

Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz	N.F. 16	2	211 - 225	1995	Freiburg im Breisgau 12. Dezember 1995
--	---------	---	-----------	------	---

# Gesteine und Lagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes\*

von

WOLFHARD WIMMENAUER, Freiburg i. Br.\*\*

**Zusammenfassung:** Gesteine, Lagerstätten und der tiefere Untergrund des Mittleren Schwarzwaldes haben mehrmals die Anregung zu neuen Entwicklungen in den Erdwissenschaften gegeben. Der vorliegende Aufsatz behandelt in diesem Sinne die Theorie der Lagerstättenbildung durch Lateralsekretion, die Deutung der Gneise als umgewandelte magmatische und Sedimentgesteine, die Deutung der Migmatite als Vorstufen der Granitbildung und die geophysikalische Erkundung der Eigenschaften und Strukturen der Erdkruste in diesem Bereich.

**Abstract:** Several times in the history of the Earth Sciences, rocks, mineral deposits, and the deeper underground of the Central Schwarzwald have stimulated new developments. In this meaning, the present paper deals with the theory of lateral secretion of mineral deposits, the interpretation of gneisses as transformed igneous and sedimentary rocks, the recognition of migmatites as early stages of granite formation, and the geophysical survey of the Earth's crust in that region.

## Einführung

Dieser Aufsatz war zunächst als schriftliche Fassung eines Vortrages gedacht, der am 27. Oktober 1993 vor dem Badischen Landesverein für Naturkunde und Naturschutz gehalten worden war. Viele Bilder, die bei dieser Gelegenheit gezeigt wurden, machten einen wesentlichen Teil des Dargebotenen aus. Die schriftliche Fassung kann nicht in gleicher Weise illustriert werden; dafür ist es möglich, auf andere, von Bildern eher unabhängige Aspekte des Themas einzugehen. Abweichungen von den Inhalten des Vortrages mögen deshalb zugelassen werden.

In der Geschichte der Erdwissenschaften sind Gesteine und Lagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes mehrmals Gegenstände neuer Entdeckungen oder Anschauungsweisen gewesen. Als herausragende Befunde oder Theorien in diesem Sinne sind zu nennen:

- Die Bildung der Erz- und Minerallagerstätten durch *Lateralsekretion*, das heißt durch Auslaugung bestimmter Stoffe aus den Gesteinen und Wiederausfällung in Gängen oder in anderer Form. Die Theorie wurde vor allem von FRIDOLIN v.

---

\* Nach einem Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe 1993/94 des BLNN: Der Mittlere Schwarzwald.

\*\* Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. W. WIMMENAUER, Rehhagweg 21, D-79100 Freiburg i. Br.

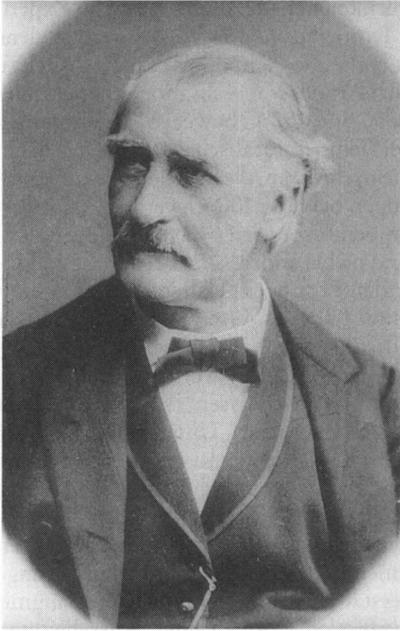
- SANDBERGER auf Grund genauer Untersuchungen an Erz- und Mineralgängen des Mittleren Schwarzwaldes vertreten.
- Die Ableitung der verschiedenen *Gneisarten* und ihrer Einlagerungen aus bestimmten Ausgangsgesteinen (Granit, Basalt, Sedimente) durch HARRY ROSENBUSCH. Mehrere Gneistypen des Mittleren Schwarzwaldes dienen als Beispiele dieser Interpretation; die Kartierung der Schwarzwald-Gneise durch die Großherzoglich Badische Geologische Landesanstalt beruhte auf ROSENBUSCHS Vorgaben.
  - Die Erkennung und Deutung der *Migmatite* als Erzeugnisse einer teilweisen Aufschmelzung von Gneisen und als Vorstufe der Granitbildung durch RUDOLF WAGER, OTTO HEINRICH ERDMANNSDÖRFFER und KARL RICHARD MEHNERT.
  - Die Erkundung des tieferen Untergrundes durch geophysikalische Methoden im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland. Dabei wurde eine bis dahin noch nicht beobachtete *Gliederung der Erdkruste* entdeckt, die möglicherweise repräsentativ für einen viel weiter verbreiteten Bautypus der kontinentalen Kruste ist. Diese Erkenntnisse sind besonders den Arbeiten des Geophysikalischen Institutes der Universität Karlsruhe zu verdanken.

Die folgende Darstellung beschränkt sich auf die Behandlung dieser vier zentralen Themen in der Weise, daß nur die „klassischen“ und die wichtigsten weiterführenden Arbeiten referiert werden. Viele andere, zum Teil ausführliche und wertvolle Untersuchungen aus anderen Fachgebieten (z. B. Geochronologie, Geochemie, Petrologie und Tektonik) müssen dabei unberücksichtigt bleiben. Eine umfassende Geschichte der Erforschung des Mittleren Schwarzwaldes würde ein ganzes Buch füllen.

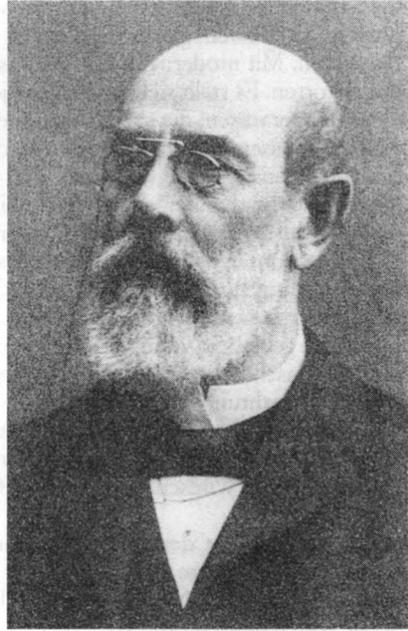
Das in diesem Aufsatz „Mittlerer Schwarzwald“ genannte Gebiet ist nicht mit dem gleichnamigen der Landeskunde identisch, dessen Südgrenze von Freiburg durch das Höllental nach Neustadt verläuft. Der Mittlere Schwarzwald im Sinne der Geologie und Petrographie umfaßt die gesamte, zwischen den Graniten des Nördlichen Schwarzwaldes und der Paläozoikum-Zone Badenweiler-Lenzkirch liegende Gneis- und Migmatitmasse sowie den Triberger und den Eisenbacher Granit. Das Schauinsland-Feldberg-Gebiet südlich der Höllental-Linie gehört aus dieser Sicht mit zum Mittleren Schwarzwald.

### Die Lagerstättenbildung durch Lateralsekretion

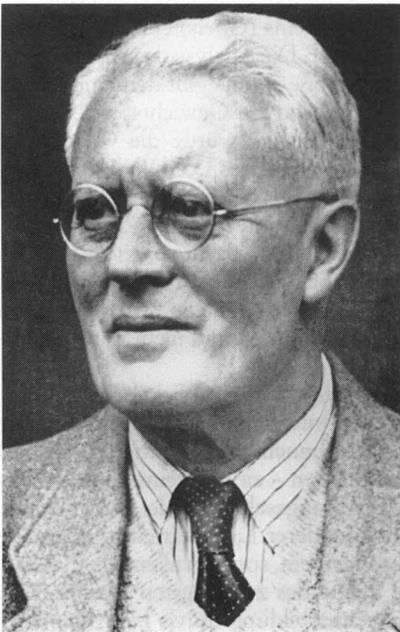
Der Mittlere Schwarzwald verfügt über eine große Zahl von Erz- und Mineralgängen, die seit dem Mittelalter und bis in die Gegenwart hinein mit wechselndem Erfolg untersucht und abgebaut wurden. Eine Vielzahl von Mineralen, die in den gewöhnlichen Gesteinen des Grundgebirges nicht vorkommen, wie Schwespat, Flußspat, Bleiglanz, Silberminerale, Kupferkies, Kobalt- und Nickelerze, sind in diesen Gängen zum Teil in großen Mengen vorhanden. Die sich daraus ergebenden wissenschaftlichen Hauptfragen betreffen die Herkunft der hier angereicherten Elemente, die Vorgänge ihrer Konzentration und die näheren Umstände ihrer Ablagerung in den Gängen. Schon gegen Ende des achtzehnten und erst recht im Laufe des neunzehnten Jahrhunderts hatte sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß *Wasser* das Medium gewesen war, aus dem die Kristallisation der genannten und vieler anderer



FRIDOLIN V. SANDBERGER



HARRY ROSENBUSCH



HANS SCHNEIDERHÖHN



KARL RICHARD MEHNERT

Gangminerale erfolgte. Da man kaum Möglichkeiten hatte, die Prozesse im Experiment zu simulieren, gab es hinsichtlich der Temperatur dieser Wässer verschiedene Ansichten. Mit modernen Methoden ist es heute möglich, diese Frage genauer zu beantworten. Es stellt sich heraus, daß je nach Art der Mineralisation sehr verschiedene Temperaturen, die sich zwischen etwa 50 und 250°C bewegen, angenommen werden müssen. Die Hauptkriterien dieser Temperaturabschätzungen liegen im Verhalten von kleinen Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen, die in vielen Gangmineralen reichlich vorhanden sind. Mineralbildungen bei über 100°C werden *hydrothermale*, solche im darunter anschließenden Temperaturbereich *hypothermale* genannt.

Die genannten Flüssigkeitseinschlüsse sind nichts anderes, als bei der Kristallisation eingefangene Proben der mineralbildenden Lösungen. Daher können chemische Untersuchungen an ihnen auch Auskunft über die Zusammensetzung dieser Lösungen geben. So verfügen wir heute schon über solide Kriterien für die physikalisch-chemischen Bedingungen der Mineralbildungen im hydrothermalen Regime. Erste Beobachtungen an Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen in schwarzwälder Gangmineralen hat schon SANDBERGER gemacht. In seinen „Untersuchungen über Erzgänge“ (1881 und 1885) berichtet er über Flüssigkeits- und Gaseinschlüsse im Schwerspat von Wildschapbach, die NaCl und Spuren von Barium in gelöster Form enthalten.

Weitere, für die damalige Zeit sehr fortschrittliche Untersuchungen führten SANDBERGER zu dem Schluß, daß der Elementgehalt der Erz- und Mineralgänge großenteils aus dem Nebengestein der Lagerstätten kommen müsse. Die Gangminerale wären danach Produkte einer *Lateralsekretion*, wörtlich einer „Ausscheidung von den Seiten her“. Eines der Hauptobjekte in diesem Sinne war der Gang „Friedrich-Christian“ in Wildschapbach mit Quarz, Flußspat, Schwerspat, silberhaltigem Bleiglanz und Kupferkies als Hauptmineralen. Gelegentlich kommt dort auch das Silber-Wismut-Sulfid Schapbachit vor. Der Glimmer einer weit vom Gang entfernten, vollkommen frische Proben des Nebengesteins (Gneis) enthielt 280 ppm PbO, 700 ppm CuO, 56 ppm Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 2800 ppm F. Die Analyse des Feldspats aus demselben Gestein ergab 1,05 % BaO. Die Meßgröße „ppm“ gibt den Anteil einer Komponente in Millionsteln an; erst 10.000 ppm sind ein Gewichtsprozent!

Nach einer überschlägigen Rechnung SANDBERGERS würde die vollständige Auslaugung eines Kubikmeters des glimmerhaltigen Gneises 133 g Bleiglanz, 564 g Kupferkies, 1959 g Flußspat und 9384 g Schwerspat liefern können – ein Ergebnis, das in der Tat den Gedanken der Lateralsekretion zu unterstützen schien.

Als Laugungs-, Transport- und Ausscheidungsmedium dachte SANDBERGER an Oberflächenwasser, das Kohlendioxid und etwas Schwefelsäure (die von primären Sulfiden der frischen Gneise stammen sollte) enthalten sollte. Die Auslaugung und Mineralbildung hätte demnach bei niedrigen Temperaturen und nicht unter eigentlich hydrothermalen Bedingungen stattgefunden.

Eine zweite, ähnliche Untersuchung am Nebengestein der Nickel-Kobalt-Wismut-Silber-Uran-Gänge von Wittichen hatte ein weniger günstiges Ergebnis. Zur Herleitung der dort insgesamt gewonnenen 22 Tonnen Silbers hätten 5.600.000 Kubikmeter Granit völlig ausgelaugt werden müssen – ein Gesteinsvolumen, das wenigstens damals als ganz unwahrscheinlich groß angesehen wurde. SANDBERGER erfuhr auch alsbald lebhafte Kritik von Seiten anderer Lagerstättenforscher; die Theorie der Lateralsekretion setzte sich nicht allgemein, sondern allenfalls als Möglichkeit in Einzelfällen durch. Für die erste Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts beherrschte vielmehr die Theorie der Lagerstättenbildung durch hydrothermale Wässer der *magmatischen Abfolge* das Feld.

Danach sollen Ganglagerstätten der Art, wie sie im Mittleren Schwarzwald verbreitet sind, aus heißen Wässern gebildet sein, die *Restlösungen von Magmen* im näheren oder ferneren (tieferen) Untergrund sind. In allgemeiner, systematischer Form und auf Grund weltweiter Erfahrungen hat HANS SCHNEIDERHÖHN (1887–1962), der drei Jahrzehnte lang Ordinarius für Mineralogie in Freiburg i. Br. war, dieser Anschauung besonders eindrucksvoll Geltung verschafft.

Es war aber SCHNEIDERHÖHN selbst, der erkannte, daß auch diese Theorie keine Universallösung der Probleme von Ganglagerstätten sein konnte. Bedeutende Gänge des Mittleren Schwarzwaldes ließen sich wegen ihres Alters und aus anderen Gründen nicht in die geforderte Beziehung zu bekannten magmatischen Aktivitäten bringen. Ein prominentes Beispiel ist der mächtige Schwerspat-Flußspat-Gang der Grube „Clara“ in Oberwolfach, der im Grundgebirge *und* im Buntsandstein aufsetzt und somit zeitlich nicht mit dem viel älteren granitischen Magmatismus des Schwarzwaldes im Karbon in Verbindung gebracht werden kann. SCHNEIDERHÖHN entwarf im Hinblick auf diesen und andere, ähnliche Fälle die Theorie der *sekundär-hydrothermalen* Gangbildung (1949). Danach ist der primäre Schwerspat alter (karbonischer) Gänge der magmatischen Abfolge im Tertiär durch aufsteigende hydrothermale Wässer aufgelöst und in höherem Niveau wieder abgesetzt worden. Die im Grundgebirge häufig angetroffene „Verdrängung“ von älterem Schwerspat durch Quarz spricht deutlich für die Möglichkeit einer solchen Auflösung. Die Wiederausfällung fand teils noch im Grundgebirge, teils aber auch im darüberliegenden Buntsandstein statt. Auch Erze und andere Gangminerale waren an diesem Prozeß beteiligt. SCHNEIDERHÖHNS Modell rückte damit eindeutig von dem der magmatischen Abfolge ab.

Noch weiter in dieser Richtung gehen die neueren Vorstellungen über die Genese der Ganglagerstätten im Mittleren Schwarzwald, die sich auf Untersuchungen vieler Autoren mit verschiedensten Methoden gründen. Wesentliche Erkenntnisse lieferte der gesteigerte Ausbau und das gründliche Studium des Umfeldes der Grube Clara in Oberwolfach (HUCK 1984, 1986; MAAG 1991). Abb. 1 gibt einen Eindruck des Verlaufs und der Ausdehnung der dortigen Mineralgänge. Dabei ergab sich ein gegenüber dem bisherigen wesentlich verändertes Bild der Gänge und ihres Verhältnisses zu den Nebengesteinen (Grundgebirge, Buntsandstein). Geochemische und isotope geochemische Untersuchungen gaben wichtige Hinweise zur Herkunft der Gangminerale; die Untersuchungen an Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen in den Gangmineralen deuten auf relativ niedrige Temperaturen (unter 100°C) der Mineralbildung hin. Große Aufmerksamkeit wurde auch den Details der Nebengesteinsumwandlung gewidmet, dies vor allem im Hinblick auf die mögliche Auslaugung solcher Elemente, die sich in den Gangmineralen wieder angereichert vorfinden. Radiometrische Altersbestimmungen an Gang- und Umwandlungsmineralen ergaben, zunächst zur großen Überraschung der Forscher, mesozoische, bevorzugt jurassische Alter der Mineralbildung. Ein Überblick über die einschlägigen Arbeiten und eine eingehende Würdigung ihrer Resultate hat v. GEHLEN (1987) gegeben; auf diese Veröffentlichung und einige dort noch nicht berücksichtigte jüngere sei hier ausdrücklich verwiesen (BLIEDTNER & MARTIN 1986, MAAG 1991, LIPPOLT 1991, WALENTA 1992, BROCKAMP, CLAUER & ZUTHER 1994). Auch isotope geochemische Untersuchungen von SIMON (1994) am Sauerstoff und Wasserstoff gewöhnlicher Gesteinsminerale bestätigen die weiträumige Veränderung von Graniten und Gneisen durch Wässer, die hauptsächlich von der Erdoberfläche gekommen sind. Auch frisch erscheinende Gesteine sind davon betroffen und in ihrem geochemischen Bestand wesentlich verändert worden (vgl. auch GIESE & SIMON 1994).



Abb. 1: SW-NE-Schnitt durch das Gangsystem der Grube „Clara“ in Oberwolfach. Nach Huck 1986. – B = Schwerspatgänge, F = Flußspatgänge, Q = Quarzgänge.

Für unsere Betrachtung ist bei alledem die *Renaissance* der Vorstellungen von der *Lagerstättenbildung durch Lateralsekretion* im Sinne SANDBERGERS der entscheidende Aspekt. Die Übereinstimmung vieler Einzelheiten der heutigen Vorstellungen mit den seinerzeit von SANDBERGER festgestellten oder erahnten Kriterien der

Lateralsekretion ist erstaunlich und bestätigt die Bedeutung des Mittleren Schwarzwaldes als Ort frühzeitiger wissenschaftlicher Erkenntnis und ihrer Weiterbildung bis in die jüngste Zeit. Besser als Worte stellt ein von BEHR & GERLER (1987) übernommenes Schema die Prozesse und ihre Einbindung in die geologischen Gegebenheiten dar (Abb. 2). Danach sind es in erster Linie salzreiche Wässer, die aus Gesteinen der Perm- und Triasformation stammen, welche ins Grundgebirge absteigen, sich dort ausbreiten und bestimmte Elemente aus den Gesteinen aufnehmen. Dabei ist vor allem an die Komponenten der in Massen auftretenden Gangminerale Quarz ( $\text{SiO}_2$ ), Schwerspat (Ba) und Flußspat (Ca, F) gedacht, während das zur Schwerspatbildung notwendige Sulfat hauptsächlich aus den salinaren Oberflächenwässern stammt. Auch Komponenten der Erzminerale sind an diesen Vorgängen beteiligt. Die mit der Tiefe zunehmende Erwärmung der Wässer fördert den Auslaugungsprozeß entscheidend, während die beim Wiederaufstieg eintretende Abkühlung (aber nicht sie allein) die Ausscheidung der Gangminerale verursacht.

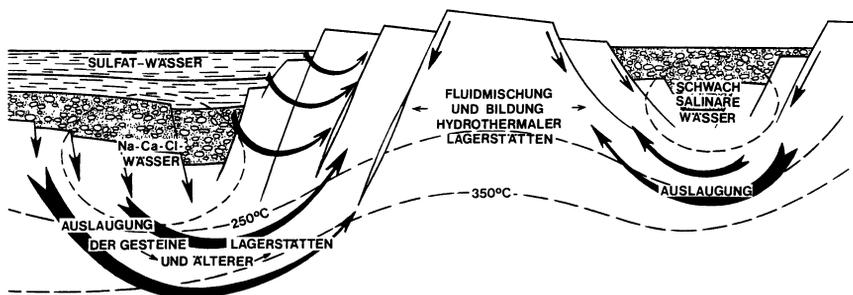


Abb. 2: Schema der Lagerstättenbildung durch Lateralsekretion unter Beteiligung salinärer Wässer. Nach BEHR & GERLER 1987, vereinfacht. Die schwarzen Pfeile deuten die Bewegungstendenz des Wassers im Untergrund an.

Erstaunlich ist die *quantitative* Effizienz solcher Vorgänge, die am Beispiel der mehrere Meter mächtigen und über 600 m hohen Schwerspat- und Flußspatgänge der Grube Clara eindrucksvoll sichtbar wird. Bislang wurden dort mehr als zweieinhalb Millionen Tonnen Schwerspat und nahezu eine Million Tonnen Flußspat gewonnen. Als *qualitative* Auswirkung des Zusammenkommens vieler sonst seltener und verborgener Elemente in einem solchen Bereich ist die erstaunliche Zahl der in der Grube Clara gefundenen Mineralarten (weit über 200) hervorzuheben. Besonders zahlreich sind hier „primäre“ Sulfidminerale mit Eisen, Kupfer, Wismut und Arsen sowie Verwitterungsminerale dieser Metallerze (Oxide, Hydroxide, Karbonate, Sulfate, Arsenate, Phosphate und andere) (KAISER 1984, WALENTA 1992). Sehr viele dieser Funde sind der von der Firma Sachtleben Bergbau GmbH gewährten Sammelmöglichkeit und der Aufmerksamkeit und Sachkenntnis vieler Sammler zu verdanken.

### Die Deutung der Gneise als umgewandelte magmatische und Sedimentgesteine

Bis in die siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts bestand hinsichtlich der Herkunft und Bildungsweise der Gneise (und anderer metamorpher Gesteine) eine

große Unsicherheit. Zwar war schon verschiedentlich erkannt worden, daß Sedimentgesteine durch die Wärmewirkung von Graniten in bestimmter Weise umgewandelt werden konnten. Eine klassische Studie zu diesem Thema behandelte in diesem Sinne die Kontaktmetamorphose der Steiger Schiefer in den benachbarten Nordvogesen (ROSENBUSCH 1877). Deutlich war dort die metamorphe Entwicklung eines tonigen Sedimentgesteins über Flecken- und Knotenschiefer bis zu massig-kristallinen Hornfelsen erkannt worden. Schwieriger schien dagegen die Herleitung der durchweg kristallinen Gneise, wie sie im Mittleren Schwarzwald vorherrschen, wo keine Übergänge zu bekannten sedimentären oder magmatischen Ausgangsgesteinen sichtbar waren. Für solche Gneise wurde noch bis in die achtziger Jahre immer wieder in Betracht gezogen, daß sie Überreste der ersten Erstarrungskruste der Erde oder von vornherein kristalline Niederschläge aus einem Urozean sein könnten – so z. B. H. CREDNER in seinen „Elementen der Geologie“ von 1883, S. 333.

Ganz andere Auffassungen bekundete wiederum ROSENBUSCH, der 1888 Direktor der Großherzoglich Badischen Geologischen Landesanstalt geworden war und die Leitung der geologischen Kartierung des Landes im Maßstab 1 : 25.000 übernommen hatte. In seiner Abhandlung „Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges“ deutete er verschiedene Gneise des Mittleren Schwarzwaldes und anderer Gebiete auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung als metamorph umgewandelte Granite, Sedimentgesteine oder Basalte. Als metamorphes Sedimentgestein mit Tonmineralen, Quarz, Brauneisen und etwas Calcit als ursprünglichen Mineralen wird dort ein „körniger Biotitgneis“ von Freiersbach im Renchtal interpretiert – der Prototyp der „Renchgneise“ der Geologischen Karte 1 : 25.000. Chemische Übereinstimmung mit Diabas (einem zur Basaltfamilie gehörigen magmatischen Gestein) wird dem „Strahlsteinfels“ aus dem Wildschapbachtal zuerkannt, während ein „Hornblendeschiefer“ von Müllben im Renchtal chemisch eher einem Mergel, also wieder einem Sedimentgestein, entspricht. Andere Gneise, zu denen auch der spätere „Schapbachgneis“ der Geologischen Karten zu zählen wäre, werden auf granitisches Ausgangsmaterial zurückgeführt. ROSENBUSCHS Konsequenz ist danach, daß letztlich alle Gneise und kristallinen Schiefer durch Metamorphose aus bestimmten Ausgangsgesteinen, die in nicht umgewandelter Form gut bekannt sind, entstanden seien. Die chemischen Verhältnisse sprechen eindeutig für diese Vorstellung: „Wer da glauben wollte, er könne alle diese Verhältnisse mit einer stolz ablehnenden Handbewegung in das Gebiet der Hypothese verweisen, würde damit einfach auf die Beteilung an einer wissenschaftlichen Behandlung der kristallinen Schiefer Verzicht leisten.“

Nach dem von ROSENBUSCH entworfenen Plan wurden in der Folgezeit die Geologischen Karten des Schwarzwaldes aufgenommen. Die Gneise wurden in Schapbach- und Renchgneise gegliedert, dazu kamen bereits auf dem zuerst veröffentlichten Blatt Gengenbach auch Granulite, sowie „Kinzigite“ und auf anderen Blättern auch „Kinzigitgneise“. Der Gesteinsname Kinzigit geht auf eine frühere Phase der Erforschung des Schwarzwaldes zurück. Schon 1861 belegte L. H. FISCHER ein aus Plagioklas, Biotit, Quarz, Granat, Cordierit und etwas Graphit bestehendes massig-kristallines Gestein aus dem kleinen Kinzigtal bei Schenkenszell mit diesem Namen. Dieser hat, weit mehr als die Begriffe Rench- und Schapbachgneis der Geologischen Karten, weltweite Verbreitung gefunden und bezeichnet heute Gesteine aus tonigem Ausgangsmaterial (was auch ROSENBUSCH schon angenommen hatte), die ihre Metamorphose unter hochgradigen Bedingungen erfahren haben; was dies im Einzelnen bedeutet, kann hier nicht weiter erläutert werden. Ein anderer Gesteinsname,

der erstmals auf dem von A. SAUER (1894) aufgenommenen Blatt Gengenbach 1:25.000 auftaucht, ist „Durbachit“. Er bezeichnet ein schiefriges bis massiges Gestein aus Kalifeldspat, Biotit, Hornblende, Plagioklas und Quarz. Der schwarzwälder Durbachit ist zweifellos ein metamorphes Gestein; außerhalb Deutschlands, besonders in Frankreich und Böhmen, bezeichnet der Name ein plutonisches (also magmatisches) Gestein entsprechender Zusammensetzung.

Die heutigen geologischen Karten des Schwarzwaldes haben wesentliche Elemente der Gneisgliederung von ROSENBUSCH und SAUER übernommen, doch gelten für diese jetzt andere Namen. Die damaligen Renschgneise heißen heute Paragneise, ein Teil der Schapbachgneise Orthogneise. Die Präfixe Para- bzw. Ortho- bezeichnen die Herkunft der Gneise aus sedimentären bzw. magmatischen Ausgangsgesteinen. Es ist aber seither ein weiterer Typ metamorpher Gesteine, die Migmatite, hinzugekommen, die in den Gebieten der ersten Karten weniger verbreitet waren, im südlichen Mittleren Schwarzwald aber sehr reichlich vorhanden sind. Mit der Geschichte ihrer Identifikation und Interpretation befaßt sich der nächste Abschnitt unserer Betrachtung.

### Die Erkennung und Deutung der Migmatite

Schon aus den Erläuterungen zu den Geologischen Karten der älteren Autoren (A. SAUER, H. THÜRACH, F. SCHALCH) ist zu entnehmen, daß sie im Gelände häufig Gesteinen begegnet sind, die nicht den einfachen Typen der Rensch-, Schapbach- und Kinzigitgneise entsprachen. Ihre Zuordnung muß oft Schwierigkeiten bereitet haben; nach mündlicher Überlieferung soll aber ROSENBUSCH als Direktor der Geologischen Landesanstalt die gesonderte Darstellung solcher Gesteinskomplexe nicht zugelassen haben. Es handelt sich bei ihnen um Gesteine, die im Handstücks- bis Aufschlußbereich deutlich heterogen sind. Sie bestehen meist aus helleren (quarz- und feldspatreicheren) und dunkleren Anteilen. Die dunkleren Anteile zeigen meist die Gefügeeigenschaften metamorpher Gesteine, während die helleren den Habitus plutonischer Gesteine (Granite, Aplite, Pegmatite) aufweisen. Die Gliederung in hellere und dunklere Anteile kann mit kontrastreichen Ader- oder Lagengefügen (Metatexite) oder auch mehr schlierig bis verschwommen (Diatexite) erscheinen.

Heterogene Gesteine dieser Art wurden 1907 von dem finnischen Petrographen J. J. SEDERHOLM wegen ihres „gemengten“ Aussehens *Migmatite* genannt. Nach SEDERHOLMS Deutung sind die Migmatite Erzeugnisse einer mehr oder weniger starken Teilschmelzung (*Anatexis*) von Gneisen oder Schiefnern, wobei die helleren Anteile des Gemenges mit granitischer oder granitähnlicher Zusammensetzung den aufgeschmolzenen (und dann langsam wieder kristallisierten) Anteilen entsprechen. Die dunkleren Anteile sind teils noch wenig veränderte Reste der Ausgangsgesteine und auch Ansammlungen von Mineralen, wie Biotit, Hornblende oder Cordierit, die zunächst an dem Aufschmelzungsprozeß nicht teilgenommen haben. Für diese letzteren Gesteinsanteile der Migmatite wurde später der sehr bezeichnende Name „Restite“ eingeführt.

Besonders in der Südhälfte des Mittleren Schwarzwaldes, z. B. im Schauinsland-Feldberg-Gebiet sowie zwischen Waldkirch und St.Märgen sind solche Migmatite weit verbreitet und in vielen Aufschlüssen gut zu sehen (Abb. 3). Deutlich zeichnet sich eine Abfolge Paragneise – Metatexit – schlieriger Diatexit – nebulitischer bis fast homogener Diatexit ab. Die Gesteine der letzten Stufe haben im Aufschluß ein fast

granitartiges Aussehen. Auch Orthogneise des Schapbach-Typs erfahren im Bereich der Migmatisierung mehr oder weniger starke Veränderungen bis zu nebulitischen Diatexiten. Das Ereignis der Migmatitbildung durch Teilschmelzung ist danach deutlich jünger als der Metamorphoseprozeß, der aus Sediment- und magmatischen Gesteinen die Para- und Orthogneise formte.

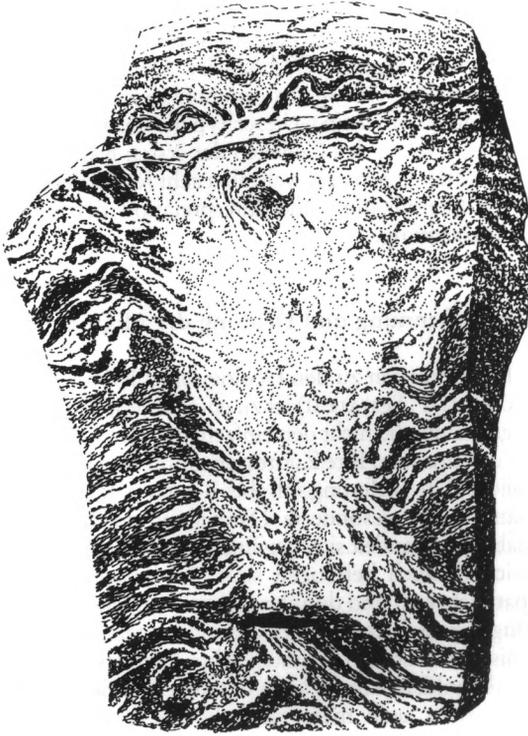


Abb. 3: Migmatit aus dem südlichen Mittleren Schwarzwald (Todtnau). Bruchfläche eines etwa 1,2 m hohen Gesteinblocks. Aus dem Ausgangsgestein, einem biotitreichen Paragneis, entwickeln sich durch Teilschmelzung quarz- und feldspatreiche helle Adern, deren Substanz sich zu einem hellen Nest mit granitischer Zusammensetzung und granitählichem Gefüge sammelt. Der nicht mobilisierte Biotit reichert sich in dunklen Restsäumen an.

Als erster Forscher hat FRANZ FRIEDRICH GRAEFF (1855 – 1902) die Besonderheit der Migmatite im Schwarzwald erkannt und sie auch mit den von SEDERHOLM aus Finnland beschriebenen Gesteinen verglichen. GRAEFFS Kartierung auf Blatt Freiburg-Südost der geologischen Karte 1 : 25.000 blieb wegen seines frühen Todes unvollendet. Die Kartierung wurde später von K. SCHNARRENBERGER fortgesetzt.

1913 führte SCHNARRENBERGER eine Exkursion der Deutschen Geologischen Gesellschaft in das Schauinslandgebiet, bei der Migmatitaufschlüsse im Bruggatal gezeigt und erläutert wurden. Nur aus dem Bericht über diese Exkursion wissen wir von den verschollenen Vorarbeiten GRAEFFS. Auch die Kartierung des Blattes Freiburg durch CARL SCHNARRENBERGER (1875–1964) ist nicht erhalten; bei einem Bombenangriff auf Freiburg im ersten Weltkrieg wurden die Feldebücher und die schon gedruckte Auflage restlos zerstört. Es blieb dem Verfasser dieses Aufsatzes vorbehalten, 1948 die petrographische Kartierung des Kartenblattes wieder aufzunehmen und zusammen mit R. HÜTTNER 1967 zu veröffentlichen. Auf dieser Karte sind neben den klassischen Gneistypen erstmals drei Stufen der Migmatisierung dargestellt. Die wissenschaftliche Anregung zu dieser Art der Kartierung kam von KARL RICHARD MEHNERT, der damals Privatdozent für Mineralogie in Freiburg war.

Daß die Migmatite des Mittleren Schwarzwaldes anatektischer Entstehung seien, war Ende der dreißiger Jahre fast gleichzeitig von mehreren Forschern erkannt und ausgesprochen worden (WAGER 1938, ERDMANNSDÖRFFER 1939, MEHNERT 1940). Damit war die Bildung einer besonderen Gesteinsfamilie, der Migmatite, durch Teilschmelzung von Gneisen und Neukristallisation auch für den Schwarzwald erkannt und etabliert. Als Zeugen der Anfänge und weiteren Entwicklung granitischen Magmas aus metamorphen Ausgangsgesteinen standen die Migmatite in den vierziger und fünfziger Jahren im Mittelpunkt intensiver Forschungen und Diskussionen.

Besondere Fortschritte auf diesem Gebiet brachten die weiteren Arbeiten von K. R. MEHNERT an den Gesteinen des Mittleren Schwarzwaldes (1953–1963). Die genaue petrographische Charakterisierung, die Darstellung der anatektischen Entwicklung bis hin zu beinahe schon granitischen Endstufen sowie Bilanzen der dabei ablaufenden Stoffbewegungen sind die Hauptverdienste dieser Untersuchungen. Von ihnen ging auch die Anregung zu den ersten experimentellen Simulationen anatektischer Prozesse durch WINKLER & v. PLATEN (1958) aus. Die an den Gesteinen im Gelände und am Mikroskop entwickelten Vorstellungen fanden dabei ihre erwünschte Bestätigung (s. auch MEHNERT, BÜSCH & SCHNEIDER 1973 sowie BÜSCH, SCHNEIDER & MEHNERT 1974). Hinsichtlich des *Ausmaßes* der Schmelzbildung in den Migmatiten des Mittleren Schwarzwaldes bestehen bis heute noch unterschiedliche Anschauungen, die seither wiederholt diskutiert worden sind (z. B. MEHNERT & BÜSCH 1982, KALT, GRAUERT & BAUMANN 1994).

### Die geophysikalische Erkundung des tieferen Untergrundes im Mittleren Schwarzwald

Im Rahmen der Vorerkundungen zu einer *Kontinentalen Tiefbohrung* wurden im Schwarzwald seit 1984 verschiedenartige geophysikalische Untersuchungen großzünftig durchgeführt. Für die Wahl des Mittleren Schwarzwaldes als Standort einer solchen Bohrung sprach die dort schon früher festgestellte Hochlage der Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel (im Bereich des mittleren Kinzigtals in etwa 25 bis 26 km Tiefe). Dadurch zeichnete sich die Möglichkeit ab, mit der Bohrung besonders tiefe Niveaus der Erdkruste zu erreichen oder ihnen wenigstens näher zu kommen. Ein weiteres, für den Mittleren Schwarzwald positives Argument war der dort relativ hohe Wärmestrom aus der Tiefe, der für ein weiteres Ziel des Unternehmens, nämlich in möglichst geringer Tiefe eine möglichst hohe Temperatur anzutreffen, vielversprechend war.

Die durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen waren:

- Aufnahme eines refraktionsseismischen Profils über die ganze Länge des Schwarzwaldes von Norden nach Süden;
- Aufnahme mehrerer reflexionsseismischer Profile in nord-südlicher und in anderen Richtungen;
- Gravimetrische Untersuchungen;
- Erdmagnetische Untersuchungen;
- Magnetotellurische und elektromagnetische Tiefensondierungen;
- Geothermische Untersuchungen, besonders in den zur Vorerkundung durchgeführten Flachbohrungen.

Im vorliegenden Aufsatz wird allein über die refraktions- und reflexionsseismischen Befunde berichtet (Übersicht bei LÜSCHEN et al. 1989). Bei der *refraktionsseismischen* Methode wird die Fortpflanzung seismischer Wellen, die von Sprengungen ausgehen, gemessen. Dabei ist es möglich, die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen zu ermitteln und so eine Gliederung der Erdkruste und tieferer Bereiche in Zonen unterschiedlicher Wellengeschwindigkeit zu erschließen. Die Wellengeschwindigkeiten sind wichtige Indikatoren für die Dichte, aber eventuell auch für andere Eigenschaften der durchlaufenen Gesteinsschichten. Generell nimmt die Wellengeschwindigkeit in der Lithosphäre (der festen und starren Gesteinszone an der Peripherie der Erde) mit der Tiefe stufenweise zu; Abweichungen von diesem Verhalten sind immer wichtige Kriterien für besondere Verhältnisse, deren Zustandekommen jeweils noch zu untersuchen ist. Bei der *reflexionsseismischen* Methode werden die Reflexionen von Erschütterungen, die von der Erdoberfläche ausgehen, aufgenommen. Das Verfahren beruht auf einem ähnlichen Prinzip wie das Echolot, das ein vom Meeresboden zurückgeworfenes Schallsignal aufnimmt und danach die Tiefe des Meeres bestimmt. Bei der Reflexionsseismik in der festen Erde wirken Diskontinuitäten im Untergrund, z. B. Grenzen zwischen unterschiedlich zusammengesetzten Gesteinen oder tektonische Störungen, als Reflektoren. Bei den Untersuchungen der Jahre 1984 und 1985 gingen die „Erschütterungen“ von fünf Lastkraftwagen bzw. von an diesen montierten schweren Massen aus, die computergesteuert in genau simultane Schwingungen versetzt wurden. Während dieser Schwingungen lagen die schweren Massen auf dem Boden; ihre Impulse pflanzten sich noch über die Untergrenze der Erdkruste hinaus fort; sie wurden von Diskontinuitäten, die sie unterwegs antrafen, teilweise wieder nach oben reflektiert und von entsprechenden Instrumenten registriert. Es war ein eindrucksvolles Erlebnis, die fünf LKWs hintereinander auf der Straße stehen zu sehen und die von ihnen ausgehende, durchdringende Vibration des Erdbodens auch zu fühlen.

Die Ergebnisse der beiden seismischen Experimente waren überraschend und führten in ihrer Kombination zu einem Modell des Krustenbaus, das auch im globalen Vergleich neuartig war (Abb. 4). Die Refraktionsseismik zeigte unter dem Mittleren Schwarzwald in etwa 8 bis 14 km Tiefe eine *Zone erniedrigter Wellengeschwindigkeit*. Während die Wellengeschwindigkeit von der Erdoberfläche her bis in 8 km Tiefe von etwa 5 auf 5,9 Kilometer pro Sekunde (km/s) zunimmt, fällt sie in der Niedriggeschwindigkeitszone auf 5,4 km/s zurück. Darunter steigt sie abrupt auf 6 km/s an und nimmt bis zur Krusten-Untergrenze auf 6,8 km/s zu. In dem darunterliegenden Erdmantel liegt sie bei über 8 km/s. Als Ursachen der Erniedrigung der Wellengeschwindigkeit unter dem Schwarzwald kommen Gesteine mit einer geringeren Dichte als die überlagernden Gneise, zum Beispiel Granite oder nur schwach

metamorphe Sedimentgesteine des Paläozoikums in Betracht. Diese letzteren könnten, von den tektonischen Nahtzonen Badenweiler-Lenzkirch und Baden-Baden ausgehend, von Norden bzw. Süden unter die Masse der Gneise und Migmatite des Mittleren Schwarzwaldes geschoben worden sein; diese würde dann gewissermaßen wurzellos auf einer solchen Unterlage ruhen. Eine ganz andere, von der Mehrzahl der Geophysiker bevorzugte Deutung nimmt an, daß die Gesteine des Grundgebirges in der Zone niedriger Wellengeschwindigkeit reich an fluiden Stoffen (besonders Wasser) sind; die Wellengeschwindigkeit wird dadurch merklich reduziert. Dazu würde auch die Beobachtung passen, daß die elektrische Leitfähigkeit in der selben Zone deutlich erhöht ist. Eine noch stärkere Ansammlung von Fluiden macht sich in etwa 9,5 km Tiefe unter der Stadt Haslach im Kinzigtal als deutlich reflektierender Körper bemerkbar (der „Helle Fleck von Haslach“).

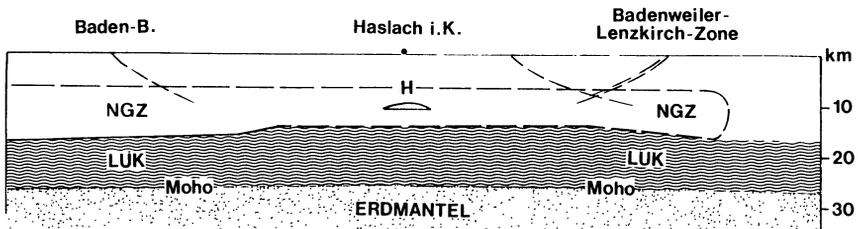


Abb. 4: Schema der Krustengliederung in einem 165 km langen seismischen Nord-Süd-Profil durch den Schwarzwald. Stark vereinfacht nach LÜSCHEN et al. 1989. Weiß die Oberkruste mit der Niedriggeschwindigkeits-Zone (NGZ); darunter die „lamellierte Unterkruste“ (LUK). Die Mohorovicic-Diskontinuität (Moho) bildet die Grenze zum Oberen Erdmantel. H = der „Helle Fleck“ von Haslach.

Unter der Niedriggeschwindigkeitszone zeigte sich bei den reflexionsseismischen Untersuchungen eine etwa 10 km dicke Zone mit vielen horizontalen oder nur flach einfallenden Reflexionshorizonten, deren mittlerer vertikaler Abstand nur etwa 100 m beträgt. Es muß angenommen werden, daß dort eine ausgesprochen lagige Abfolge von Gesteinen mit stark verschiedenen physikalischen und gewiß auch petrographischen Eigenschaften vorliegt. Über die Zusammensetzung und Entstehung dieser „lamellierten Unterkruste“ sind verschiedene Vorstellungen möglich, die weiterhin diskutiert werden.

Schon im Jahr 1986 konnte darauf hingewiesen werden, daß damit im Mittleren Schwarzwald ein in der Krustenforschung einmaliges, komplexes geophysikalisches Datenmaterial erarbeitet worden war, dessen Interpretation durch eine Tiefbohrung eindeutig und quantitativ hätte abgesichert werden können. Daß die lamellierte Unterkruste selbst erreicht worden wäre, ist eher unwahrscheinlich. Es wäre aber möglich gewesen, vom Bohrloch aus – also aus viel geringerer Entfernung – weitere geophysikalische Untersuchungen durchzuführen und sicherere Erkenntnisse über ihre Struktur und Eigenschaften zu gewinnen. Viel bessere Chancen bestanden, daß die Zone niedriger Wellengeschwindigkeit und der „helle Fleck von Haslach“ erreicht und ihre Natur unmittelbar beobachtet werden konnten. 1986 wurde aber einem Standort der Tiefbohrung in Nordostbayern der Vorzug gegeben. Seither wartet ein wissenschaftlicher Schatz in der Tiefe des Mittleren Schwarzwaldes darauf, eines Tages doch noch gehoben zu werden.

## Schrifttum

Mit \* sind im Text nicht zitierte Arbeiten aus jüngster Zeit aufgeführt, die den Einstieg in die Literatur zur Petrologie, Geochronologie und Tektonik vermitteln sollen.

- BEHR, H. J. & GERLER, J. (1987): Inclusions of sedimentary brines in post-Variscan mineralizations in the Federal Republic of Germany – a study by neutron activation analysis.– *Chemical Geol.*, **61**, 65–77.
- BROCKAMP, O., CLAUER, N. & ZUTHER, M. (1994): K-Ar-dating of episodic Mesozoic fluid migrations along the fault system of Gernsbach between Moldanubian and Saxothuringian (Northern Black Forest, Germany).– *Geol. Rundsch.*, **83**, 180–185.
- BLIEDTNER, M. & MARTIN, M., mit Beiträgen von K. H. HUCK und H. MAUS (1986): Erz- und Minerallagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes.– *Geol. Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.)*, 782 S., Freiburg i. Br.
- BÜSCH, W., SCHNEIDER, G. & MEHNERT, K. R. (1974): Initial melting at grain boundaries II. – *N. Jb. Mineral. Mh.* **1974**, 345–370.
- ERDMANNSDÖRFFER, O. H. (1939): Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes XI. Die Rolle der Anatexis.– *Sitz.-Ber. Heidelberger Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, 1939, 72 S.
- \* FLÖTTMANN, TH. (1988): Strukturentwicklung, P-T-Pfade und Deformationsprozesse im zentralschwarzwälder Gneiskomplex.– *Inaug.-Diss. Frankfurt*, 206 S.
- v. GEHLEN, K. (1987): Formation of Pb-Zn-F-Ba mineralizations in SW Germany: a status report.– *Fortschr. Mineral.* **65**, 87–113.
- v. GEHLEN, K. (1989): Ore and mineral deposits of the Schwarzwald.– In EMMERMANN, R. & WOHLLENBERG, J. (1989): *The German Continental Deep Drilling Program*, 277–295, Berlin.
- GIESE, U. & SIMON, K. (1994): Leicht mobilisierbare Elementanteile in den Graniten des Südschwarzwaldes.– *Ber. Deutsche Mineralog. Ges.*, **1**, 1994, 354.
- CREDNER, H. (1883): *Elemente der Geologie.*– 790 S., Leipzig.
- FISCHER, L. H. (1861): Über den Kinzigit.– *N. Jb. Miner. etc.*, **1861**, 641–654.
- \* HANEL, M., LIPPOLT, H. J., KOBER, B. & WIMMENAUER, W. (1993): Lower Carboniferous granulites in the Schwarzwald basement near Hohengeroldseck (SW Germany).– *Naturwiss.*, **80**, 25–28.
- HUCK, K. H. (1984): Die Beziehungen zwischen Tektonik und Paragenese unter Berücksichtigung geochemischer Kriterien in der Fluß- und Schwespatlagerstätte „Clara“ bei Oberwolfach/Schwarzwald.– *Inaug.-Diss. Heidelberg*, 176 S.
- (1986): Clara am Schwarzenbruch.– In BLIEDTNER, M. & MARTIN, M.: *Erz- und Minerallagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes*, 366–399, Freiburg i. Br.
- HÜTTNER, R. & WIMMENAUER, W. (1967): *Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000, Blatt 8013 Freiburg*, mit Erläuterungen, 159 S., Freiburg i. Br.
- KAISER, H. (1984): *Die Grube Clara im Schwarzwald*, 102 S., Freiburg i. Br.
- KALT, A., GRAUERT, B. & BAUMANN, A. (1994): Rb-Sr and U-Pb isotope studies on migmatites from the Schwarzwald (Germany): constraints on isotopic resetting during Variscan high-temperature metamorphism. – *J. Metamorphic Geol.* **12**, 667–680.
- \* KALT, A., HANEL, M., SCHLEICHER, H. & KRAMM, U. (1994): Petrology and geochronology of eclogites from the Variscan Schwarzwald (FRG).– *Contrib. Miner. Petrol.*, **115**, 287–302.
- \* KROHE, A. & EISBACHER, G. H. (1988): Oblique crustal detachment in the Variscan Schwarzwald.– *Geol. Rundsch.*, **77**, 25–43.
- \* LIPPOLT, H. J. (1991): Zeitliche Erfassung von epigenetischen Stoffumsetzungen; Wege und Ergebnisse nach Beispielen aus Schwarzwald und Harz.– *DFG-Schwerpunktprogramm „Intraformationale Lagerstättenbildung*, hrsg. von G. FRIEDRICH, 65–89.

- LÜSCHEN, E., WENZEL, F., SANDMEIER, K.-J., MENGES, D., RÜHL, TH., STILLER, M., JANOTH, W., KELLER, F., SÖLLNER, W., THOMAS, R., KROHE, A., STENGER, R., FUCHS, K., WILHELM, H. & EISBACHER, G. (1987): Near-vertical and wide-angle seismic surveys in the Black Forest, SW Germany.- *J. Geophys.*, 1-30.
- (1989): Near-vertical and wide-angle seismic surveys in the Schwarzwald.- In EMMERMANN, R. & WOHLBERG, J. (Hrsg.): *The German Continental Deep Drilling Program*, 297-363, Berlin.
- MAAG, W. H. (1991): Die spätpaläozoische Petrogenese und hydrothermale Alteration der kristallinen Gesteine im Bereich der Fluß- und Schwerspatlagerstätte „Clara“, Mittlerer Schwarzwald.- Inaug.-Diss. Heidelberg, 225 S.
- MEHNERT, K. R. (1940): Über Plagioklas-Metablastesis im mittleren Schwarzwald.- *N. Jb. Miner., Geol., Paläont., Abt. A*, 47-65.
- (1953-1963): Petrographie und Abfolge der Granitisation im Schwarzwald I - IV.- *N. Jb. Miner. Abh.*, 85, 59-140, 90, 39-90, 98, 208-249, 99, 161-199.
- (1958): *Migmatites and the Origin of Granitic Rocks*.- 391 S., Amsterdam.
- MEHNERT, K. R., & BÜSCH, W. (1982): The initial stage of migmatite formation. - *N. Jb. Mineral. Abh.* 145, 211-238.
- MEHNERT, K. R., BÜSCH, W. & SCHNEIDER, G. (1973): Initial melting at grain boundaries I.- *N. Jb. Mineral. Mh.* 1973, 165-183.
- METZ, R., RICHTER, M. & SCHÜRENBERG, H. (1957): Die Blei-Zink-Erzgänge des Schwarzwaldes.- *Monogr. Dtsch. Blei-Zink-Erzlagerstätten*, 14, in: *Beih. Geol. Jb.*, 29, 277 S., Hannover.
- ROSENBUSCH, H. (1877): Die Steiger Schiefer und ihre Kontaktzone an den Graniten von Barr- Andlau und von Hohwald.- *Mitt. Geol. Landesanst. Elsaß-Lothringen*, 1, 2, 1-85.
- ROSENBUSCH, H. (1891): Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges.- *Tschermak's Miner. Petrogr. Mitt.*, N. F. 12, 49-61.
- SANDBERGER, F. (1882-85): *Untersuchungen über Erzgänge*, 431 S., Wiesbaden.
- SAUER, A. (1894): *Geologische Spezialkarte des Großherzogtums Baden*, Blatt Gengenbach, mit Erläuterungen, 87 S.
- SCHNARRENBERGER, C. (1913): Exkursion Freiburg - Schauinsland - Güntherstal - Freiburg am 6. August.- *Z. Dtsch. Geol. Ges.*, 65, 514-516.
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1949): Schwerspatgänge und pseudomorphe Quarzgänge in Westdeutschland.- *N. Jb. Miner., Geol., Paläont., Abh.*, 81, 191-202.
- SEDERHOLM, J. J. (1907): Om granit och gneiss.- *Bull. Assoc. Géol. Finlande*, 23, 110 S.
- SIMON, K. (1994): Alteration-fluids in the Black Forest, Germany: Genetic characterization and element mobilization.- *Ber. Deutsche Mineralog. Ges.*, 1, 369.
- WAGER, R. (1938): Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes VI. Über Migmatite aus dem südlichen Schwarzwald.- *Sitz.-Ber. Heidelberger Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, 1937, 33 S.
- WALENTA, K. (1992): *Die Mineralien des Schwarzwaldes und ihre Fundstellen*.- 334 S., München.
- \* WERNICKE, R. S. & LIPPOLT, H. J. (1994): Dating of vein specularite using internal (U+Th)/<sup>4</sup>He isochrons.- *Geophys. Res. Lett.*, 21, 345-347.
- WINKLER, H. G. F. & v. PLATEN, H. (1958): Bildung von anatektischen granitischen Schmelzen bei der Metamorphose von NaCl-führenden kalkfreien Tonen.- *Geochim. et cosmochim. Acta*, 15, 91-112.
- \* WIMMENAUER, W., KLEIN, H., MÜLLER, H. & STENGER, R. (1989): Petrography and petrology of the KTB location Schwarzwald.- In EMMERMANN, R. & WOHLBERG, J. (1989): *The German Continental Deep Drilling Program*, 243-263, Berlin.

(Am 10. Oktober 1994 bei der Schriftleitung eingegangen.)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.](#)

Jahr/Year: 1994-1997

Band/Volume: [NF\\_16](#)

Autor(en)/Author(s): Wimmenauer Wolfhard

Artikel/Article: [Gesteine und Lagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes \(1995\) 211-225](#)