 1946), Nr. 364 Schwarzsee 1897, 1948), Nr. 454 Oron (1890, 1949), Nr. 455 Châtel-St.-Denis (1889, 1949) und Nr. 456 Chardonne (1891, 1949) durchgesehen. Der Vergleich mit den geologischen Karten, auf denen die Steinbrüche mit einem Symbol dargestellt sind, zeigt, dass auf den Siegfriedblättern kleinere Steinbrüche nicht spezifisch dargestellt wurden und dass es schwierig ist, nicht abgebaute Felsausbisse von in geringem Umfange ausgebeuteten zu unterscheiden. Die Inbetriebnahme eines Bruches ist allgemein schwierig zu erfassen, aber auch dessen Ende, denn ein Steinbruch kann noch während einer langen Zeit mehr oder weniger regelmässig betrieben werden – ist er als aktiv zu klassieren? Glücklicherweise gibt es, neben den vorgängig zitierten geologischen, auch einige geotechnische Karten, welche die Situation der schweizerischen Steinbrüche zu einem bestimmten Zeitpunkt wiedergeben. Dazu gehören:

a) Die Karte von WEBER & BROSI (1883) im Masstab von ca. 1:520'000, die im Rahmen der Schweizerischen Landesausstellung 1883 in Zürich editiert wurde (STRENG 1884, SCHERTENLEIB 1993, S. 42).

Die Autoren unterscheiden nach Art der Ausbeutung aktive und ehemalige Steinbrüche und geben bei den Signaturen auch den abgebauten Gesteinstyp an. Auf dieser Karte sind, nicht immer ganz korrekt beschriftet, folgende Hartsandstein-Steinbrüche als in Betrieb verzeichnet: *Attalens* (zwei aktive und ein ehemaliger), *Echarlens/Champotey* (Mühlsteinbruch), *Vaulruz* (ein Steinbruch), *Vuippens* (wohl *Vuippens/Sionge*) und *Plaffeien/Zollhaus*. Die Karte erwähnt zudem noch einen, in der Literatur unerwähnten, Sandsteinbruch bei Villarvolard. Handelt es sich hier um eine falsche Eintragung oder ist *Hauteville/Ruisseau du Ruz/Aux Farvages* gemeint?

b) Die Steinbruchkarte 1:530'000 der Landesausstellung 1914 in Bern (NIGGLI et al. 1915b).

Auf dieser Karte werden aktive von aufgelassenen Steinbrüchen unterschieden und nach Jahresproduktion klassiert. Die Hartsandsteinbrüche von *Attalens* (ein Signet), *Corbières/Prévondavaux*, *Echarlens/Champotey*, *Marsens*, *Vaulruz*, *Plaffeien/Krätze* und *Plaffeien/Zollhaus* sind mit einer Jahresproduktion von 500-5000 m^3, der Steinbruch *Vuippens* mit einer solchen von weniger als 500 m^3 kartiert. Alle gehören zu den aktiven Brüchen.

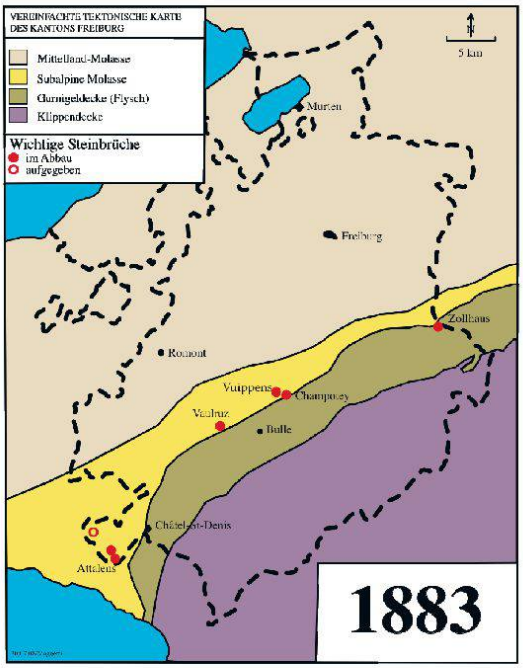
c) Blatt 3 der geotechnischen Karte der Schweiz 1:200'000, Erstausgabe 1936 (GSCHWIND et al. 1936), mit den entsprechenden Erläuterungen (NIGGLI und DE QUERVAIN 1936).

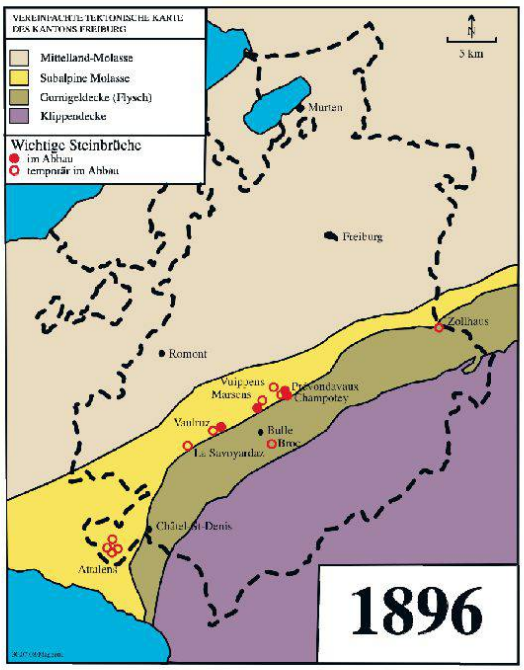
M. GSCHWIND nahm in den Jahren 1930-1933 die Ausbeutungsstellen auf. Die Karte unterscheidet zwei Arten von Steinbrüchen: a) in „grösserem Umfang ausgebeutete" und b) „in kleinerem Umfange oder gelegentlich ausgebeutete, wichtige aufgelassene Ausbeutestellen". Zum Typ a gehören: *Cerniat/Tatüren* (vorwiegend Pflaster- und Bruchsteine), *Corbières/Prévondavaux*, *Echarlens/Champotey* (je ein Steinbruch für Pflastersteine) und *Plasselb/Zum Bruch a-c* (vorwiegend Strassenbau- und Bruchsteine). Zum Typ b gehören: *Attalens* (je zwei Steinbrüche für Hau- und Strassenbaugesteine), *Bulle/Montcaillaz* (vorwiegend Strassenbau- und Bruchsteine), *Corbières/Prévondavaux* und *Echarlens/Champotey* (je ein Steinbruch für Pflastersteine), *Plaffeien/Zollhaus* (Pflastersteine und Bruchsteine), *Plaffeien/Krätze* (vorwiegend Strassenbau- und Bruchsteine), *Plasselb/Falli* (Pflaster- und Bruchsteine) und *Plasselb/Gurtseggli* (vorwiegend Strassenbau- und Bruchsteine).

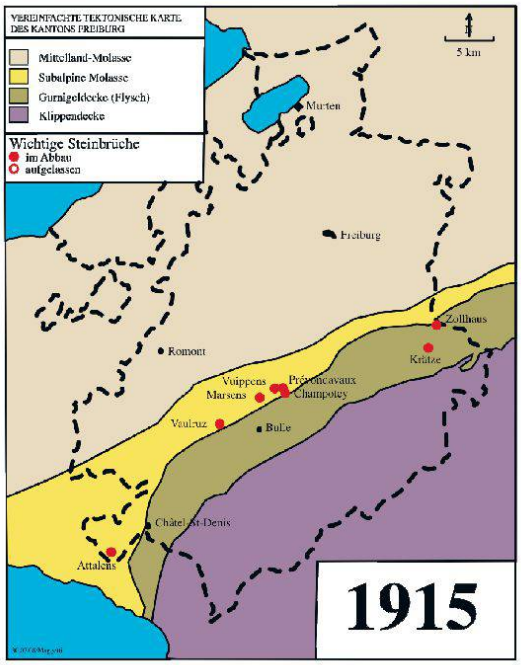
d) Blatt 3 der geotechnischen Karte der Schweiz, Zweite Auflage 1965 (DE QUERVAIN et al. 1965), mit den entsprechenden Erläuterungen (DE QUERVAIN & FREY 1965).

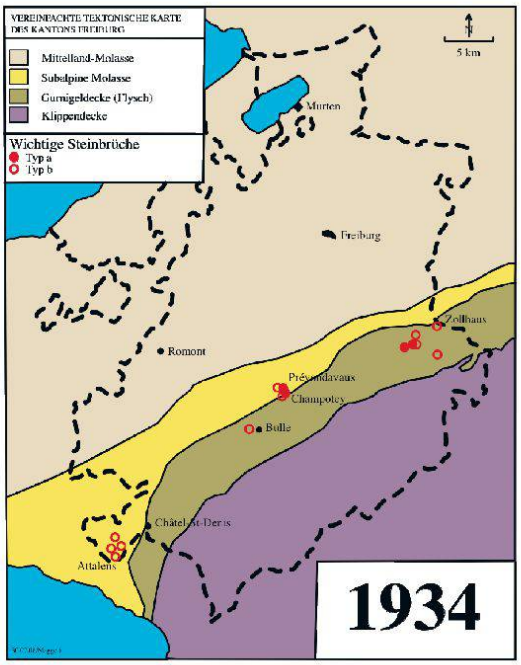
Die Autoren nahmen für diese Karte in den Jahren 1962-1964 alle aktiven Gewinnungsstellen neu auf. Im Kanton Freiburg verzeichneten sie als regelmässig betriebene Steinbrüche *Cerniat /Tatüren* („Wichtige Erzeugung von Pflaster- und Schalensteinen") und *Plasselb/Roggeli* („Steinbruch für Bruchsteine und Schotter"). Als unregelmässig betriebene, aber zur Zeit der Aufnahme in betriebsbereitem Zustand befindliche Steinbrüche sind eingetragen: *Attalens* („Steinbruch für Bruchsteine und Schotter") sowie *Plasselb/Zum Bruch a-c*, *Plasselb/Falli*, *Plasselb/Gurtseggli*, *Plaffeien/Krätze*, *Plaffeien/Schuemacherli* und *Plaffeien/Zollhaus*, alle klassiert als „Wichtige Erzeugung von Pflaster- und Schalensteinen".

Diese Karten und die Angaben von DE GIRARD (1896) bilden die Grundlage der Abb. 6.


VEREINFACHTE TEKTONISCHE KARTE DES KANTONS FREIBURG
Mittelland-Molasse
Subalpine Molasse
Gurnigeldecke (Flysch)
Klippendecke
Wichtige Steinbrüche
im Abbau
aufgegeben
5 km
Murten
Freiburg
Zollhaus
Romont
Vuippens
Champotey
Vaulruz
Bulle
Châtel-St-Denis
Attalens
1883


VEREINFACHTE TEKTONISCHE KARTE DES KANTONS FREIBURG
Mittelland-Molasse
Subalpine Molasse
Gurnigeldecke (Flysch)
Klippendecke
Wichtige Steinbrüche
im Abbau
temporär im Abbau
5 km
Murten
Freiburg
Zollhaus
Romont
Vuippens
Marsens
Champotey
Vaulruz
Bulle
Bux
La Savoyandaz
Châtel-St-Denis
Attalens
1896


VEREINFACHTE TEKTONISCHE KARTE DES KANTONS FREIBURG
Mittelland-Molasse
Subalpine Molasse
Gurnigeldecke (Flysch)
Klippendecke
Wichtige Steinbrüche
im Abbau
aufgelassen
5 km
Murten
Freiburg
Zollhaus
Kräze
Romont
Vuippens
Marsens
Champotey
Vaulruz
Bulle
Châtel-St-Denis
Attalens
1915


VEREINFACHTE TEKTONISCHE KARTE DES KANTONS FREIBURG
Mittelland-Molasse
Subalpine Molasse
Gurnigeldecke (Flysch)
Klippendecke
Wichtige Steinbrüche
Typ a
Typ b
5 km
Murten
Freiburg
Zollhaus
Romont
Champotey
Bulle
Châtel-St-Denis
Attalens
1934

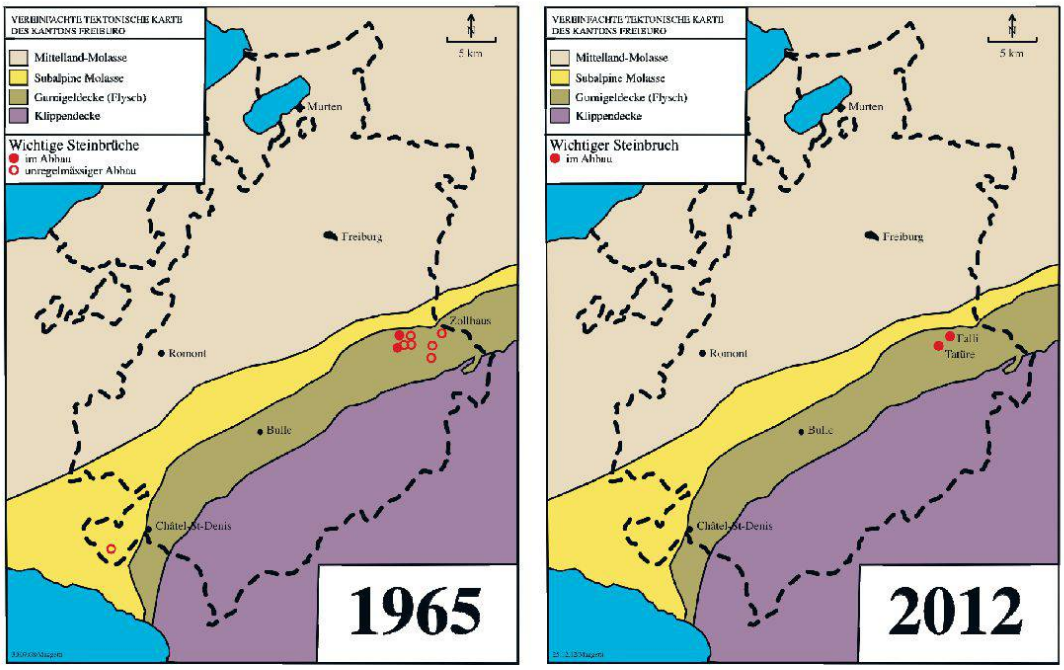


Abb. 6: ***Zeitliche Evolution der Steinbruchindustrie in der subalpinen Molasse und in der Gurnigeldecke. Lage der Steinbrüche und deren Klassifizierung gemäss WEBER & BROSI (1883), DE GIRARD (1896), NIGGLI et al. (1915b), GSCHWIND et al. (1936) und DE QUERVAIN et al. (1965).***

Im 19. Jh. lagen fast alle Hartsandsteinbrüche in der subalpinen Molasse, von denen vier Pflastersteine lieferten. Anfangs des 20. Jh. wurden dann immer mehr neue Steinbrüche im Flysch eröffnet, die fast alle Pflastersteine produzierten. Der Wechsel von einem Sandstein zum anderen beruht wohl auf der höheren Druckfestigkeit der Flysch-Sandsteine (2'000-2'500 kg/cm^2) im Vergleich zu denjenigen der subalpinen Molasse (1'600-1'800 kg/cm^2), s. Abb. 2. Dieser Aspekt wurde immer wichtiger, da die Belastung der Strassen durch den zunehmenden Verkehr, jedoch vor allem durch die schwereren Fahrzeuge, den Druck auf die Unterlage erhöhten. Dazu kam die Konstruktion neuer Strassen in die vormals noch unerschlossenen Flyschregionen ab ca. 1920. Ein einziger Steinbruch, *Cerniat/Tatüren*, konnte sich bis ins 21. Jh. halten, ein zweiter, *Plasselb/Falli*, nahm im Jahr 2010 die Produktion wieder auf.

4. Naturwissenschaftliche Differenzierung der Sandsteine

4.1 Probennahme

Basierend auf den Literatur- und Dokumentationsrecherchen wurden im Jahre 2003 möglichst alle aktive und aufgelassene freiburgische Sandsteinbrüche der subalpinen Molasse und des Flysches besucht, fotografiert und soweit als möglich beprobt (Tab. 2). Der Erstautor M.M. führte dies für alle Steinbrüche durch, mit Ausnahme desjenigen von *Cerniat/Tatüren*, der von J. C. beprobt wurde. Sie holte auch die Vergleichsproben aus dem Steinbruch *Guber/Alpnach*. Die meisten ehemaligen Abbaustellen der subalpinen Molasse sind leider entweder nicht mehr auffindbar (zugeschüttet) oder nicht mehr zugänglich (mit Wasser gefüllt), so dass sich die Beprobung auf Haldenmaterial beschränkte, wenn solches vorhanden war. Die acht freiburgischen Flysch-Sandsteinbrüche sind hingegen noch sehr gut erhalten und zugänglich, auch wenn die Probennahme wegen der hohen, instabilen Abbauwände nicht ohne Risiko erfolgte. Die Prospektionsarbeit ist

dennoch mit gewissen Unsicherheiten behaftet, da nicht gesichert ist, ob die genommenen Referenzproben effektiv den vor Jahrzehnten ausgebeuteten Sandsteinbänken entsprechen, da sich nicht alle Sandsteinlagen für die Herstellung von Pflastersteinen eignen. Aus diesem Grunde und um die verschwundenen oder nicht mehr zugänglichen Steinbrüche doch noch zu erfassen, wurde versucht, Referenzproben aus schweizerischen Gesteinssammlungen zu erhalten, die teilweise im Rahmen der grossen Ausstellungen des 19. und 20. Jahrhunderts angelegt wurden. Schweizerische Baumaterialien wurden an folgenden kantonalen und schweizerischen Ausstellungen der Öffentlichkeit präsentiert:

1865 Baumaterialien-Ausstellung in Olten (MÜLLER 1866, MOSER 1970)
1883 Landesausstellung in Zürich (WEBER & BROSI 1883, MEISTER et al. 1884, MOSER 1884, MUSY 1884, STRENG 1884)
1892 Exposition industrielle cantonale à Fribourg (SOCIÉTÉ FRIBOURGEOISE DES ARTS ET MÉTIERS 1892, GENOUD 1893, HUBER-BURCKHARDT 1893)
1896 Landesausstellung in Genf (DE GIRARD 1896, SCHMIDT 1896, GREMAUD 1898)
1914 Landesausstellung in Bern (NIGGLI et al. 1915a, PREISWERK 1916)
1939 Landesausstellung in Zürich (NATURSTEIN 1939).

Die Ausstellung schweizerischer Baumaterialien in **Olten** entstand auf Anregung und durch die Mitfinanzierung von verschiedenen Eisenbahngesellschaften, was auch die Wahl des Ortes erklärt. Olten war seit Ende der 1850er Jahre Verkehrsknotenpunkt der sich im Bau befindlichen Eisenbahnlinien. Mit dem Ausstellungsziel, die Hersteller von natürlichen und künstlichen Baumaterialien sollten ihre Produkte potentiellen Kunden vorstellen, war die Hoffnung der aufstrebenden Bahngesellschaften verbunden, viele Transportaufträge zu aquirieren: „... dass es sich lohnt, Baumaterialien der verschiedensten Art von einem Ende der Schweiz nach dem anderen zu senden." (MÜLLER 1866). Der aktuelle Verbleib der von 169 Steinbruchsbesitzern (MOSER 1970) ausgestellten Gesteine ist leider nicht mehr zu eruieren. Die Nr. 410, der einzige Pflasterstein des Kantons Freiburg, stammte aus dem Flussbett der Ärgera und wurde vom freiburgischen Brücken- und Strasseninspektor Montenach präsentiert. Der Pflasterstein und die Hausteine gleicher Provenienz wurden in Freiburg und Umgebung verwendet. Wie schon ausgeführt, beschickten auch die Steinbrüche von *Echarlens/Champotey, Marsens, Vaulruz und Plaffeien/Zollhaus* diese wichtige Ausstellung.

Die Baumaterialien bildeten 1883 in **Zürich** die Gruppe 18, in der 169 Gesteinsproben zur Schau gestellt wurden (MEISTER et al. 1884). Die Freiburger Steinbruchindustrie war mit acht Sandstein- und drei Kalkstein-Exponaten deutlich besser vertreten als 1865 in Olten. Darunter waren Schaustücke der Hartsandsteinbrüche aus *Attalens, Écharlens/Champotey und Vaulruz.*

Die kantonale Ausstellung des Sommers 1892 in **Freiburg** wurde von der *Société fribourgeoise des Arts et Métiers* organisiert und hatte den Zweck „... donner un tableau exact de l'activité industrielle du canton de Fribourg et d'éveiller le zèle des artisans et industriels..." (SOCIÉTÉ FRIBOURGEOISE DES ARTS ET MÉTIERS 1892, S. V). Im Katalog sind unter Gruppe XI nur wenig Hartsandsteinproduzenten aufgelistet. So stellte die *Société des Ingénieurs et Architectes du canton de Fribourg* in einem Spezialpavillon diverse Sandsteinproben aus (*Attalens* wird speziell erwähnt), während die Unternehmer Gippa und Folghera aus Bulle Pflastersteine aus Sandstein von *Broc* und der Steinbruchbesitzer Alfred Masset aus *Vaulruz* Treppenstufen und Hausteine ausstellte. Waren die anderen Steinbrüche nicht mehr aktiv oder deren Besitzer nicht genügend motiviert, an der Ausstellung teilzunehmen?

1896 wurden in der Landesausstellung in **Genf** 580 Proben aus der ganzen Schweiz ausgestellt und bilden jetzt die *Collection géotechnique du Musée d'Histoire Naturelle de Genève.* Die *Société fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes à Fribourg* nahm auch daran teil, deren

Ausstellungskonzept lobend erwähnt wurde (GREMAUD 1898, S. 591): „Elle a exposé le tableau graphique comparatif et statistique des principales carrières du canton de Fribourg avec échantillons et modèles. Sur ce tableau très bien compris et très instructif, figuraient pour chaque carrière: 1° la désignation de la localité et la nature de la pierre; 2 ° la vue photographique; 3 ° une carte au 1/25000 indiquant la situation géographique; 4 ° une coupe géologique; 5 ° l'usage et l'emploi de la pierre; 6 ° un bloc échantillon, taillé et travaillé différemment sur chaque face suivant que le comporte la pierre; 7 ° enfin des modèles et détails de construction exécutés à une échelle réduite afin de se rendre compte de l'utilisation de la pierre.
Il serait à désirer que, dans les futures expositions, un tableau de ce genre représentant les principales carrières de la suisse fût exposé."

Laut GREMAUD waren folgende freiburgische Hartsandsteinbrüche vertreten: *Attalens, Écharlens/Champotey* und *Pont de Broc*. Die Freiburger Exponate fehlen aber in der genannten Genfer Sammlung! Einige prächtig behauene Exemplare könnten aber eventuell der *Collection géotechnique du Museé d'Histoire naturelle de Fribourg* einverleibt worden sein (Abb. 7).

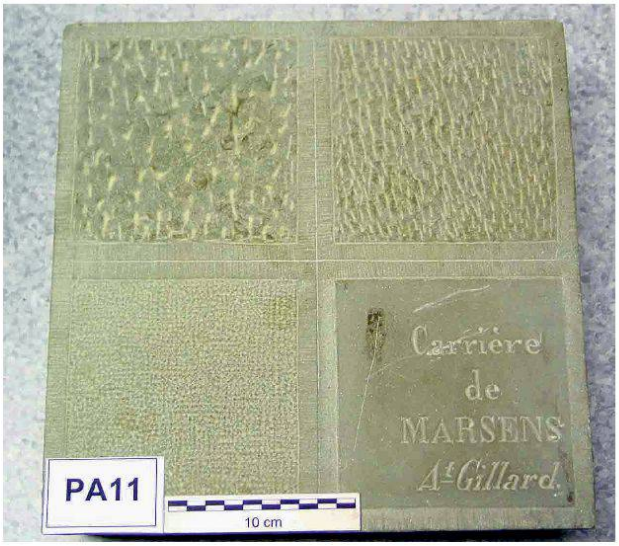


***Abb. 7:* Probe PA 11 aus dem Steinbruch von Marsens (Besitzer A. GILLARD) mit drei verschiedenen Oberflächen-Bearbeitungsvarianten. Sammlung Technische Geologie des Naturhistorischen Museums Freiburg, Inv. Nr. 20589. Photo MARINO MAGGETTI.**

Das an der Landeausstellung 1914 in **Bern** ausgestellte Material beruhte in wissenschaftlich-technischer Hinsicht auf den Arbeiten der 1900 gegründeten *Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft* (PREISWERK 1916, S. 19). Dazu zählen die Veröffentlichung von NIGGLI et al. (1915a) und die Steinbruchkarte 1:530'000 (NIGGLI et al. 1915b). In NIGGLI et al. (1915a) werden Hartsandsteinsproben folgender Steinbrüche aufgelistet: *Attalens/La Reyresse, Écharlens, Écharlens/Champotey, Écharlens/Pont de Corbières, Marsens/Combe, Vaulruz* und *Vuippens /Sionge*.

Schlussendlich konnten noch einige Stücke der DE QUERVAIN'SCHEN 1969er Sammlung der Schweizerischen Geotechnischen Kommission in Zürich beprobt werden.

Das Verschwinden der Steinbrüche in der subalpinen Molasse, die noch vor 150 Jahren aktiv waren, zeigt sehr deutlich, wie wichtig Referenzsammlungen solcher Zeugen ehemaliger gewerblicher Aktivitäten sind. Dank ihnen und eigener Prospektion konnten insgesamt 36 Proben aus dreizehn freiburgischen Steinbrüchen (Abb. 3) zusammengestellt werden (Tab. 2). Von neun

Proben (PA 32-39, 50) konnten wegen ihrer geringen Grösse nur Dünnschliffe verfertigt werden. Von den restlichen 27 Proben wurden sowohl Dünnschliffe als auch Pulver für die röntgenographische und chemische Analyse hergestellt. Zum Vergleich wurden zwei zusätzliche Proben aus dem noch aktiven Steinbruch *Alpnach/Guber* des Kantons Obwalden röntenographisch und chemisch untersucht. Damit beläuft sich die endgültige Anzahl Proben, die mikroskopisch, röntgenograpisch und chemisch analysiert wurde, auf 38. Um einen gesamtschweizerischen Überblick über die Hartsandsteine zu gewinnen wurden auch die umfangreichen Schliffsammlungen der geotechnischen Kommission in Zürich mikroskopiert. Zur mikroskopischen Untersuchung gelangten insgesamt 62 Dünnschliffe, aufgeteilt in 21 Schliffe von Sandsteinen der subalpinen Molasse (18 Schliffe aus kantonalfreiburgischen Steinbrüchen, ergänzt mit drei Schliffen aus drei ausserkantonalen Steinbrüchen: *Bouveret/Valais*; *Grandvaux/Vaud*; *Ralligen/Bern*) und in 41 Schliffe von Flysch-Sandsteinen (18 Schliffe aus kantonalfreiburgischen Steinbrüchen, ergänzt mit 23 Schliffen aus dreizehn ausserkantonalen Steinbrüchen: *Alpnach Guber/Obwalden*; *Attinghausen/Uri*; *Bolzbach Seedorf/Uri*, *Flüelen/Uri*; *Giswil/Obwalden*; *Kandergrund/Bern*; *Massongex/Valais*; *Matt Sernftal/Glarus*; *Monthey/Valais*; *Rüteli E Engelberg/Obwalden*; *Les Ténasses/Château d'Oex/Vaud*; *Sarnen/Obwalden*; *Schoried Guber /Obwalden*; *Val d'Illiez/Valais*).

4.2 Methodik

4.2.1 Probenvorbereitung

Von den insgesamt 38 Proben war nur von den im Feld gesammelten genügend Material für die chemische und röntgenographische Analyse vorhanden. Von diesen 29 Proben (PA 53 wurde nicht untersucht) wurden je 30 Gramm in einer Wolframkarbid-Mühle feingemahlen. Analytikerin: J.C.

4.2.2 Mikroskopische Analyse

Von den 38 Proben wurde je ein Dünnschliff hergestellt und mit einem Polarisationsmikroskop untersucht. Von jedem Schliff wurden Farbfotos bei verschiedenen Vergrösserungen gemacht (mit und ohne gekreuzte Polarisatoren). Die Schliffe PA 9, 13 und 53 wurden in abgedecktem Zustand mit Alizarinrot angefärbt, zur Identifizierung von Kalzit, Fe-Kalzit und Dolomit. Analytikerin: J.C.

4.2.3 Röntgenphasenanalyse

Die mineralogische Zusammensetzung wurde mit einem Röntgen-Diffraktometer PHILIPS PW 1800, Cu_{α}-Strahlung, 40 kV, 40 mA, 2Θ 2-65° durchgeführt. Analytikerin: J.C.

4.2.4 Chemische Analyse

Zur Ermittlung des Glühverlustes (GV) wurden 2 Gramm Pulver bei 1000°C während einer Stunde geglüht. Hierauf wurden 0.7 Gramm dieses kalzinierten Pulvers mit 6.650 Gramm MERCK Spektromelt A 10 ($Li_2B_4O_7$) und 0.350 Gramm MERCK Lithiumfluorid (LiF) homogen gemischt und bei 1150°C mit einem PHILIPS PERL X-2 zu einer Glaspille geschmolzen. Diese Glaspille wurde hierauf mit einem Röntgen-Spektrometer PHILIPS PW 2400 (Rhodium Anode, 60 kV und 30 mA) auf Haupt-, Neben- und Spurenelemente gemessen, unter Verwendung von 40 internationalen Geochemie-Standards. Der Fehler liegt unter 5 % für alle dosierten Elemente. Analytiker: V.S.

4.2.5 Statistik

Die Auswertung der chemischen Analysen erfolgte mit dem Programm SPSS 11. Für die *Clusteranalyse* mittels der Ward-Methodik (euklidische Distanzen im Quadrat, nicht standardisierte Daten) wurden 16 Variablen berücksichtigt: SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, K_2O, P_2O_5, Ba, Cr, Ni, Rb, Sr, Y, Zn, Zr. Auswerter : M.M. (Erstautor).

4.3 Mikroskopische Differenzierung

Die Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse wurden von MORNOD (1949), WEIDMANN et al. (1982) und WEIDMANN (1993), diejenigen der unteren Meeresmolasse (Vaulruz-Formation) von MORNOD (1949), EMMENEGGER (1961) und FASEL (1981), und diejenigen der Gurnigeldecke von TERCIER (1928), HUBERT (1967), MOREL (1980) sowie VAN STUIJVENBERG (1979) beschrieben.

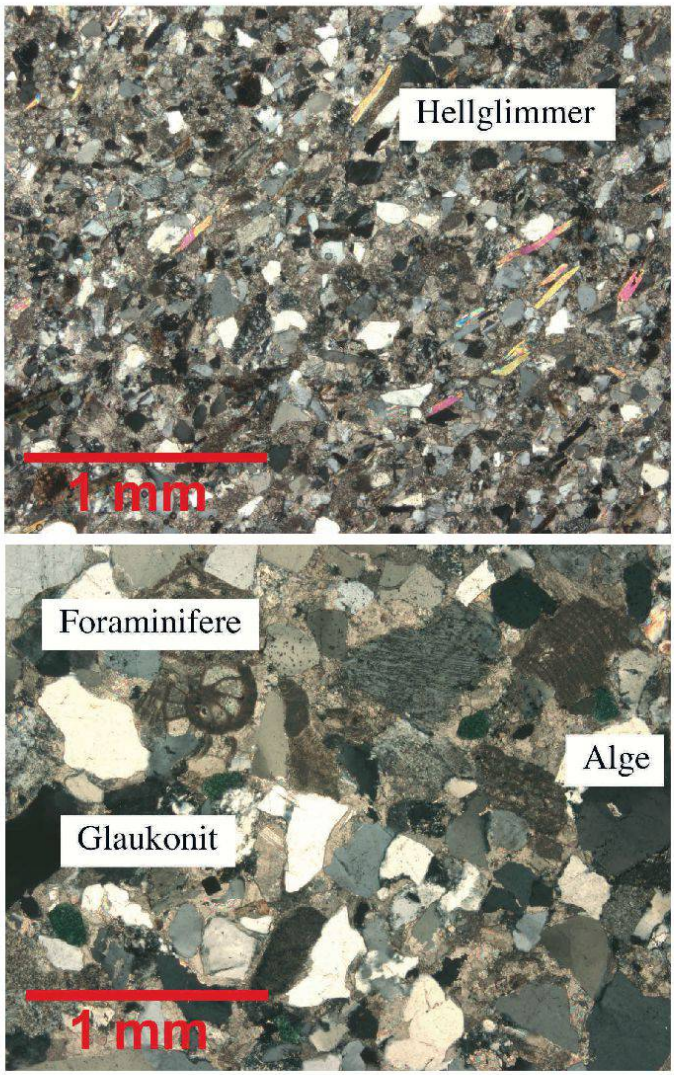


***Abb. 8**: Mikroskopische Aspekte typischer Sandsteine aus der subalpinen Molasse (PA 32, oben) und dem Flysch (PA 7, unten). Polarisatoren gekreuzt. Beide Proben sind reich an kantig-eckigen, homogen erscheinenden Quarzen (weisse bis grauschwarze Interferenzfarben), neben*

untergeordneten Feldspäten (graue Interferenzfarben), alles eingebettet in einer feinkörnigen Karbonat-Matrix mit irrisierenden hellen Interferenzfarben. Der hier feinkörnigere Molasse-Sandstein zeigt längliche Hellglimmerschüppchen mit gelben bis rötlichen Interferenzfarben, eingeregelt in der Sedimentationsfläche. Im gröberen Flysch-Sandstein sind Fossilien (Algenbruchstücke, Foraminiferen) und Glaukonit mit grünen Interferenzfarben zu erkennen. Photo J. CHIAVERINI.

Die Resultate der mikroskopischen Untersuchung stimmen mit den Beobachtungen der genannten Autoren überein. Die untersuchten freiburgischen Proben lassen sich auf Grund der Korngrösse, der Kornsortierung und des variierenden Gehaltes von Gesteins-, Mineral- und Fossilfragmenten in neun mikroskopische Gruppen unterteilen (Tab. 3). Die vier USM- und UMM-Sandsteingruppen sind sich zwar ähnlich, können aber unter dem Polarisationsmikroskop differenziert werden. Bei allen dominieren mono- bis polykristalline, eckige Quarzkörner, welche in einem Karbonatzement bzw. -matrix aus feinsten Kalzit- und Fe-Kalzit-Kriställchen eingebettet sind (Abb. 8).

Der Zement der Molasse-Sandsteine weist noch einen geringen Gehalt an Tonmineralien auf, was zur deutlich niedrigeren Druckfestigkeit dieser Sandsteine, im Vergleich zu denjenigen der Flyschregion, führt. Weitere, untergeordnete und mehr oder weniger vorhandene Bestandteile sind Gesteinsfragmente (Hornsteine, Karbonate, Magmatite, Metamorphite), Feldspäte, Glimmer, Glaukonit, Chlorit und Fossilien. Zum Typ I zählen die Sandsteine der subalpinen USM, welche keine groben Glimmer oder Chlorite, sehr wenig Opakminerale, fast keine Fossilklasten, dafür aber reichlich Dolomit- und Hornsteinfragmente enthalten. Charakteristisches Merkmal der drei mikroskopischen Typen der subalpinen UMM ist die Präsenz gröberer, im Querschnitt länglicher Hellglimmer und Chlorite (Abb. 8 oben), sowie die monokristallinen oder polykristallinen Dolomitklasten, alles eingebettet in einem karbonatischen Zement (Matrix) mit mehr oder weniger Tonmineralien. Sie enthalten meist auch viel Kalifeldspat und Opakminerale. Die Flyschproben gehören zu den mikroskopischen Gruppen V bis IX, charakterisiert durch ein gröberes Korngefüge, einen meist guten Sortierungsgrad, die Dominanz von Quarzklasten, die Abwesenheit grober Glimmer und Dolomitfragmente sowie den Reichtum an Glaukoniten und Bioklasten in Form von Algen und Foraminiferen (Abb. 8 unten).

4.4 Röntgenographische Differenzierung

Die mineralogische Analyse von 29 gepulverten Proben mittels Pulver-Röntgendiffraktometrie ergab für die Proben aus der subalpinen Molasse, wie von der mikroskopischen Analyse zu erwarten, Dolomit als charakteristischen Bestandteil (Tab. 4). Dieses Mineral fehlt in den Sandsteinen des Flysches. Beide Sandsteintypen können also auch mit dieser Methode eindeutig differenziert werden.

4.5 Chemische Differenzierung

29 Proben wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse chemisch untersucht (Tab. 5). Auch hier resultierten markante Unterschiede zwischen beiden Sandsteintypen, sehr schön sichtbar in den deutlich tieferen Magnesium (MgO)-, Chrom (Cr)- und Nickel (Ni)-Konzentrationen der Flyschsandsteine im Vergleich zu denjenigen der subalpinen Molasse (Abb. 9). Der reichlich vorhandene Dolomit $CaMg(CO_3)_2$ in den Sandsteinen der subalpinen Molasse erklärt deren höhere Magnesiumgehalte im Vergleich mit denjenigen des Flysches. Die hohen Cr- + Ni-Werte (> 200 ppm) vieler Molasseproben passen gut zu den publizierten Spinellgehalten in Sandsteinen der subalpinen Molasse (GASSER 1966, SCHLANKE 1974, SCHLANKE ET AL. 1978, MAURER & NABHOLZ 1980, FASEL 1981, DIEM 1986). Diese Merkmale zeigen auch die zwei Alpnacher Proben, die sich, mit Ausnahme der höheren SiO_2- und niedrigeren CaO-Werte für PA6, unwesentlich von den freiburgischen Flyschsandsteinen unterscheiden (Tab. 5, Abb. 10).

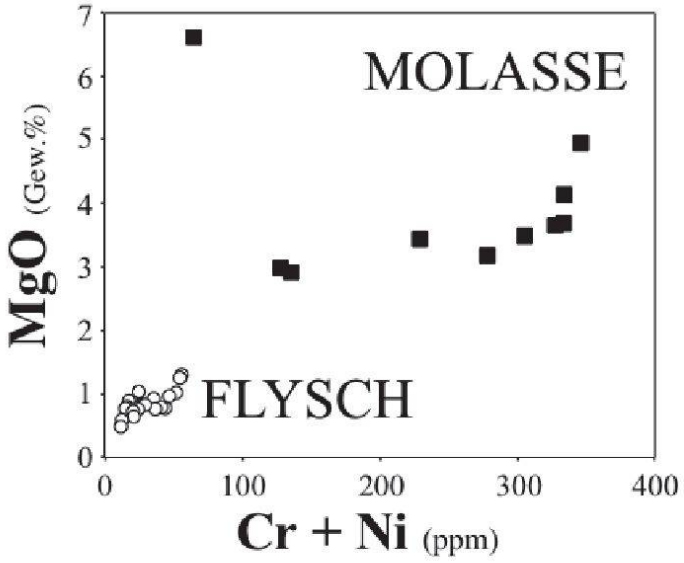


Abb. 9: *MgO vs. Cr+Ni – Diagramm zur Differenzierung der Flysch-Proben (Kreise) von den Sandsteinen der subalpinen Molasse (schwarze Quadrate).*

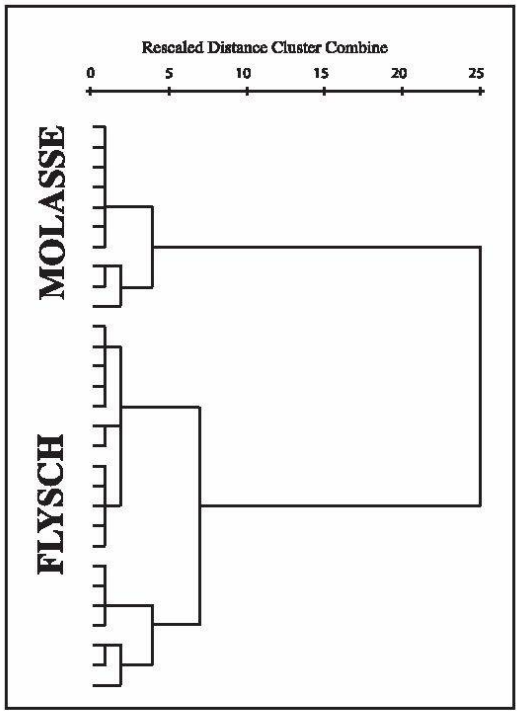


Abb. 10*: Sog. Dendrogramm als Resultat einer multivariaten Clusteranalyse, unter Einbezug von 16 chemischen Parametern. Die Sandsteine der subalpinen Molasse und diejenige des Flysches bilden zwei deutlich unterschiedliche Gruppierungen. Die Guber'schen Sandsteine liegen in der Mitte der freiburgischen Flyschsandsteine.*

5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit stand die Klärung der Herkunft der Steinbruch-Pflastersteine der Stadt Freiburg im Vordergrund. Es konnte nachgewiesen werden, dass in der stadtnäheren Umgebung genügend Sandsteinvorkommen in ausreichender Pflasterstein-Qualität vorhanden sind, die zwei tektonischen Einheiten (Subalpine Molasse, Flysch der Gurnigeldecke) zugeordnet werden können. Über die Verwendung dieser Gesteinsarten als Pflastersteine in der Stadt Freiburg orientieren BOLLIN (1996) und CHIAVERINI & MAGGETTI (2012). Beide Sandsteintypen unterscheiden sich sowohl mikroskopisch, mineralogisch und chemisch. Die mineralogische Analyse kann als eine schnelle diagnostische Methode zur Differenzierung verwendet werden. Laut den Archivalien und den Literaturangaben waren in der subalpinen Molasse während etwa 80 Jahren vier Pflastersteinbrüche aktiv, zeitlich etwa von der Mitte des 19. Jh. bis ca. 1930 (Abb. 6). Die meisten Steinbrüche in der subalpinen Molasse produzierten aber vor allem Hausteine, Treppenstufen, Platten, Sockelsteine usw. Im Flysch wurde der Pflastersteinbruch *Zollhaus* sicher schon vor 1883 eröffnet, doch dauerte es bis in die 1920er Jahre, bis fünf weitere Pflastersteinbrüche folgten, wovon sich derjenige der *Tatüren* bis heute halten konnte. Pflastersteine waren ein wichtiges Export-Produkt der freiburgischen Flysch-Kalksandsteinbrüche. Der Wechsel von einem Sandstein zum anderen beruht wohl auf der höheren Druckfestigkeit der Flysch-Sandsteine (2'000-2'500 kg/cm^2) im Vergleich zur subalpinen Molasse (1'600-1'800 kg/cm^2), siehe Abb. 2, und der Konstruktion neuer Strassen in den vormals noch unerschlossenen Flyschregionen ab ca. 1910. Dieser Materialwechsel kann für die Datierung der Verlegung der freiburgischen Pflaster herangezogen werden, denn Molassesandstein-Pflaster sind mit grösster Wahrscheinlichkeit ab Mitte bis Ende des 19. Jh., und Flysch-Sandsteinpflaster ab Beginn bis Mitte des 20. Jh. verlegt worden, lässt man die mengenmässig unbedeutende Gewinnung von Flyschsandsteinpflaster aus Flussgeschiebe ausser Acht. Betrachtet man die Abb. 3, so wird bewusst, welch enormes Pflasterstein-Potential in den Flyschen der Gurnigeldecke stecken. Hier harren riesige Vorräte und könnten als Ersatz für alte Pflaster oder als Material für neue Pflästerungen gewonnen werden. Die Kombination historischer und naturwissenschaftlicher Ergebnisse ermöglicht somit sowohl eine Herkunftsbestimmung als auch eine grobe zeitliche Einordnung der Sandsteinpflaster der Stadt Freiburg.

Dank

Diese Arbeit wurde im Rahmen des von Prof. M. Fritz vom Baudepartement der Fachhochschule für Technik und Architektur, CH-1705 Fribourg, initiierten und geleiteten KTI-Projektes *RRI Restauration-Rekonstruction-Innovation: Zur Frage der Sanierung von Strassen- und Platzpflästerungen in mittelaterlichen Kernzonen Schweizer Städte: Eine fachübergreifende Studie am Beispiel der Stadt Freiburg* (Nr. 6568.1 FHS-ET) erarbeitet und finanziell unterstützt. Unser Dank richtet sich ferner an den Stiftungsrat des Forschungsfonds der Universität Freiburg für die Gewährung eines finanziellen Beitrages (Projekt Nr. 216). Wir verdanken die Unterstützung folgender Personen und Instanzen, die uns in vielfältiger Art und Weise geholfen haben: Aeby Franz (Giffers), Andrey Gérard (Cerniat), Baschung Mélanie (Freiburg), Bourqui Jean-Paul (Freiburg), Braillard Luc (Freiburg), Bruegger Nicole (Freiburg), Bruelhart Anton (Düdingen), Caron Christian (Freiburg), Decrouez Danielle (Genève), Fasel André (Freiburg), Foerster Hubert (Freiburg), Fritz Michael (Freiburg), Gerber Emmanuel (Freiburg), Gremaud Gilbert (Écharlens), Gruber Bruno (Oberschrot), Jaquerod Grégory (Freiburg), Kloeti Thomas (Bern), Kündig Rainer (Zürich), Mauron Albert (Plasselb), Neuhaus Eduard (Giffers), Papi Giancarla (Freiburg), Ruffieux Severin (Plasselb), Torche-Julmy Marie-Thérèse (Freiburg), Zwick Pierre (Freiburg); Gemeindearchiv (Riaz), Kantons- und Universitätsbibliothek Freiburg (Freiburg), Kantonales Bau- und Raumplanungsamt (BRPA) Freiburg (Freiburg), Schweizerisches Bundesarchiv (Bern), Schweizerische Nationalbibliothek (Bern), Staatsarchiv Freiburg (Freiburg).

Literatur

ANDEREGG, J.P. (2002): Une histoire du paysage fribourgeois. Espace, territoire et habitat. Freiburger Kulturlandschaften. Materialien zur Geschichte der ländlichen Siedlung. - Deutschfreiburger Beiträge zur Heimatkunde, Band 67.

ANONYMUS (1912): Alfred Masset. - Bulletin de la Société fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes, vol. III, 126-128.

BECK, P. (1926a): Die Bedeutung des Deckenbaues der Schweizeralpen für die Steinbruchindustrie. - Schweizerische Zeitschrift für Strassenwesen, Jg. 12, Nr. 21-23, 1-16.

BECK, P. (1926b): Ueber die Entstehung der zum Strassenbau geeigneten Sedimentärgesteine der Schweizeralpen. - Schweizerische Zeitschrift für Strassenwesen, Jg. 12, No. 11, 134-140.

BLANC, F. (1999): Corbières: 900 ans d'histoire. - Icobulle SA, Bulle.

BOLLIN, R. (1996): Natursteine in Freiburg – Pierres naturelles à Fribourg. - Naturhistorisches Museum Freiburg, Musée d'histoire naturelle, Fribourg.

BOSSART, J. (1982): Baumaterialien, Vorkommen, Verarbeitung. - 10-seitige Beilage der Freiburger Nachrichten vom 6.7.1982.

BOVET, B. (1992): 1892-1992 Centenaire de la construction de l'église de Farvagny. - Imprimerie Robert SA, Fribourg.

BÜCHI, O. (1923): Geologische Untersuchungen im Gebiete der Préalpes externes zwischen Valsainte und Bulle. - Mém. Soc. Frib. Sc. Nat., vol. X.

BÜCHI, O. (1930): Die Flyschsandsteinbrüche des Sensebezirkes. - Beiträge zur Heimatkunde des Sensebezirkes, 1930, 4, 23-29.

BUESS, H. (1920): Ueber die Subalpine Molasse im Kanton Freiburg. - Inaugural-Dissertation der Math. Naturw. Fakultät der Universität Freiburg.

CARON, C. (1976): La nappe du Gurnigel dans les Préalpes. - Eclogae geol. Helv. 69/2, 297-308.

CARON, C., HOMEWOOD, P., MOREL, R. & STUIJVENBERG, J. Van (1980): Témoins de la nappe du Gurnigel sur les Préalpes médianes: une confirmation de son origine ultrabriançonnaise. - Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 69/1, 64-79.

CARON, C., HOMEWOOD, P. & WILDI, W. (1989): The Original Swiss Flysch: A Reappraisal of the Type Deposits in the Swiss Prealps. - Earth-Science Reviews, 26, 1-45.

CHIAVERINI, J. & MAGGETTI, M. (2012): Le pavement du centre historique de la ville de Fribourg: résultats du relevé pétrographique. – Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., dieses Heft.

DAMM, F. (1909): Die Vaulruz-Molasse. Das Kalkgebirge bei Châtel-St-Denis. - Inaugural-Dissertation der Math. Naturw. Fakultät der Universität Freiburg.

DE GIRARD, R. (1896): Notice géologique et technique sur les produits minéraux bruts du canton de Fribourg. - In: Duparc (éd.), Notice sur les exploitations minérales de la Suisse, Ed. Ph. Dürr, Genève, 151-197.

DE GIRARD, R. (1900): Tableaux des terrains de la région fribourgeoise. - Mém. Soc. Frib. Sci., nat. 2/2 (2e édition augmentée 1911).

DE GIRARD, R. (1916): Notions de géologie générale fondées sur l'étude du sol fribourgeois. - Discours prononcé par Girard, Recteur de l'université de Fribourg à l'inauguration solennelle des cours universitaires le 15 novembre 1913. Imprimerie de l'oeuvre de Saint-Paul, Fribourg.

DE QUERVAIN, F. (1969): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 3. Auflage. - Kümmerly und Frey, Bern.

DE QUERVAIN, F. & FREY, D., (1965): Erläuterungen zur Geotechnischen Karte der Schweiz 1:200'000, Blatt 3.- Geotechnische Kommission der Schweiz. Naturf. Gesellschaft, Zürich.

DE QUERVAIN, F. & GSCHWIND, M. (1934): Die nutzbaren Gesteine de Schweiz. - Geotechnische Kommission der Schweiz. Naturf. Gesellschaft. Verlag Hans Huber, Bern.

DE QUERVAIN, F., FREY, D., HOFMÄNNER, F. & JENNY, V. (1965): Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000, Blatt 3.- Geotechnische Kommission der Schweiz. Naturf. Gesellschaft, Zürich.

DIEM, B. (1986): Die Untere Meeresmolasse zwischen der Saane (Westschweiz) und der Ammer (Oberbayern). - Eclogae geol. Helv. 79/2, 493-559.

EMMENEGGER, C. (1961): Géologie de la région Sud de Fribourg, Molasse du plateau et Molasse subalpine. – Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., vol. 51, 10-166.

FASEL, J.-M. (1981): Etude sédimentologique et cartographique de la Molasse Subalpine dans la région de Bulle. - Institut de Géologie de l'Université de Fribourg, travail de diplôme.

GABUS, J.-H. (2000): Feuille 1224 Moudon. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Notice explic. *103*. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.

GABUS, J.-H., VOEGTLI, J.-C., MORNOD, L., & PARRIAUX, A. (2000): Feuille 1224 Moudon. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Carte *103*. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.

GAGNEBIN, E. (1922): Carte géologique des Préalpes entre Montreux et le Moléson et du Mont Pélerin 1:25'000. - Carte géol. spéciale, Commission géologique Suisse, Zurich.

GASSER, U. (1966): Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern).- Eclogae geol. Helv., 61/1, 229-319.

GENOUD, L. (1893): L'exposition industrielle cantonale de Fribourg du 31 juillet au 19 septembre 1892. - Fribourg.

GILLIÉRON, V. (1873): Aperçu géologique sur les Alpes de Fribourg en général et description spéciale du Monsalvens. - Mat. Carte géol. Suisse, 12è livr.

GILLIÉRON, V. (1885): Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne compris dans la feuille XII entre le lac de Neuchâtel et la crête du Niesen. - Mat. Carte géol. Suisse, 18è livr.

GREMAUD, A. (1898): Groupe 32, Matériaux de construction. - Exposition nationale Suisse Genève 1896, Rapport technique, 561-602.

GREMAUD, A. (1904): Pont de Corbières. - Etrennes fribourgeoises, 91-97.

GSCHWIND, M., DE QUERVAIN, F. & WINTERHALTER, R.U. (1936): Geotechnische Karte der Schweiz, Blatt Nr. 3, Genf-Lausanne-Sitten, 1:200'000. - Geotechnische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Zürich.

HUBER-BURCKHARDT, A. (1893): Rapport du jury et rapport administratif de l'Exposition industrielle cantonale 1892 à Fribourg. - Société des Arts et Métiers, Fribourg.

HUBERT, J. F. (1967): Sedimentology of prealpine flysch sequences. - J. Sediment. Petrol. 37, 885-907.

KUENLIN, F. (1832): Dictionnaire géographique, statistique et historique du Canton de Fribourg, I+II. - L. Eggendorffer, Fribourg.

KÜNDIG, R., MUMENTHALER, T., ECKARDT, P., KEUSEN, H.-R., SCHINDLER, C., HOFMANN, F., VOGLER, R. & GUNTLI, P. (1997): Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz. - Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.

MAURER, H. & NABHOLZ, W. (1980): Sedimentproben in der Molasse-.Abfolge der Bophrung Romanens I und in der benachbarten subalpinen Molasse (Kt. Fribourg). – Eclogae geol. Helv. 73/1, 205-222.

MEISTER, U., LOCHER, F., KOCH, A. & TETMAJER, L. (1884): Die Baumaterialien der Schweiz an der Landesausstellung 1883. 2. Auflage. - Verlag Cäsar Schmidt, Zürich.

MOREL, R. (1980): Géologie du massif du Niremont (Préalpes romandes) et de ses abords. - Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 69, 2, 99-207.

MORNOD, L. (1945): Molasse subalpine et bord alpin de la région de Bulle (Basse Gruyère). - Eclogae geol. Helv. 38/2, 441-452.

MORNOD, L. (1949): Géologie de la région de Bulle (Basse Gruyère), Molasse et bord alpin. - Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge, Lieferung 91, Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Zürich.

MOSER, A. (1970): Beiträge zur älteren Steinbearbeitung in der Westschweiz. - 2 Bde, Unveröffentlichte Dissertation Universität Freiburg.

MOSER, R. (1884): Bericht über Gruppe 18: Baumaterialien. - Schweizerische Landesausstellung, Zürich 1883, Meyer'sche Buchdruckerei Luzern.

MÜLLER, A. (1866): Beschreibender Catalog der schweizerischen Baumaterialien-Austellung in Olten. - Basel.

MUSY, M. (1884): Notice géologique et technique sur les Carrières du canton de Fribourg. – Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., III, 21-54.

NATURSTEIN (1939): Naturstein diesseits und jenseits der Alpen: ein Führer durch den Natursteinhof der Schweizerischen Landesausstellung Zürich 1939. - Vereinigung Schweizerischer Naturbaustein-Produzenten, Zürich.

NIGGLI, P. (1925): Die Eigenschaften der Pflastersteine unter besonderer Berücksichtigung der Wetterbeständigkeit. - Schweizerische Zeitschrift für Strassenwesen, Jahrgang 11, Nummer 25, 307-311.

NIGGLI, P., GRUBENMANN, U., JEANNERET, A., & MOSER, R. (1915a): Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. - Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, V. Lieferung.

NIGGLI, P., GRUBENMANN, U., JEANNERET, A., & MOSER, R. (1915b): Karte der Steinbrüche 1:530'000. Beilage zu „Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz". - Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, V. Lieferung.

NIGGLI, P., & LETSCH, E. (1927): Erster Bericht der Geotechnischen Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft über die Untersuchung von Strassenbaumaterialien. - Schweizerische Zeitschrift für Strassenwesen, Nummer 6, 1-6.

NIGGLI, P. & DE QUERVAIN, F. (1936): Erläuterungen zur geotechnichen Karte der Schweiz 1:200'000, Blatt 3. - Geotechnische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Zürich.

PASQUIER, J.-B. (2004): Feuille 1225 Gruyères. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Feuille *115*. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.

PASQUIER, J.-B. (2005): Feuille 1225 Châtel-St-Denis. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Notice explicative *115*. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.

PHILIPONA, A. & PHILIPONA ROMANENS, A. (2000): Vuippens, 2000 ans d'histoire. - Commune de Vuippens.

PREISWERK, H. (1916): 8. Gruppe Bergbau, Mineralische Rohstoffe. - Schweizerische Landesausstellung in Bern 1914, Orell Füssli, Zürich.

RUDHART, P. (1914): Mines et Carrières. Les Industries d'Extraction en Suisse. - Edition Atar, Genève.

SCHERTENLEIB, U. (1993): Werkkatalog der Winterthurer Kartographiebetriebe (1842-1924). - Manuskript.

SCHLANKE, S. (1974): Geologie der subalpinen Molasse zwischen Biberburg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz.- Eclogae geol. Helv. 27/2, 243-332.

SCHLANKE, S., HAUBER, L. & BÜCHI, U.P. (1978): Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Tschugg I und Ruppoldsried I (Berner Seeland).- Eclogae geol. Helv. 71/2, 409-425.

SCHMIDT, K. (1896): Gruppe 27: Rohproducte und deren erste Verarbeitung. - Exposition Nationale Suisse, Genève, 1-10.

SCHWARZ, H.P. (1983): Die Steinbrüche in der Schweiz. Die Entwicklung, Merkmale und Probleme des schweizerischen Natursteingewerbes und die Frage der Versorgung des Landes mit Natursteinen resp. Natursteinprodukten, untersucht aus wirtschaftsgeographischer Sicht. - Inaugural-Dissertation der philosophischen Fakultät II der Universität Zürich.

SOCIÉTÉ FRIBOURGEOISE DES ARTS ET MÉTIERS (1892): Catalogue officiel de l'exposition industrielle cantonale Fribourg. - Fribourg.

SPICHER, A. (1972): Tektonische Karte der Schweiz 1:500'000. - Schweizerische Geologische Kommission, Zürich.

STAHEL, A. (1968): Die Eignung von Splitten verschiedener schweizerischer Steinbrüche für den Bau von Strassenbelägen. - Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 45. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich und Kümmerly & Frey, Bern.

STRENG, H. (1884): Rohprodukte und deren Fundorte in der Schweiz. - Zeitschrift für Schweizerische Statistik, XX. Jahrgang, 3. + 4. Quartalheft, 153-170.

STUCKART (1856): Fribourg-Bulle-Lausanne, Nouvelles considérations présentées par le comité du chemin de fer de la Gruyère, en faveur d'une voie ferrée par Bulle avec un projet de tracé. - J. Koch-Aebischer, imprimeur, Fribourg.

TERCIER, J. (1928): Géologie de la Berra. - Mat. Carte géol. Suisse, Nouvelle Série, 60.

TERCIER, J., MORNOD, L., SCHWARTZ-CHEVENART, C. & CAMPANA, B. (1945): Compte rendu des excursions de la Société géologique suisse dans les Préalpes fribourgeoises du 3 au 7 septembre 1945. - Eclogae geol. Helv., 32/2, 485-488.

TERCIER, J. & BIERI, P. (1961): Feuille 1206 Guggisberg [Gurnigel; 348-351 Guggisberg-Rüschegg-Plasselb-Gantrisch]. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Feuille *36*. Publié par la Commission géotechnique Suisse, Zurich. En commission chez Kümmerly & Frey, Berne.

VAN STUIJVENBERG, J. (1979): Geology of the Gurnigel area (Prealps, Switzerland). - Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F., 151.

VAN STUIJVENBERG, J., MOREL, R. & JAN DU CHENE, R. (1976): Contribution à l'étude du flysch de la région des Fayaux (Préalpes externes vaudoises). - Eclogae geol. Helv. 69/2, 182-196.

WEBER, L. & BROSI, A. (1883): Karte der Fundorte von Rohproducten in der Schweiz. Ca. 1:520'000. Reproduction der von den Experten der GRUPPE XVI für die schweizerische Landesausstellung 1883 hergestellten Originalkarte. - Verlag J. Wurster & Cie. Zürich, Topogr. Anstalt v. Wurster, Randegger & Co. Winterthur.

WEIDMANN, M. (1993): Feuille 1244 Châtel-St-Denis. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Notice explic. *103*. Service hydrologique et géologique national, Berne.

WEIDMANN, M., MOREL, R. & STUIJVENBERG, J. VAN (1976): La nappe du Gurnigel entre la Baye de Clarens et la Veveyse de Châtel. - Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 65/3, 182-196.

WEIDMANN, M., HOMEWOOD, P. & FASEL, J.-M. (1982): Sur les terrains subalpins et le Wildflysch entre Bulle et Montreux. - Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 362/76, 151-183.

WEIDMANN, M., HOMEWOOD, P., MOREL, R., BERCHTEN J.-D., BUCHER, H., BURRI, M., CORNIOLEX, J.-R., ESCHER, P., RÜCK, Ph., TABOTTA, A. & ZAHNER, Ph. (1993): Feuille 1244 Châtel-St-Denis. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Feuille *92*. Service hydrologique et géologique national, Berne.

WEIDMANN, M., DORTHE, J.-P., EMMENEGGER, Ch. (2002): Feuille 1205 Rossens. - Atlas géol. Suisse 1:25'000, Feuille *105*. Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne.

WINKLER, W. (1983): Stratigraphie, Sedimentologie und Sedimentpetrographie des Schlierenflysches (Zentralschweiz). - Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F., 158.

***Tabelle 1**: Liste der freiburgischen Hartsandstein-Brüche. Attalens nach* GAGNEBIN *(1922), Vaulruz nach GABUS ET AL. (2000).*

Nr.	Gemeinde, Name	Koordinaten	Tekton. Einheit
1	Attalens	554 710/150 940	Subalpine Molasse USM
2	Attalens	554 900/150 870	Subalpine Molasse USM
3	Attalens/Quettolaz	554 750/150 770	Subalpine Molasse USM
4	Attalens/La Jaquaz	555 000/150 740	Subalpine Molasse USM
5	Attalens/La Rottaz 1	555 240/150 370	Subalpine Molasse USM
6	Attalens/La Rottaz 2	555 110/150 300	Subalpine Molasse USM
7	Attalens/La Rottaz 3	555 030/150 240	Subalpine Molasse USM
8	Attalens/Grande Fin	555 060/150 040	Subalpine Molasse USM
9	Attalens/La Reyresse	555 200/150 050	Subalpine Molasse USM
10	Attalens/Perrey	555 340/149 650	Subalpine Molasse USM
11	Attalens/Les Places	555 580/149 050	Subalpine Molasse USM
12	Corbières/Prévondavaux	573 250/167 900	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
13	Écharlens/Champotey	573 500/167 200	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
14	Hauteville/Ruiseau du Ruz	575 710/169 440	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
15	Marsens/Sous les Moleyres	570 800/166 670	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
16	Marsens/Pt. 737	571 120/166 360	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
17	Semsales/La Savoyardaz	563 580/161 200	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
18	Vaulruz/Château	566 250/164 000	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
19	Vaulruz/Les Molettes	566 450/164 160	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
20	Vaulruz	566 700/164 400	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
21	Vuippens/Sionge	572 400/167 510	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
22	Vuippens/Sur les Monts	573 200/167 940	Subalpine Molasse UMM (Vaulruz-Formation)
23	Broc/Vers le pont	573 700/181 860	Gurnigeldecke (Flysch)
24	Bulle/Montcaillaz	569 600/163 220	Gurnigeldecke (Flysch)
25	Cerniat/Tatüren	584 300/172 830	Gurnigeldecke (Flysch)
26	Plaffeien/Krätze	588 650-750/169 970-170 130	Gurnigeldecke (Flysch)
27	Plaffeien/Schuemacherli	589 050/171 280	Gurnigeldecke (Flysch)
28	Plaffeien/Zollhaus	589 900/173 950	Gurnigeldecke (Flysch)
29	Plasselb/Falli	585 150/174 050	Gurnigeldecke (Flysch)
30	Plasselb/Gurtseggli	585 390/173 860	Gurnigeldecke (Flysch)
31	Plasselb/Roggeli	585 000/174 050	Gurnigeldecke (Flysch)
32	Plasselb/Zum Bruch a	585 050/173 700	Gurnigeldecke (Flysch)
33	Plasselb/Zum Bruch b	584 850/173 550	Gurnigeldecke (Flysch)
34	Plasselb/Zum Bruch c	584 700-800/173 450-300	Gurnigeldecke (Flysch)
35	Semsales/Pra Roud	561 850/157 700	Gurnigeldecke (Flysch)

Tab. 2: Untersuchte Proben.

Proben-Nr. (PA)	Steinbruch	Probenherkunft	Typologie
5	Guber/Alpnach	Probe aus groben Blöcken im Steinbruch, 2.7.2003 J. Chiaverini	Gross-Handstück
6	Guber/Alpnach	Probe aus groben Blöcken im Steinbruch, 2.7.2003 J. Chiaverini	Gross-Handstück
7	Cerniat/Tatüren	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 8.7.2003 J. Chiaverini	Gross-Handstück
8	Cerniat/Tatüren	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 8.7.2003 J. Chiaverini	Gross-Handstück
9	Vaulruz	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20587	Ausstellungsstück
10	Vuippens/Sionge	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20588	Ausstellungsstück
11	Marsens/Sous les Moleyres ?	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20589	Ausstellungsstück
12	Echarlens/Champotey, Pont de Corbières	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20590	Ausstellungsstück
13	Attalens	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20592	Ausstellungsstück
14	Cerniat/Tatüren	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20592	Gross-Handstück
15	Echarlens/Champotey	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20601	Pflasterstein
16	Echarlenss/Champotey, Corbières/Ls Péruchi	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20603	Pflasterstein
17	Echarlens/Champotey, Bellora	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20605	Pflasterstein
18	Corbières/Prévondavaux	Sammlung Techn. Geologie Naturhist. Museum Freiburg, Nr. 20606	Pflasterstein
19	Plasselb/Roggeli	Probe aus der untersten, dicken Bank, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
20	Plasselb/Falli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
21	Plasselb/Falli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
22	Plasselb/Falli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
23	Plaaselb/Gurtseggli	Probe aus der dicksten Bank, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
24	Plaaselb/Gurtseggli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
25	Plaaselb/Gurtseggli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
26	Plaffeien/Schuemacherli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
27	Plaffeien/Schuemacherli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
28	Plaffeien/Schuemacherli	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
29	Plaffeien/Zollhaus	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
30	Plaffeien/Zollhaus	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
31	Plaffeien/Zollhaus	Probe aus grossen Blöcken im Steinbruch, 22.8.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück
32	Marsens/Combe	Sammlung 1915 Geotechnische Kommission, Nr. 1212	Handstück, Dünnschliff
33	Vuippens/Sionge	Sammlung 1915 Geotechnische Kommission, Nr. 1213	Handstück, Dünnschliff
34	Echarlens/Champotey, Pont de Corbières	Sammlung 1915 Geotechnische Kommission, Nr. 1214	Handstück, Dünnschliff
35	Vaulruz/Schlosshügel	Sammlung 1915 Geotechnische Kommission, Nr. 1216	Handstück, Dünnschliff
36	Attalens/La Reyresse	Sammlung 1915 Geotechnische Kommission, Nr. 1228	Handstück, Dünnschliff
37	Cerniat/Tatüren	Sammlung 1969 Geotechnische Kommission, Nr. 201.1	Handstück, Dünnschliff
38	Corbières/Prévondavaux	Sammlung 1969 Geotechnische Kommission, Nr. 206.1	Handstück, Dünnschliff
39	Vaulruz	Sammlung 1969 Geotechnische Kommission, Nr. 206.2	Handstück, Dünnschliff
50	Attalens	Sammlung 1969 Geotechnische Kommission, Nr. 205.4	Handstück, Dünnschliff
53	Corbières/Prévondavaux	Abfallhalde, Beprobung 14.9.2003 M. Maggetti	Marchstein
54	Plasselb/Zum Bruch a	Abfallhalde, Beprobung 14.9.2003 M. Maggetti	Gross-Handstück

Tab. 3: Mikroskopische Gruppen.

Gruppe	An. Nr.	Geologie	Granulometrie/ Sortierung	Gesteine	Mineralien	Fossilien/ Bioklasten	Wichtigste Kennzeichen
I	PA 13, 36, 50	USM	150 - 500 Mikron, Gröbere Fragmente bis 1.25 mm, Sortierung mittelmässig	Viele Dolomite, Kalke und Hornsteine (Silex); weniger Magmatite und Metamorphite	Quarze: mono- und polykristallin; Opakmineralien: wenig; Grobe Hellglimmer und Chlorite: keine	sporadisch	Grosse Klasten und viele Gesteinsfragmente (Kalke, Silices)
II	PA 9, 10, 11, 12, 32, 35, 38, 39	UMM	50 - 250 Mikron, Sortierung gut	Kalke, Dolomite, Hornsteine, Magmatite, Metamorphite	Quarze: monokristallin; Opakmineralien: viel; Grobe Hellglimmer und Chlorite: viel; Kalifeldspäte: viel; Plagioklas: wenig	rar	Feines Korn, viele verformte und eingeregelte Hellglimmer und Chlorite, Zement vorhanden
III	PA 15, 16, 18	UMM	50 - 250, Sortierung gut	Viel Kalzite, Kalke und Dolomite; weniger Hornsteine, Magmatite und Metamorphite	Quarze: mono- und polykristallin; Opakmineralien: viel, assoziiert mit den groben Hellglimmern und Chloriten; Grobe Hellglimmer und Chlorite: viel; Kalifeldspäte: viel; Plagioklas: wenig	rar	Wie III, aber mehr Kalke und mehr Zement
IV	PA 17, 33, 34	UMM	150 - 300 Mikron, Gröbere Fragmente bis 1.25 mm, Sortierung schlecht	Kalke, Dolomite, Hornsteine, Magmatite, Metamorphite	Quarze: mono- und polykristallin; Opakmineralien: wenig; Grobe Hellglimmer und Chlorite: wenig; Kalifeldspäte: viel; Plagioklas: wenig; Glaukonit: wenig	wenig	Mittleres bis grobes Korn, schlechte Sortierung, sonst ähnlich V (hier aber mehr Silizes als in V)
V	PA 7, 8, 19, 20, 21	Flysch	50-350 Mikron (einige Körner bis max. 750 Mikron), Sortierung sehr gut	Kalke, Silex, Magmatite	Quarze: monokristallin häufiger als polykristallin; Hellglimmer und Chlorite: rar; Kalifeldspäte: wenig; Plagioklase: wenig (mehr Kalifeldspäte als Plagioklase); Glaukonit: wenig gross (Durchmesser 50 - 100 Mikron), Opakmineralien: wenig	mittel	Wenig Zement, die Klasten berühren sich

Gruppe	An. Nr.	Geologie	Granulometrie/ Sortierung	Gesteine	Mineralien	Fossilien/ Bioklasten	Wichtigste Kennzeichen
VI	PA 29, 30, 31	Flysch	50-200 Mikron (Gesteinskörner bis max. 1.4 mm), Sortierung gut	Kalke, Hornsteine, Magmatite, Metamorphite	Quarze: monokristallin häufiger als polykristallin; Hellglimmer und Chlorite: rar; Kalifeldspäte: wenig; Plagioklase: wenig; Glaukonit: wenig gross (Durchmesser 50 - 100 Mikron), Opakmineralien: wenig	viel	Reichlicher Zement, in dem die Klasten "schwimmen"
VII	PA 26, 27, 28	Flysch	50-100 Mikron, Sortierung sehr gut	Kalke, Hornsteine, Magmatite	Quarze: monokristallin häufiger als polykristallin (sehr selten); Hellglimmer: rar; Kalifeldspäte und Plagioklase: rar; Glaukonit: vorhanden, gross (Durchmesser 50 - 100 Mikron), Opakmineralien: wenig	viel	Viele feine Klasten in wenig Zement
VIII	PA 14, 23	Flysch	250-600 Mikron, Sortierung gut	Kalke, Hornsteine, Magmatite, Metamorphite	Quarze: monokristallin und polykristallin; Hellglimmer: rar; Kalifeldspäte und Plagioklase: mittel; Glaukonit: wenig gross (Durchmesser 50 - 250 Mikron), Opakmineralien: rar	viel	Viele Bioklasten und grobe Klasten in reichlich Zement
IX	PA 22, 24, 25, 54	Flysch	50-350 Mikron (einige Körner bis max. 3 mm), Sortierung schlecht bis sehr gut	Kalke (viel), Hornsteine, Magmatite, Metamorphite	Quarze: monokristallin und polykristallin (rar); Hellglimmer und Chlorite: rar; Kalifeldspäte und Plagioklase: wenig Glaukonit: wenig gross (Durchmesser 100 - 200 Mikron), Opakmineralien: wenig	viel	Viele Bioklasten und Glaukonite in reichlich Zement. Quarzklasten dominierend.

***Tab. 4**: Resultate der röntgenographischen Analyse. Typ 1 = subalpine Molasse, 2 = Flysch. Gehalte: ++++ = sehr viel, +++ = viel, ++ = wenig, + = sehr wenig.*

An. Nummer	Typ	Quarz	Kalzit	Dolomit	Plagioklas	Kalifeldspat	Glimmer	Chlorit	Pyrit/Markasit
PA9	1	++++	+++	++	+++	++	+	+	
PA10	1	++++	+++	+	++	+	+	+	+
PA11	1	++++	+++	+	++	++	+	+	Spuren
PA12	1	++++	++++	++	+++	++	+	+	+
PA13	1	+++	++++	+++	+				
PA15	1	++++	++++	++	+++	++	+	+	+
PA16	1	++++	++++	++	+++	++	+	+	+
PA17	1	++++	++++	++	++	++		+	
PA18	1	++++	++++	++	++	++		+	+
PA53	1	++++	++++	++	+++	++	+	+	
PA5	2	++++	++++		+	+	Spuren		+
PA6	2	+++++	++		++	++	Spuren		+
PA7	2	++++	+++		+	++	Spuren		
PA8	2	++++	+++		+	+++	Spuren		
PA14	2	+++	++++		+	++			
PA19	2	++++	+++		+			Spuren	
PA20	2	++++	+++		++	Spuren			
PA21	2	++++	++++		+				
PA22	2	++++	++++		++				
PA23	2	++++	++++		++	++			
PA24	2	++++	++++		++	++			
PA25	2	++++	++++		++	+	Spuren		Spuren
PA26	2	++++	++++		Spuren				
PA27	2	++++	++++		++	+			
PA28	2	++++	++++		+				
PA29	2	+++	++++		+	+			
PA30	2	++++	++++		+		Spuren		Spuren
PA31	2	++++	++++		+				+
PA54	2	++++	++++		++	+			

***Tab. 5**: Resultate der chemischen Analyse. Typ 1 = subalpine Molasse, 2 = Flysch. GV = Glühverlust, Fe_2O_3 = Fe tot als Fe_2O_3.*

An. Nummer	Typ	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ba	Cr	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Y	Zn	Zr	Summe	GV
		Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	Gew.%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Gew.%	Gew.%
PA9	1	65,18	0,28	9,83	3,66	0,08	2,97	13,71	1,47	2,40	0,19	259	78	3<	7	41	12	92	247	23	49	153	99,82	11,73
PA10	1	68,16	0,36	9,93	3,38	0,07	5,06	9,66	2,07	1,94	0,08	256	198	13	8	144	15	71	255	6	49	130	100,81	9,24
PA11	1	65,67	0,32	9,10	2,89	0,08	4,21	13,41	2,00	1,87	0,05	356	193	11	7	138	13	67	272	5	39	128	99,74	11,24
PA12	1	56,94	0,32	8,83	2,60	0,13	3,58	23,38	2,28	1,94	0,07	297	183	17	8	131	12	69	363	6	37	116	100,20	16,99
PA13	1	46,34	0,07	2,68	1,06	0,09	6,65	42,35	0,88	0,45	0,02	336	37	10	4<	18	11	16	556	0	13	34	100,71	28,91
PA15	1	59,49	0,26	8,64	2,79	0,13	3,75	20,65	1,38	1,90	0,12	255	195	8	7	126	13	67	322	20	37	169	99,24	15,60
PA16	1	59,46	0,24	8,60	2,78	0,13	3,71	20,76	1,23	1,91	0,14	304	198	1<	8	127	12	71	328	21	35	158	99,09	15,69
PA17	1	54,18	0,02	4,72	1,36	0,13	3,04	34,19	0,40	1,38	0,08	180	89	3<	3<	43	11	45	516	12	16	67	99,50	22,66
PA18	1	58,94	0,08	5,11	1,64	0,12	3,47	27,81	1,91	1,33	0,09	197	171	0	6	54	10	43	429	17	23	173	100,61	19,60
PA53	1	51,25	0,17	7,21	3,12	0,21	3,23	31,78	2,36	1,26	0,16	375	158	14	6	109	22	53	465	18	45	103	100,88	21,78
PA5	2	63,89	0,11	4,64	0,79	0,03	0,75	26,64	1,97	1,70	0,04	209	<5	11	6	10	14	46	819	11	7	67	100,67	17,65
PA6	2	79,19	0,08	6,61	0,48	0,01	0,48	6,90	2,05	2,96	0,03	388	<5	<2	<5	6	20	82	359	7	6	57	98,88	5,42
PA7	2	71,03	0,08	4,54	0,77	0,02	0,62	18,37	1,35	1,87	0,04	221	12	<2	<5	8	14	53	908	11	6	57	98,82	12,87
PA8	2	70,79	0,07	5,20	0,65	0,01	0,58	17,47	1,42	2,27	0,05	291	<5	<2	<5	7	12	61	768	8	6	44	98,63	12,33
PA14	2	51,43	0,02	1,99	0,56	0,05	0,83	44,20	0,19	0,72	0,10	143	26	7<	3<	2<	9	22	436	6	5	43	100,09	26,40
PA19	2	70,81	0,00	2,76	1,50	0,01	0,83	23,38	0,44	0,49	0,08	425	3<	4	3<	7	9	17	564	14	14	182	100,30	16,10
PA20	2	72,33	0,00	3,11	1,26	0,02	0,78	20,88	0,84	0,44	0,12	190	9	7<	3<	9	10	17	535	9	6	81	99,78	14,71
PA21	2	45,93	0,04	2,12	0,83	0,10	0,92	48,43	1,26	0,19	0,02	195	19	19	3<	6	2<	5	557	0	3	98	99,95	28,47
PA22	2	57,04	0,16	2,53	1,29	0,03	1,00	37,11	1,03	0,52	0,05	454	52	13	5	9	5<	16	838	6	12	242	100,93	23,25
PA23	2	54,29	0,02	4,31	0,96	0,09	0,74	37,17	0,48	1,59	0,12	291	28	5<	3<	3<	15	50	574	8	6	46	99,77	23,29
PA24	2	49,36	0,03	3,93	1,74	0,03	1,04	42,00	0,22	0,99	0,06	507	23	0	5<	11	10	37	1253	19	15	263	99,63	25,48
PA25	2	56,82	0,00	4,06	1,40	0,03	0,78	34,78	0,92	1,35	0,06	235	39	3<	4<	11	10	44	1196	17	16	199	100,20	22,02
PA26	2	62,96	0,20	2,28	1,25	0,03	0,82	31,96	0,97	0,43	0,02	251	46	5	5	11	3<	14	836	3	17	236	101,03	20,70
PA27	2	54,87	0,00	2,42	0,88	0,04	0,79	40,32	0,57	0,61	0,10	156	27	7	4<	9	8	20	1164	14	14	183	100,74	24,66
PA28	2	54,56	0,12	2,03	1,33	0,04	0,95	39,71	0,92	0,30	0,04	543	20	7	3<	10	5<	8	1051	0	14	165	100,18	24,49
PA29	2	31,86	0,07	1,99	1,33	0,03	1,08	62,05	1,33	0,43	0,03	789	23	47	3<	11	8	13	1777	3<	10	103	100,47	33,36
PA30	2	44,28	0,18	3,02	2,43	0,03	1,26	45,93	0,99	0,66	0,03	218	47	14	6	22	11	26	1542	9	23	218	99,05	27,16
PA31	2	41,71	0,15	2,75	2,54	0,04	1,33	49,26	0,99	0,50	0,02	104	21	23	5	22	9	22	1664	5	19	232	99,51	28,48
PA54	2	55,50	0,02	3,69	1,75	0,04	0,83	36,06	0,92	0,95	0,09	177	17	3<	3<	8	8	37	825	18	7	169	99,94	22,84